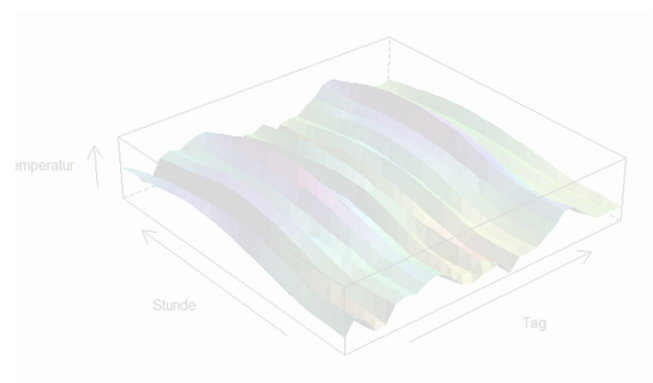
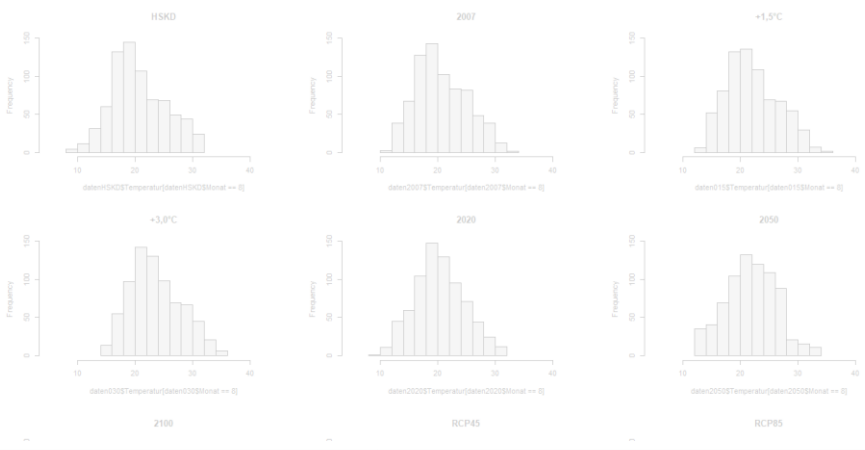
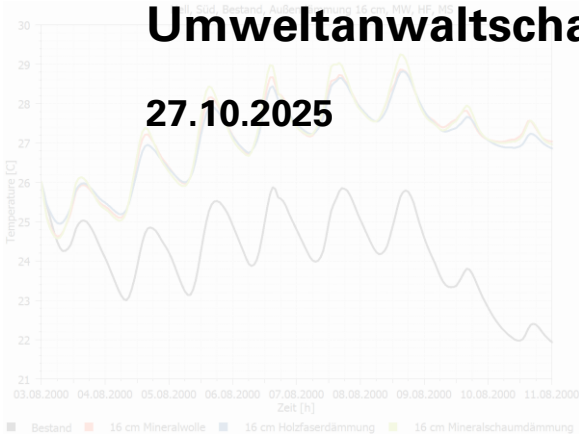


# Hitzetaugliche Wohngebäude

## Vermeidung sommerlicher Überwärmung in Wien

### Eine Studie im Auftrag der Wiener Umweltschutz

27.10.2025



IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH

Dipl.-Ing. Dr. techn. Tobias Steiner, MEng, Melanie Wutzl,

Dipl.-Ing. Ines Mayer, Clara Henneberger, B.Sc., Ana Maria Popovici, B.Sc.



## Kurzfassung

Hoher Komfort und niedrige Emissionen aus dem Gebäudebetrieb stellen zwei essenzielle gesellschaftspolitische Zielgrößen dar. Bau- und arbeitsrechtlich werden diverse normative Mindeststandards, Grenzwerte und Zielgrößen zum thermischen Komfort festgelegt. Die Zunahme an Hitzetagen zeigt bereits jetzt, dass es zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung erheblicher Anstrengungen und Strategien bedarf, um auf aktive Kühlmaßnahmen verzichten zu können. Besonders Low-tech Ansätze gewinnen hierbei auf Grund ihrer vorteilhaften Lebenszyklusbetrachtung an Bedeutung. Ziel ist es trotz aktueller Klimaentwicklungen im Baubestand hochwertige Wohnbedingungen zu gewährleisten. Wie das theoretisch funktioniert ist bekannt – Nachtlüftung, Freecooling, intensitätsgeregelte automatisch gesteuerte Verschattungseinrichtungen. In der Praxis führen aber diverse soziale und organisatorische Einflussgrößen dazu, dass ein normatives Verschattungs- und Lüftungsverhalten nicht realisiert werden kann. Weiterhin erfolgt eine ausschließliche Optimierung hinsichtlich der maximal empfundenen operativen Temperatur oft auf Kosten anderer Komfortgrößen wie Tageslicht- oder Luftqualität.

Es werden insbesondere für Bestandsgebäudetypologien die gebäudebezogenen baulichen Einflussgrößen (Fenstergröße, Fenstertypen, thermische Sanierungsmaßnahmen, Verschattung) im Sommer identifiziert, mit denen der Komfort maximiert werden kann. Aufbauend auf einer Literaturrecherche werden Komfort-Parameter (thermischer, visueller und auditiver Komfort, sowie Raumluftqualität) und deren Beurteilungsgrößen zusammengestellt.

Im Rahmen eines Raumklimamonitoring wird ein Raum eines Wiener Bestandsgebäudes messtechnisch für sechs Wochen im Sommer erfasst und die Komfortkenngrößen (thermischer Komfort – operative Temperatur, visueller Komfort - Leuchtdichte, auditiver Komfort – Schallpegel und Raumluftqualität – CO<sub>2</sub>-Konzentration) anhand einer Beurteilungsmatrix analysiert.

Es werden Modellräume und Modellgebäude erstellt und instationäre Raumsimulationen mit dem Programmpaket IDA ICE 4.8 durchgeführt. Das Programm verwendet das Zeitschrittverfahren. Für die definierten Strategien und Szenarien wird der Komfort anhand der operativen Temperatur, der Leuchtdichte, dem Schallpegel und der CO<sub>2</sub>-Konzentration ermittelt. Um künftige Klimaentwicklung zu berücksichtigen, werden die Simulationsreihen auch für Klimaszenarien 2050, 2100 bzw. +1,5 °C und +3,0 °C durchgeführt. Es wird eine zusammenfassende Bewertung durchgeführt und Einflussgrößen auf die Optimierung des Komforts im Sommer formuliert.

Die Beurteilung des Komforts im Sommer, in der Regel beschränkt auf den thermischen Komfort wird um Kriterien zur Beurteilung der Raumluftqualität, der Tageslichtqualität und der auditiven Qualität, abgebildet durch die Lärmbelastung im Sinne einer umfassenden Beurteilung erweitert. Anhand der Gesamtzusammenstellung der Bewertungsergebnisse wird ein Überblick über die je nach Maßnahmen zu erwartenden Komfortbedingungen gegeben, wodurch das Bewusstsein für die Zusammenhänge von Maßnahmen und Auswirkungen auf die betrachteten Komfortgrößen gestärkt wird.

Anhand diverser Anwendungsfälle wird gezeigt, wie die Ergebnisse für die Optimierung genutzt werden können. Anhand der Analyse des Einflusses künftiger möglicher Klimaentwicklungen auf den thermischen Komfort wird ein entsprechender Handlungsbedarf hin zu einem optimierten, bzw. zumindest bewussten Lüftungs- und Verschattungsverhalten im Sommer aufgezeigt.

Mit der hier durchgeführten Untersuchung des sich im Sommer in gründerzeitlichen Gebäuden mit Wohnnutzung einstellenden Komforts wird aufgezeigt, wie – entgegen der sich erkennen lassenden Tendenz des Einsatzes ressourcenintensiver und emissionsbehafteter aktiver Kühlmaßnahmen – durch die Wahl des Lüftungs- und Verschattungsverhaltens, bewusster thermischer Sanierungsmaßnahmen und Materialwahl ein hoher Komfort in Bestandsgebäuden, auch ohne aktive Maßnahmen realisiert werden kann. Die untersuchten passiven Maßnahmen stehen damit nicht im Widerspruch zu energie- und klimapolitischen Zielsetzungen. Die Methode zur Beurteilung des Komforts im Sommer lässt sich auf Bestandsgebäude anderer Epochen übertragen und ist grundsätzlich auch im denkmalgeschützten Gebäudebestand anwendbar.

### **Schlagwörter**

Thermischer Komfort, Visueller Komfort, Auditiver Komfort, Raumluftqualität, Gründerzeit, Bestandsgebäude, Wohnnutzung, Kastenfenster, Raumklimabewertung, Lüftungsstrategien, Verschattungsstrategien, Optimierungsmöglichkeiten, Nachtlüftung, Fensterlüftung, Normnutzung, Komfortpriorität, messtechnische Begleitung, thermische Gebäudesimulation, Klimaentwicklung, Anwendungsbeispiele, Passive Kühlmaßnahmen, Passive Maßnahmen, Denkmalschutz, Gebäudebestand

## Abstract

High comfort and low emissions from building operation are two essential socio-political targets. Various normative minimum standards, limit values, and targets for thermal comfort are specified in building and labor law. The increase in hot days already shows that considerable efforts and strategies are needed to avoid overheating in summer so that active cooling measures can be dispensed with. Low-tech approaches in particular are gaining in importance due to their advantageous life cycle assessment. The aim is to ensure high-quality living conditions in existing buildings despite current climate developments. How this works in theory is well known – night ventilation, free cooling, intensity-controlled automatic shading devices. In practice, however, various social and organizational factors mean that normative shading and ventilation behaviour cannot be achieved. Furthermore, optimization with regard to the maximum perceived operating temperature often comes at the expense of other comfort factors such as daylight or air quality.

Particularly for existing building typologies, the building-related structural factors (window size, window types, thermal renovation measures, shading) that can be used to maximize comfort in summer are identified. Based on a literature review, comfort parameters (thermal, visual, and auditory comfort, as well as indoor air quality) and their assessment criteria are compiled.

As part of indoor climate monitoring, a room in an existing building in Vienna is measured for six weeks in the summer and the comfort parameters (thermal comfort – operative temperature, visual comfort – luminance, auditory comfort – sound level, and indoor air quality – CO<sub>2</sub> concentration) are analysed using an assessment matrix.

Model rooms and model buildings are created and transient room simulations are performed using the IDA ICE 4.8 software package. The program uses the time step method. For the defined strategies and scenarios, comfort is determined based on the operative temperature, luminance, sound level, and CO<sub>2</sub> concentration. In order to take future climate developments into account, the simulation series are also carried out for climate scenarios for 2050, 2100, and +1.5 °C and +3.0 °C. A summary evaluation is carried out and influencing factors for the optimization of comfort in summer are formulated.

The assessment of comfort in summer, which is usually limited to thermal comfort, is expanded to include criteria for assessing indoor air quality, daylight quality, and auditory quality, represented by noise pollution, in the sense of a comprehensive assessment. The overall compilation of the assessment results provides an overview of the comfort conditions to be expected depending on the

measures taken, thereby raising awareness of the relationships between measures and their effects on the comfort variables under consideration.

Various use cases are used to show how the results can be used for optimization. Based on the analysis of the influence of possible future climate developments on thermal comfort, a corresponding need for action towards optimized, or at least conscious, ventilation and shading behaviour in summer is identified.

The study conducted here on the comfort levels in residential buildings from the Wilhelminian era in summer shows how – contrary to the apparent trend toward the use of resource-intensive and emission-prone active cooling measures – a high level of comfort can be achieved in existing buildings, even without active measures, by choosing ventilation and shading behaviour, conscious thermal renovation measures, and material selection. The passive measures examined are therefore not in conflict with energy and climate policy objectives. The method for assessing comfort in summer can be applied to existing buildings from other eras and is also generally applicable to listed buildings.

### **Keywords**

Thermal comfort, visual comfort, auditory comfort, indoor air quality, existing buildings, residential use, box windows, indoor climate assessment, ventilation strategies, shading strategies, optimization options, night ventilation, window ventilation, standard use, comfort priority, metrological monitoring, thermal building simulation, climate development, application examples, passive cooling measures, passive measures, monument protection, building stock

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	11
1.1	Aktuelle Situation .....	11
1.2	Sommerliche Überwärmung .....	11
1.3	Thermischer Komfort .....	13
1.4	Wiener Stadtklima .....	15
1.4.1	Klimaentwicklung.....	15
1.4.2	Städtische Wärmeinsel.....	17
1.4.3	Häufigkeit von Hitzeereignissen.....	20
1.4.4	Vergleich von Klimadatensätzen.....	26
1.5	Energieeffizienz und Lebenszyklus.....	33
1.5.1	Einfluss von passiven und aktiven Maßnahmen .....	34
1.5.2	Gesamtenergieeffizienz – passive Maßnahmen .....	36
1.5.3	Gesamtenergieeffizienz – aktive Maßnahmen .....	38
1.5.4	Fazit.....	42
1.6	Sicht der Denkmalpflege.....	43
2	Fragestellung.....	46
3	Methode.....	50
3.1	Werkzeuge.....	51
3.2	Varianten und Parameter .....	51
3.2.1	Delphin.....	51
3.2.2	IDA ICE .....	54
3.2.3	Archiphysik.....	55
3.3	Methode .....	56
4	Berechnungssoftware.....	69
4.1	Programmpakets Therakles .....	69
4.2	Programmpaket IDA ICE .....	69
4.3	Programmpaket Delphin .....	70
4.4	Programmpaket Archiphysik .....	71
5	Studien, Leitfäden und Ratgeber .....	73
5.1	Wiener Hitze Ratgeber.....	73
5.2	Hitze! vermeiden – Vermeidung sommerlicher Überwärmung im Wohnbau.....	74

5.3	Sonnenschutz und Stadtbild – Sonnenschutzsysteme für historische Bauten, Simulationen zur Innenraumtemperatur .....	74
5.4	ClimaBau - Planen angesichts des Klimawandels.....	75
5.5	Raus aus Gas .....	76
5.6	Wiener Klimafahrplan .....	77
5.7	Regierungsprogramm 2020-2024 .....	78
5.8	Regierungsprogramm 2025-2029 .....	78
5.9	Wiener Hitzeaktionsplan .....	79
6	Komfortparameter.....	82
6.1	Einleitung .....	82
6.2	Thermischer Komfort .....	83
6.2.1	Beurteilungskriterien .....	83
6.2.2	Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV) .....	83
6.2.3	Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD).....	83
6.2.4	Empfundene Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur.....	84
6.2.5	Langzeitbewertung des thermischen Komforts.....	85
6.2.6	Grenzwerte .....	86
6.2.7	Bewertung thermischer Komfort durch Messung .....	86
6.3	Visueller Komfort.....	87
6.3.1	Beurteilungskriterien .....	87
6.3.2	Beleuchtung.....	87
6.3.3	Tageslicht.....	87
6.3.4	Blendschutz .....	88
6.3.5	Sichtkontakt nach außen .....	88
6.3.6	Grenzwerte .....	89
6.3.7	Bewertung visueller Komfort durch Messung.....	91
6.4	Auditiver Komfort.....	92
6.4.1	Beurteilungskriterien .....	92
6.4.2	Lärm .....	92
6.4.3	Nicht-akustische Faktoren .....	92
6.4.4	Kommunikations- und Störgeräusche.....	92
6.4.5	Raumbedämpfung .....	93

6.4.6	Grenzwerte .....	93
6.4.7	Bewertung auditiver Komfort durch Messung .....	93
6.5	Raumluftqualität .....	95
6.5.1	Beurteilungskriterien .....	95
6.5.2	Luftqualität.....	96
6.5.3	CO <sub>2</sub> Konzentration.....	96
6.5.4	Luftgeschwindigkeit.....	98
6.5.5	Grenzwerte .....	100
6.5.6	Bewertung der Raumluftqualität durch Messung .....	101
6.6	Zusammenstellung der Bewertungskriterien .....	103
6.6.1	Zusammenstellung der Komfortbewertung.....	103
6.6.2	Beispiele für die Klassifizierung und Zertifizierung des Raumklimas 103	
6.6.3	Angewendete Auslegungskriterien .....	104
6.6.4	Bewertung des Raumklimas im Jahresverlauf .....	104
7	Lüftung- und Verschattung.....	106
7.1	Allgemein .....	106
7.1.1	Lüftungsraten .....	106
7.1.2	Lüftung.....	109
7.1.3	Nachtlüftung.....	109
7.1.4	Verschattung .....	110
7.1.5	Einfluss Verschattung auf Klassifikation .....	112
7.2	Messtechnische Erfassung – Sommer-Komfort-Monitoring.....	115
7.2.1	Einleitung.....	115
7.2.2	Messzeitraum .....	116
7.2.3	Erfasste Messgrößen .....	117
7.2.4	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse .....	120
7.2.5	Bewertung .....	124
7.3	Resümee.....	127
8	Thermografie.....	132
8.1	Sommerthermografie.....	132
8.2	Fassadenbegrünung.....	133
8.3	Stadtspaziergang.....	134

8.4	Resümee.....	153
9	Simulation .....	155
9.1	Einleitung .....	155
9.2	Raummodell.....	155
9.3	Varianten .....	155
9.3.1	Sonnenschutz.....	155
9.3.2	Klimadaten.....	156
9.3.3	Verschattungs- und Lüftungs-Strategien .....	156
9.4	Ergebnisse.....	158
9.4.1	Simulationen Gebäude (IDA ICE).....	158
9.4.2	Beurteilungen Lärmbelastung (Lärmkarte) .....	168
9.4.3	Simulationen Konstruktion.....	170
9.4.4	Berechnungen Gebäudebezogene Energiekennzahlen (Archiphysik) 196	
9.4.5	Berechnungen Komfort (Therakles).....	204
10	Komfort-Bewertung von Lüftungs- und Verschattungs-Strategien .....	225
10.1	Einleitung .....	225
10.2	Gesamtbewertung .....	226
10.3	Anwendungsbeispiele.....	232
10.4	Klimaszenarien.....	241
11	Resümee.....	244
11.1	Lüftungs- und Verschattungsstrategien.....	244
11.2	Konstruktion, Material und Farbe.....	246
11.3	Fazit.....	248
12	Abbildungen.....	250
13	Tabellen .....	260
14	Literatur .....	260
15	Anhang .....	265



# 1 Einleitung

## 1.1 Aktuelle Situation

Da die Zunahme an Hitzetagen bereits jetzt eindeutig ist, müssen besondere Anstrengungen unternommen und Strategien entwickelt werden, um sommerliche Überwärmung zu verhindern. Die Studie konzentriert sich auf die Hitzetauglichkeit von Wohngebäuden in städtischen Bereichen am Standort Wien, wobei konstruktive, gebäudebezogene, bautechnische und organisatorische Maßnahmen identifiziert werden sollen, mit denen der Komfort maximiert werden kann. Weiter wird die Eignung hinsichtlich zukünftiger Klimaszenarien untersucht und analysiert welche gebäudebezogenen bautechnischen Maßnahmen auch für künftige Klimaszenarien geeignet sind. Diese Hauptfragestellungen führen zu weiteren Teilfragestellungen, darunter die Erhebung passender Komfort-Parameter, Beurteilung praktischer Lüftungs- und Verschattungsstrategien zur Realisierung komfortabler Sommerbedingungen und Empfehlungen zur Optimierung des Komforts.

Low-tech Ansätzen, wie die ausschließliche Verwendung von passiven Maßnahmen (Fensterlüftung und Verschattung), gewinnen dabei an Bedeutung<sup>1</sup>. Ziel ist es, trotz aktueller Klimaentwicklungen im Bestand hochwertige Wohnbedingungen zu gewährleisten. In der Praxis führen soziale und organisatorische Einflussgrößen dazu, dass ein normatives (optimiertes) Verschattungs- und Lüftungsverhalten<sup>2</sup> oft nicht realisiert werden kann. Daher haben sich in der Praxis grundverschiedene Strategien zur Optimierung des Komforts etabliert. Diese werden im Rahmen dieser Arbeit analysiert.

## 1.2 Sommerliche Überwärmung

Das sommerliche Temperaturverhalten von Räumen, und damit auch der Einfluss von Lüftungs- und Verschattungsstrategien, wie auch baulicher Maßnahmen wie die Applikation einer Wärmedämmung oder eines Fenstertausches oder die Farbwahl von Anstrichen auf dieses, kann mit Hilfe der Bestimmung der sommerlichen Überwärmung untersucht und dargestellt werden.

Entsprechend ÖNorm B 8110, Teil 3<sup>3</sup> gilt sommerliche Überwärmung in Wohngebäuden als vermieden, wenn die empfundene Temperatur – auch als

---

<sup>1</sup> E. Haselsteiner, *Low Tech – High Effect! Eine Übersicht über nachhaltige Low Tech Gebäude* (2017), S.7

<sup>2</sup> ÖNorm B 8110-3:2020, S. 9 ff

<sup>3</sup> ÖNorm B 8110-3:2012, S. 8 f

operative Raumtemperatur bezeichnet – während einer Hitzeperiode eine festgelegte Grenztemperatur von 27 °C am Tag und 25 °C in der Nacht nicht überschreitet. So wurde der Nachweis bis 30.05.2020 geführt.

Mit Inkrafttreten der neuen Ausgabe der ÖNorm B 8110-3<sup>4</sup> am 01.06.2020 entfällt zum einen das Speichermassenverfahren und es wird ein Verfahren zur Ermittlung der operativen Temperaturen beschrieben, wobei Methoden der ÖNorm EN ISO 52016-1<sup>5</sup> zur Anwendung kommen. Grenzwerte können nicht mehr der Norm entnommen werden. Dafür werden im informativen Anhang D Beschattungsvorrichtungen und deren Komfortfaktoren sowie Empfehlungen für die Steuerung und Nutzereinweisung angeführt. Damit entfällt die Vorgabe einer Grenztemperatur für unsanierte Bestandsgebäude, da die OIB Richtlinie 6<sup>6</sup> sich in Ihrer Anforderung an den sommerlichen Wärmeschutz auf Neubau und größere Renovierung beschränkt.

Für Wohngebäude gilt die sommerliche Überwärmung als vermieden, wenn die operative Temperatur im Raum bei einem sich täglich periodisch wiederholenden Außenklima mit dem standortabhängigen Tagesmittelwert  $T_{NAT,13}$  den Wert von  $1/3 * T_{NAT,13} + 21,8 \text{ °C}$  für Wien Innere Stadt  $30,1 \text{ °C}$ <sup>7</sup> nicht überschreitet, oder der außeninduzierte Kühlbedarf  $KB^*_{RK,zul}$  bei größeren Renovierungen  $2 \text{ kWh/m}^3\text{a}$  nicht überschreitet.

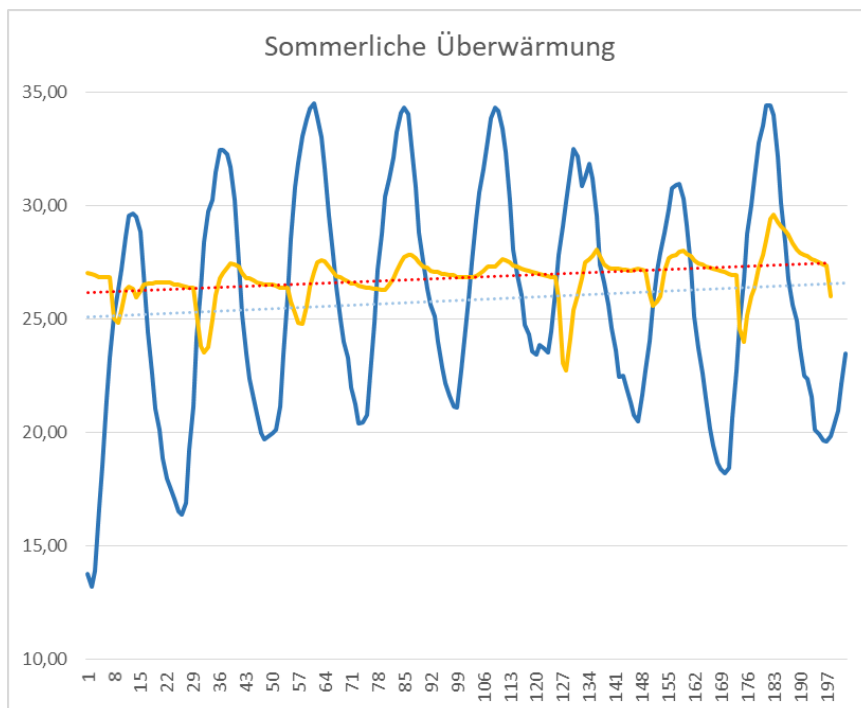


Abbildung 1 Sommerliche Überwärmung, Monitoringdaten August 2022

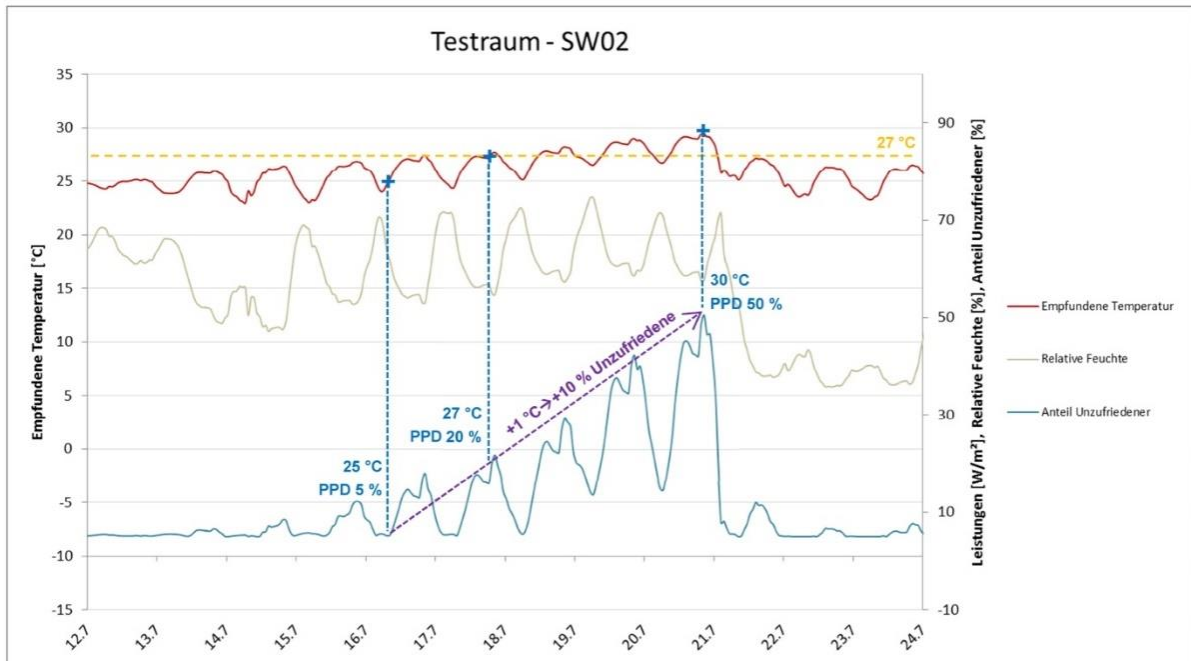
<sup>4</sup> ÖNorm B 8110-3:2020

<sup>5</sup> ÖNorm EN ISO 52016-1:2018, S. 32 ff

<sup>6</sup> OIB-Richtlinie 6:2019

<sup>7</sup> OIB-Richtlinie 6:2019 OIB-Richtlinie 6, NAT-T13 Excel

Abbildung 1 zeigt die gemessene operative Temperatur in einem Raum in Wien während einer Hitzeperiode im August. Die aufeinanderfolgende heißere Tage – dargestellt durch den Verlauf der Außenlufttemperatur in blauer Farbe – führt zu einem kontinuierlichen Anstieg der operativen Temperatur im Raum, der durch die orangefarbene Kennlinie veranschaulicht wird.



**Abbildung 2 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD), Zeitraum 12.7. bis 24.7., Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.**

Die in Abbildung 2 dargestellten Zeitverläufe zeigen die operative Temperatur in einer Hitzeperiode als Ergebnis einer thermischen Gebäudesimulation und den damit verbundenen Anstieg des Diskomforts, ausgedrückt in PPD. Es wird vereinfacht angenommen, dass ein Temperaturanstieg von 1 °C zu einer Zunahme von 10 % Unzufriedenen führt<sup>8</sup>.

### 1.3 Thermischer Komfort

Thermischer Komfort – auch als thermische Behaglichkeit bezeichnet – wird über das Wohlbefinden eines Menschen in einem gegebenen Raumklima definiert. Thermischer Komfort hängt mit dem menschlichen Wärmeempfinden und damit vom thermischen Gleichgewicht (Wärmebilanz) des Körpers ab, das durch körperliche Tätigkeit, Bekleidung und Parameter des Umgebungsklimas wie Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und

<sup>8</sup> Vgl. Steiner, T. "Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen und Untersuchungen zur Anwendungssicherheit von Innendämmsystemen in Abhängigkeit des Innenraumklimas" (Dr. techn. Technische Universität Wien, 2020), S. 80, Abb. 31

Luftfeuchte beeinflusst wird<sup>9</sup>. Detaillierte Aussagen über den thermischen Komfort – also über das thermische und hygrische Verhalten eines Raumes im Zeitverlauf – erfordern daher eine realitätsnahe Abbildung, die durch instationäre Simulationsberechnungen möglich ist. Dabei werden Tagesgänge der Umgebungsbedingungen wie Außenlufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Lüftungsverhalten, inneren Wärmequellen, Raumgeometrie, Konstruktion und Verschattungsmaßnahmen berücksichtigt.

Für die Bestimmung des thermischen Komforts werden für repräsentative Modellräume – nachfolgend als Testräume bezeichnet – Simulationsberechnungen im Jahresverlauf unter Zuhilfenahme des Softwarepakets IDA ICE 4.8 durchgeführt. Dieser Komfort wird durch Größen wie empfundene Temperatur, Maximal- und Minimal-Temperaturen, Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV) und dem vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) beschrieben.

Die Simulation des thermischen Verhaltens zur Untersuchung des Einflusses von Lüftungs- und Verschattungsstrategien auf die sommerliche Überwärmung und den thermischen Komfort erfolgt für repräsentative Testräume. Die Analyse der Ergebnisse erfolgt für die Modellräume „Raum mit 1, 2, und 4 Personen“. Die Auswertung wird dabei stundenweise über das gesamte Jahr vorgenommen, wobei für die Bewertung nur die Sommermonate herangezogen werden. Die Beurteilung des thermischen Komforts erfolgt anhand

- ÖNorm B 8110-3 *Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung)*<sup>10</sup>,
- ÖNorm EN ISO 7730 *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*<sup>11</sup>,
- ÖNorm EN 15251 *Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*<sup>12</sup>, bzw. deren Nachfolgenorm, der
- ÖNorm EN 16798-1 *Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden Teil 1: Eingangsparmeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*.<sup>13</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. ÖNorm EN ISO 7730:2006, S. 4

<sup>10</sup> ÖNorm B 8110-3:2020

<sup>11</sup> DIN EN ISO 7730:2007, Hinweis: Entwurf der ÖNorm EN ISO 7730:2023 im April herausgegeben

<sup>12</sup> DIN EN 15251:2012

<sup>13</sup> ÖNorm EN 16798-1:2019

## 1.4 Wiener Stadtklima

### 1.4.1 Klimaentwicklung

Eine Analyse der Klimaindizes Sommer- und Hitzetage<sup>14</sup> (Abbildung 3) und Hitzewelletage (Abbildung 4) anhand der Klimadaten der vergangenen Jahre für Wien – Hohe Warte<sup>15</sup> zeigt, dass mit 84 Sommertagen, 21 Hitzetagen, 6 Hitzewelletagen und 6 Tropennächten die realen Klimadaten aus dem Jahr 2007 nahezu dem gleitenden Mittelwert über die letzten 15 Jahre entsprechen. Weiter zeigt sich, dass sich nicht nur die Mittelwerte, sondern auch die Maximaltemperaturen, hier in

Abbildung 5 für Juli gezeigt, parallel nach oben verschoben<sup>16</sup>. Es ist also erkennbar, dass die Temperaturen in Wien in den letzten 15 Jahren angestiegen sind, was durch die Abbildungen und den Vergleich der Klimadaten deutlich wird. Dies untermauern auch die Daten der World Meteorological Organisation<sup>17</sup>, die aufzeigen, dass die Temperatur in Wien seit der Jahrtausendwende um 1,5 °C angestiegen ist.

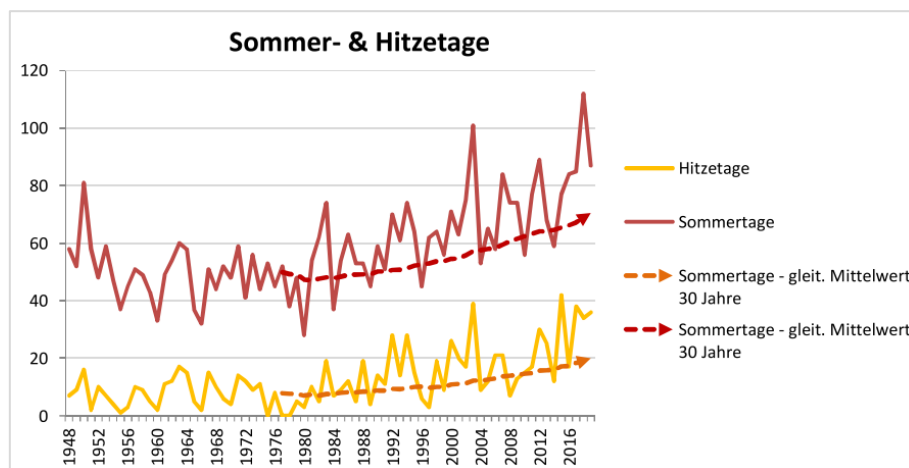


Abbildung 3 Entwicklung Sommer- & Hitzetage<sup>18</sup>

<sup>14</sup> "Wiener Hitzewelletage" (2021), S. 2

<sup>15</sup> ZAMG, "Jahrbuch Klimaübersichten," (2022).

[www.zamg.ac.at/cms/de/klima/Klimauebersichten/jahrbuch](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/Klimauebersichten/jahrbuch).

<sup>16</sup> "Wiener Hitzewelletage" (2021), S. 2

<sup>17</sup> WMO, *State of the Global Climate 2021* (2022).

<sup>18</sup> "Wiener Hitzewelletage" (2021), Abb. 1

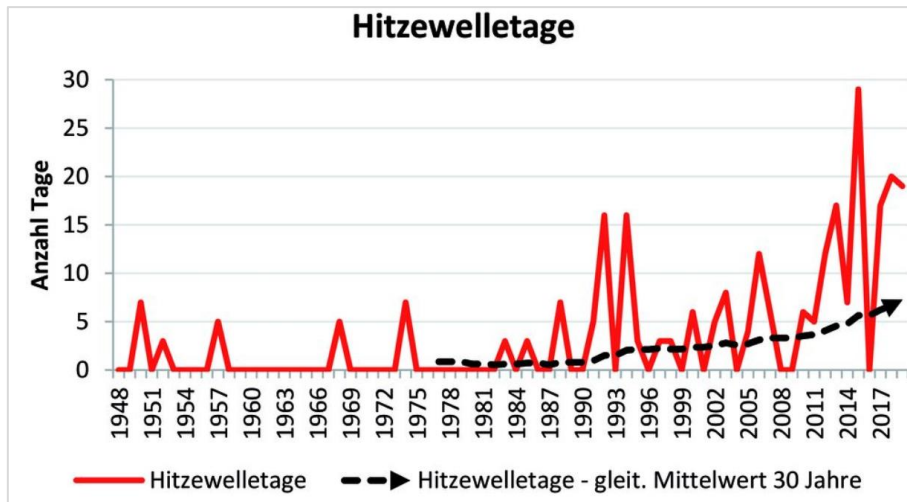


Abbildung 4 Entwicklung Hitzewelentage in Wien<sup>19</sup>

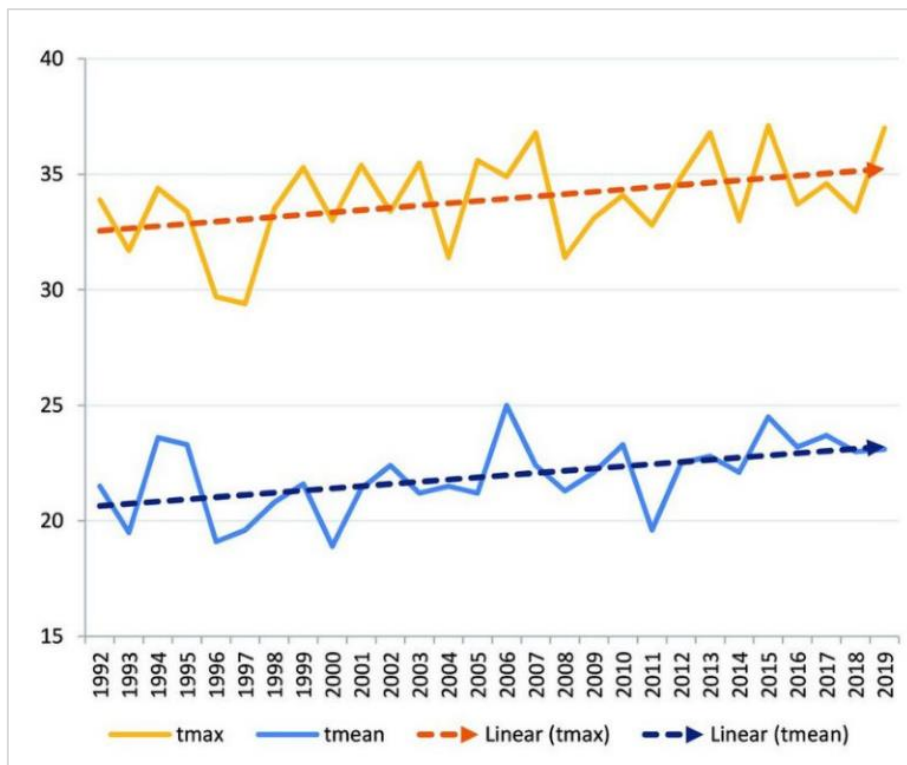


Abbildung 5 Entwicklung von Mittelwert und Maximum für Lufttemperaturen im Juli in Wien<sup>20</sup>, Rohdaten<sup>21</sup>, eigene Auswertung

<sup>19</sup> "Wiener Hitzewelentage" (2021), Abb. 2

<sup>20</sup> "Wiener Hitzewelentage" (2021), Abb. 3

<sup>21</sup> ZAMG, "Jahrbuch Klimaübersichten" (2022)

## 1.4.2 Städtische Wärmeinsel

### 1.4.2.1 Stadtklima

Während für Gesamtösterreich in der nahen Zukunft eine mittlere Zunahme von 11 Sommer- und 4,3 Hitzetagen<sup>22</sup> prognostiziert wird, gelten für Wien, bedingt durch die geografische Lage und die Städtische Wärmeinsel, weit kritischere Prognosen. Es ist für die kommenden Jahre mit einer Zunahme von 25 Sommer- und 12 Hitzetagen zu rechnen, was ungefähr dem gleitenden Mittelwert der letzten 15 Jahre plus 1,5 °C entspricht<sup>23</sup>.

Das Stadtklima<sup>24</sup> stellt ein modifiziertes Klima dar, das durch die Wechselwirkung von Bebauung und deren Auswirkungen (z.B. Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) entsteht.<sup>25</sup> Es wird bestimmt durch

- Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität der großen Mengen Beton, Asphalt und Stein,
- Strahlungsverhältnisse infolge der Oberflächengeometrie,
- Luftverunreinigungen,
- vermindertes Feuchteangebot,
- anthropogene Wärmeproduktion,
- aerodynamische Eigenschaften der Stadtoberfläche.<sup>26</sup>

Das Zusammenwirken dieser Faktoren führt zu einer Vielzahl meteorologischer Stadtphänomene. Der bekannteste Effekt ist die Temperaturerhöhung gegenüber dem Umland. Dieser wird als „städtische Wärmeinsel“ bezeichnet und kann im Sommer bis zu 8 °C betragen.<sup>27</sup>

### 1.4.2.2 Stadtatmosphäre

Die Stadtatmosphäre unterscheidet sich aufgrund ihrer größeren Rauigkeit, der überwiegend trockenen Oberflächen sowie der emittierten Luftschadstoffe und Freisetzung von Abwärme grundlegend von der Freilandatmosphäre. Daher werden Atmosphären in städtischen Gebieten in zwei Bereiche<sup>28</sup> unterteilt, die vom Boden bis zum mittleren Dachniveau reichende Stadthindernisschicht (urban canopy layer UCL) und die Stadtgrenzschicht (urban boundary layer UBL<sup>29</sup>). Die meteorologischen Verhältnisse der UCL stellen eine Mischung

---

<sup>22</sup> ZAMG, "Erklärung zum Jahrbuch der ZAMG" (2020)

<sup>23</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 4 f

<sup>24</sup> DWD, "Deutscher Wetter Dienst - Glossar," ed. Deutscher Wetter Dienst (2023).  
[www.dwd/DE/service/lexikon/Functions/glossar](http://www.dwd/DE/service/lexikon/Functions/glossar).

<sup>25</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 1 f

<sup>26</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 1

<sup>27</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 2

<sup>28</sup> Hupfer et al., *Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*, ed. Vieweg+Teubner Verlag (Wiesbaden, 2005), S. 34 ff

<sup>29</sup> A. Helbig, J. Baumüller, and M.J. Kerschgens, *Stadtklima und Luftreinhaltung* (Springer, 1999), S. 19

unterschiedlicher Mikroklimata dar, die durch Wechselwirkungen mit der unmittelbaren Umgebung, wie Gebäuden, Straßen, Plätzen, Parks und Wasserflächen bestimmt werden<sup>30</sup>. Die Eigenschaften der UBL – welche ein mikro- bis mesoskaliertes Phänomen darstellt werden hingegen durch die Stadtoberfläche beeinflusst<sup>31</sup>.

### 1.4.2.3 Strahlungs- und Energiehaushalt

Sonnenstand und Trübung der Atmosphäre beeinflussen die Strahlungsbilanz. Die Albedo - das Verhältnis zwischen reflektierter und einfallender Sonnenstrahlung - hängt u.a. von Farbgebung, Material der Oberflächen und Exposition der einfallenden Strahlung ab. Asphalt reflektiert beispielsweise nur sehr wenig Solarstrahlung und speichert sehr viel Wärme (Albedo von 10 – 20 %) <sup>32</sup>.

Hohe Versiegelungsgrade und Vegetationsarmut in Städten beeinflussen die städtische Energiebilanz: dadurch verdunstet wenig Regenwasser, die Evapotranspiration<sup>33</sup> und damit die latente Wärme sind reduziert und es wird weniger Energie für Verdunstung und Transpiration verbraucht als im ländlichen Umfeld.<sup>34</sup>

Straßenbeläge und verdichteter Untergrund beeinflussen den Bodenwärmestrom, da sie eine hohe Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität aufweisen (etwa drei Mal mehr als Wiese oder Ackererde). Die Ausbildung der städtischen Wärmeinsel wird durch die erhöhte Absorption kurzwelliger Strahlung, die verringerte langwellige Ausstrahlung, die veränderten Beträge latenter und sensibler Wärmeströme sowie die anthropogene Wärmeabgabe bestimmt. Dazu kommt die Dunstglocke, die Wärme- und Abgasemissionen sowie eine Absorption der kurzwelligen Strahlung, die von der Art der Luftverunreinigung abhängt<sup>35</sup>.

### 1.4.2.4 Innerstädtische Temperaturverteilung - Wien

Nicht nur zwischen Stadt und Land sind deutliche klimatische Unterschiede zu erkennen, auch zwischen Innen- und Außenbezirken (Abbildung 6). Die Messstation Wien Innere Stadt erreicht ein absolutes Maximum von 38,4 °C, was 1,4 °C höher ist als bei der Messstation Hohe Warte im 19. Bezirk (Abbildung 7)<sup>36</sup>.

---

<sup>30</sup> Schirmer et al., *Lufthygiene und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung*, ed. Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN Springer-Verlag Berlin (Berlin, 1993), S. 22 f

<sup>31</sup> Vgl. Hupfer et al., *Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*. (2005), S. 16

<sup>32</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 2

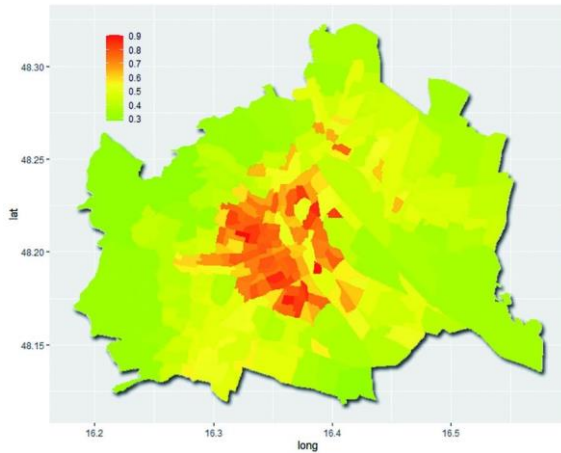
<sup>33</sup> Evapotranspiration bezeichnet in der Meteorologie die Summe aus Transpiration und Evaporation, also der Verdunstung von Wasser aus Tier- und Pflanzenwelt sowie von Boden- und Wasseroberflächen.

<sup>34</sup> *Das Klima der Städte*, ed. Perthes [u.a.] (Gotha, 1995).

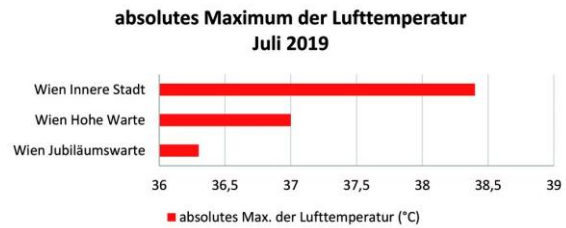
<sup>35</sup> Hupfer et al., *Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*. (2005), S. 18

<sup>36</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 3

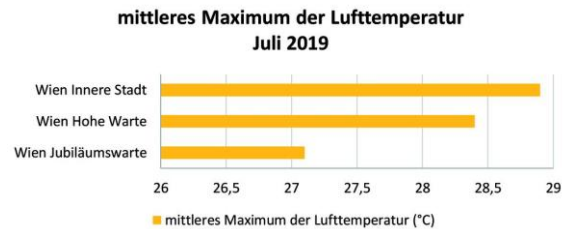
Auch das mittlere Maximum liegt dort um 0,5 °C höher (Abbildung 8). Am deutlichsten wird der Unterschied jedoch abends, wenn das mittlere Minimum um 2,1 °C höher ist als in den Außenbezirken (Abbildung 9).<sup>37</sup>



**Abbildung 6 Anfälligkeit für städtische Hitze, Urban Heat Vulnerability Index, Rohdaten<sup>38</sup>, eigene Darstellung<sup>39</sup>**



**Abbildung 7 Temperaturunterschied, absolutes Maximum der Lufttemperatur, Innen- und Außenbezirke, Wien, Juli 2019, Rohdaten<sup>40</sup>, eigene Auswertung<sup>41</sup>**



**Abbildung 8 Temperaturunterschied, mittleres Maximum der Lufttemperatur, Innen- und Außenbezirke, Wien, Juli 2019, Rohdaten<sup>42</sup>, eigene Auswertung<sup>43</sup>**



**Abbildung 9 Temperaturunterschied, mittleres Minimum der Lufttemperatur, Innen- und Außenbezirke, Wien, Juli 2019, Rohdaten<sup>44</sup>, eigene Auswertung<sup>45</sup>**

<sup>37</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), S. 3

<sup>38</sup> "Urban Heat Vulnerability Index (UHVI) Wien," Bundesministerium für Finanzen, updated 28.05.2023, 2023, [www.data.gv.at/katalog/dataset/67d4a45f-2031](http://www.data.gv.at/katalog/dataset/67d4a45f-2031).

<sup>39</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), Abb. 4

<sup>40</sup> ZAMG, "Jahrbuch Klimaübersichten." (2022)

<sup>41</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), Abb.1

<sup>42</sup> ZAMG, "Jahrbuch Klimaübersichten." (2022)

<sup>43</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), Abb. 2

<sup>44</sup> ZAMG, "Jahrbuch Klimaübersichten." (2022)

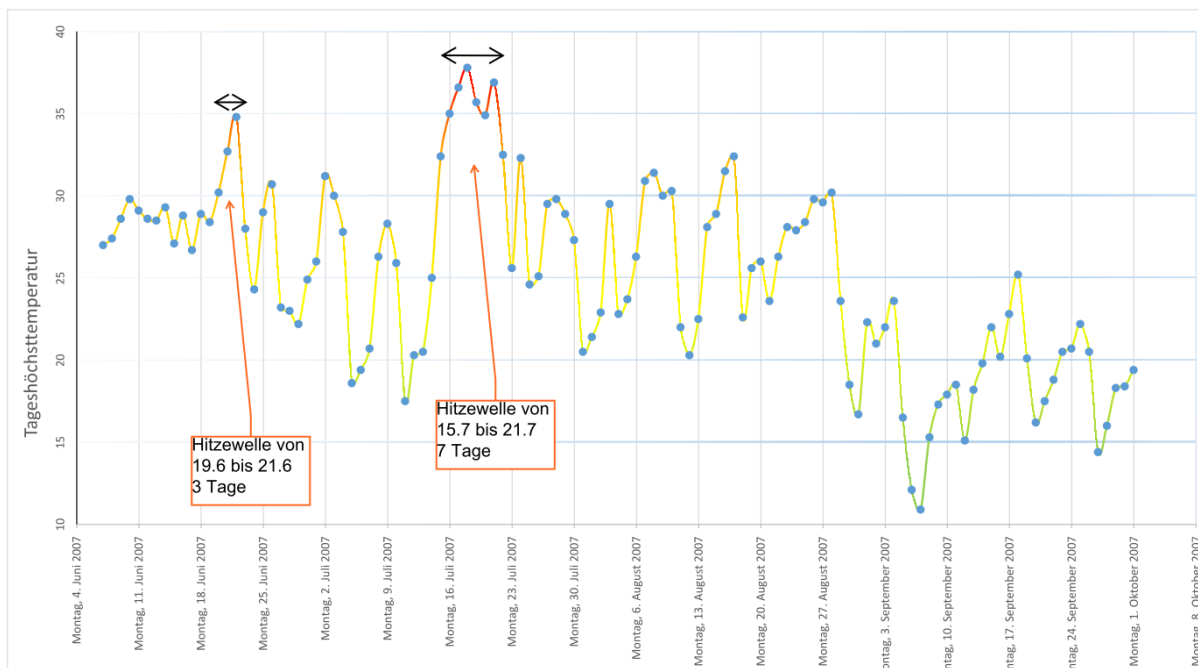
<sup>45</sup> "Wiener Tropennächte" (2020), Abb. 3

### 1.4.3 Häufigkeit von Hitzeereignissen

Die nachfolgende Analyse untersucht die Häufigkeit an Hitzetagen in ausgewählten Sommern. Als Hitzetage werden Tage definiert, bei denen die Tageshöchsttemperatur 30 °C erreicht oder übersteigt<sup>46</sup>. Eine Hitzewelle wird als eine mindestens 3 Tage andauernde Episode definiert, in der die Tagesminimumtemperatur mehr als 18 °C beträgt und die Tageshöchsttemperatur mehr als 30 °C erreicht. Die Sommer der Jahre 2007, 2013, 2015, 2017, 2019 und 2021 werden betrachtet.

#### 1.4.3.1 Sommer 2007

Die Darstellung der Tageshöchsttemperaturen erlaubt es, sowohl Hitzetage als auch Hitzewellentage in Bezug auf deren Häufigkeit und Verteilung zu identifizieren. Abbildung 10 zeigt die Auswertung der Tageshöchsttemperaturen im Sommer 2007 in Wien, Innere Stadt, die hinsichtlich der hitzebezogenen Klimaindikatoren dem gleitenden Mittelwert der letzten 15 Jahre entspricht. Für den Sommer 2007 ergab die Klimadatenanalyse zwei Hitzewellen: die erste Hitzewelle dauerte drei Tage, vom 19. Juni bis zum 21. Juni, mit einem Temperaturspitzenwert von 35 °C; die zweite Welle dauerte sieben Tage, vom 15. Juli bis 21. Juli mit einer Höchsttemperatur von etwas über 38 °C.



**Abbildung 10 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2007**

<sup>46</sup> Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1.4.3.2 Sommer 2013

Der Sommer 2013 (Abbildung 11) wurde in Wien, Innere Stadt, von drei Hitzewellen geprägt. Vom 17. Juni bis zum 20. Juni dauerte die erste Hitzewelle vier Tage, mit einem Temperaturspitzenwert von 35 °C. Die zweite Hitzewelle, die vom 23. Juli bis 29. Juli andauerte (4 Tage), erreichte eine Höchsttemperatur von 37 °C, und die dritte Hitzewelle, die vom 02. August bis 08. August (7 Tage) dauerte, erreichte einen Höchstwert von annähernd 40 °C. Zwischen und vor den beiden letzteren Hitzewellen lagen die maximalen Tageshöchsttemperaturen nur knapp unter 30 °C. 17 der 22 aufeinanderfolgenden Tage waren Hitzetage, die verbleibenden Sommertage. Diese Klimadatenanalyse lässt darauf schließen, dass Wien bei einer Verschiebung der Temperaturkurven auf Grund der Klimaveränderungen mit längeren, über Wochen gehenden Hitzewellen zu rechnen hat.

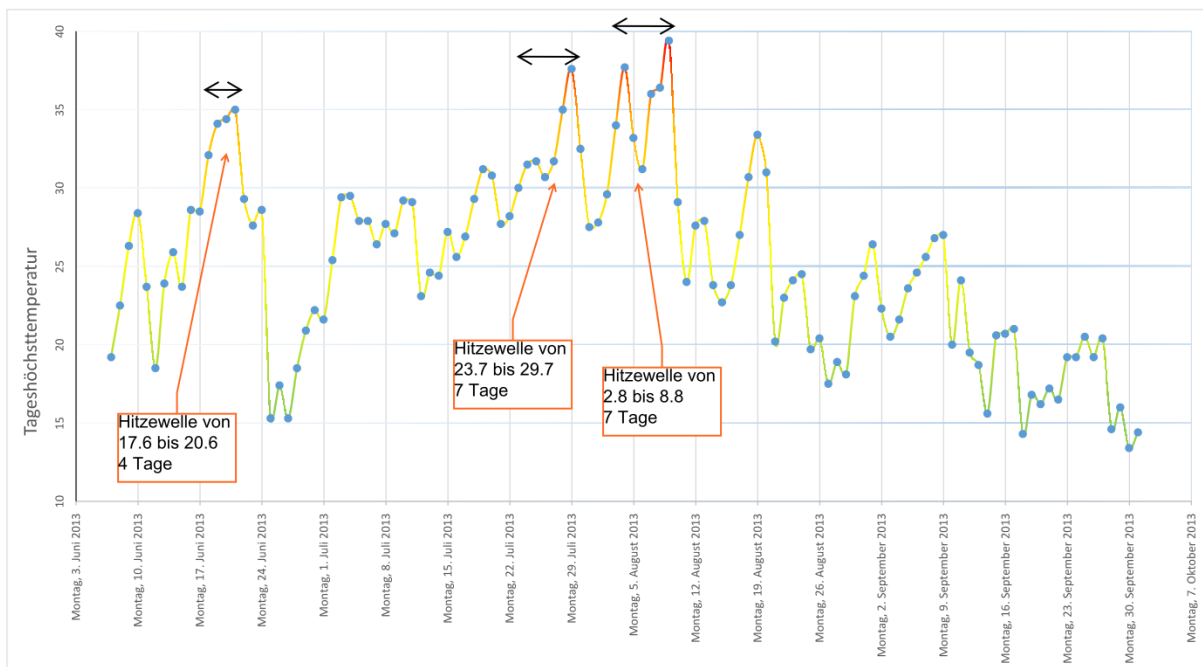
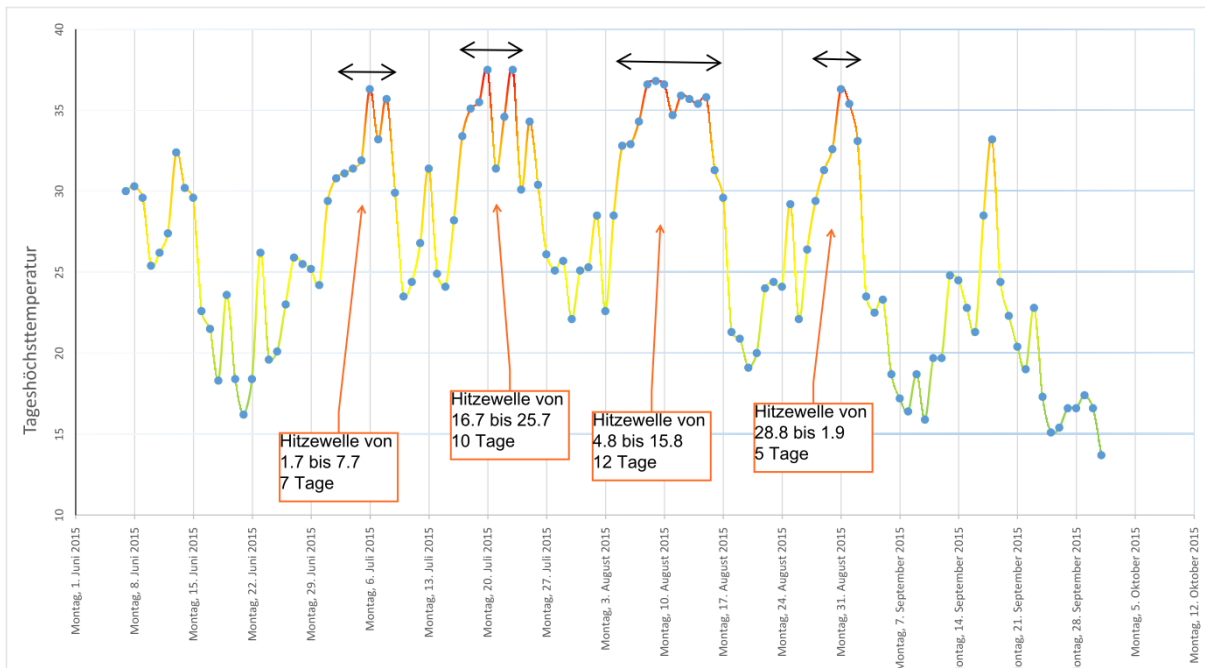


Abbildung 11 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2013

**1.4.3.3 Sommer 2015**

Die Analyse der Hitzewellen für den Sommer 2015 zeigt Abbildung 12. Es gab insgesamt 4 deutlich ausgeprägte Hitzewellen mit Tageshöchsttemperaturen, die durchwegs jenseits der 35 °C. Die erste Hitzewelle dauerte bereits sieben Tage, vom 1. Juli bis zum 7. Juli, die zweite Hitzewelle dauerte zehn Tage, vom 16. Juli bis 25. Juli, die dritte und längste Hitzewelle dauerte zwölf Tage, vom 4. August bis zum 15. August. Ende August folgte dann eine mit fünf Tagen vergleichsweise kurze Hitzewelle vom 28. August bis zum 1. September, bei der ebenfalls Tageshöchsttemperaturen über 35 °C gemessen wurden.



**Abbildung 12 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2015**

1.4.3.4 Sommer 2017

Abbildung 13 zeigt den Sommer 2017, der im Vergleich zu Sommer 2015 kürzere, aber insgesamt fünf Hitzewellen aufwies, die jeweils zwischen 3 und 7 Tagen andauerten. An nur sechs Tagen erreichte die Temperatur 35 °C oder mehr.

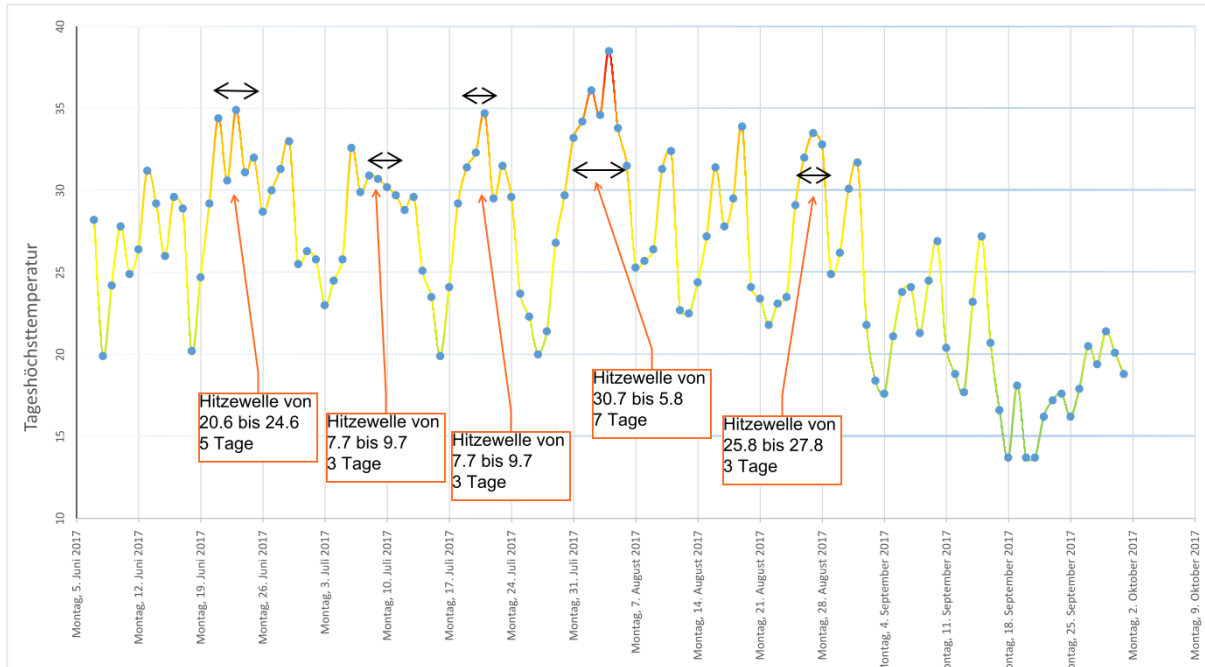
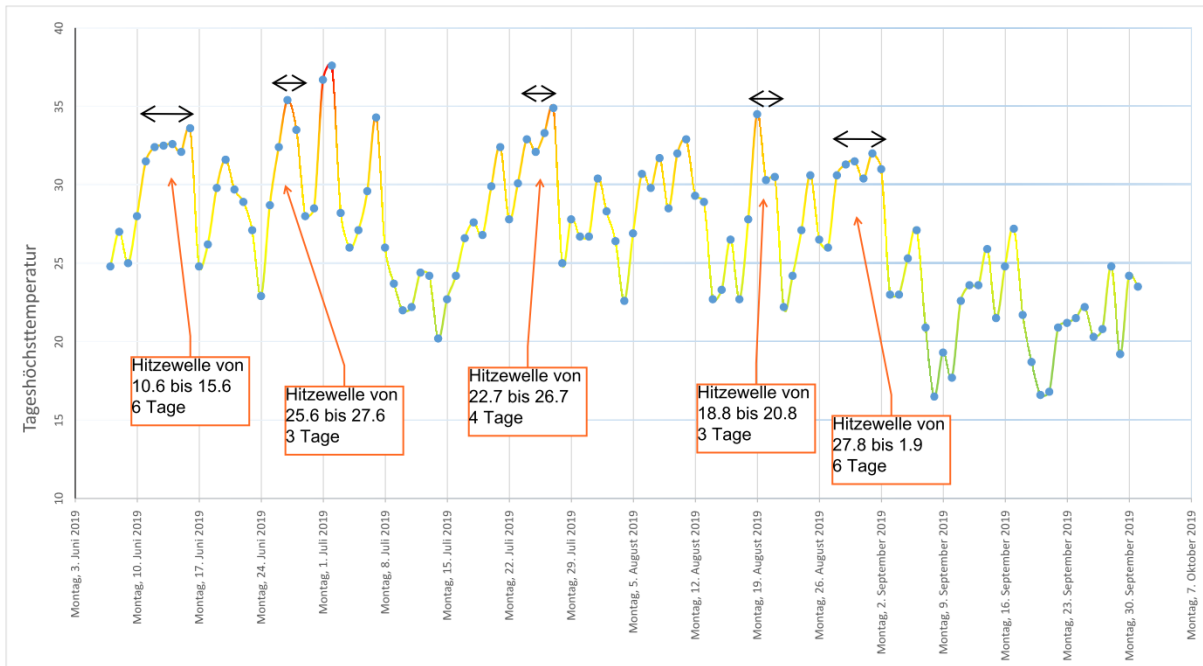


Abbildung 13 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2017

**1.4.3.5 Sommer 2019**

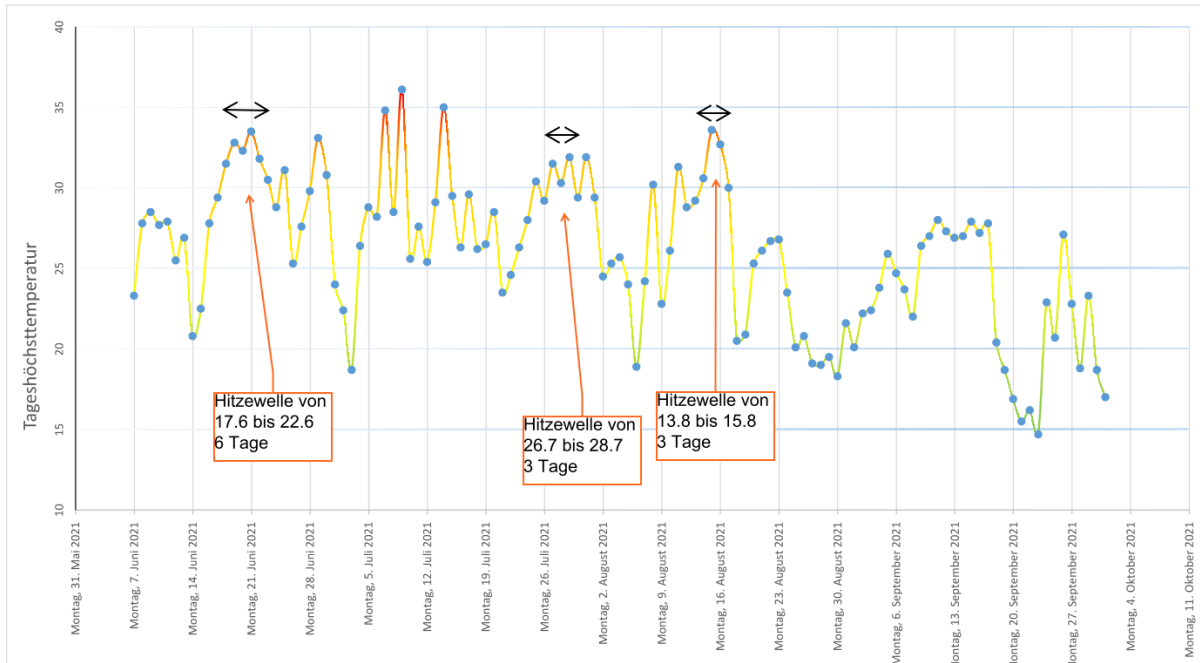
Der Sommer 2019 zeigt eine erste Hitzewelle mit einer Dauer von sechs Tagen vom 10. Juni bis 15. Juni. Drei Hitzewellentage vom 25. Juni bis 27. Juni. Gefolgt von zwei Tagen mit Temperaturen um die 37 °C, die jedoch aufgrund des Fehlens eines dritten angrenzenden Tages über 30 °C nicht als Hitzewelle zu werten sind. Vom 22. Juli bis 26. Juli nochmals vier Tage, vom 18. August bis 20. August drei Hitzewellentage und einer nochmals sechs Tage andauernden Hitzewelle von 27. August bis 1. September (Abbildung 14).



**Abbildung 14 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2019**

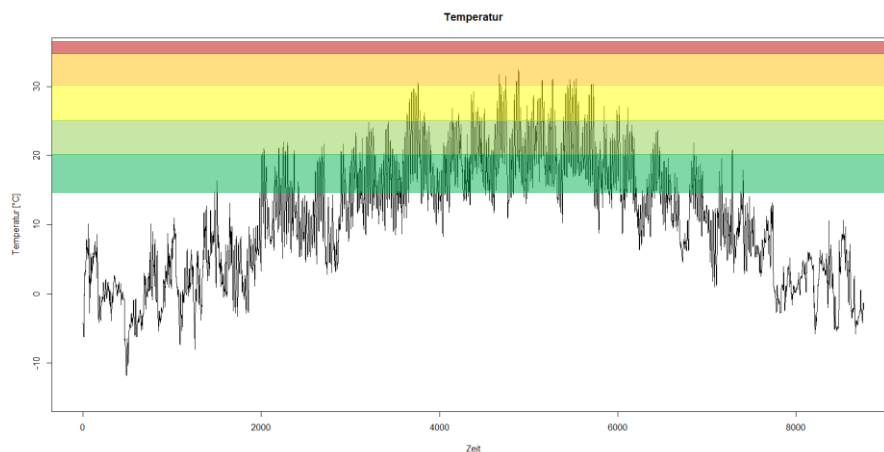
**1.4.3.6 Sommer 2021**

Der Sommer 2021 zeigt sich in Abbildung 15 moderat, mit sechs Hitzewellentagen vom 17. Juni bis 22. Juni und jeweils drei Hitzewellentagen vom 26. Juli bis 28. Juli und 13. August bis 15. August, wobei die Tageshöchsttemperaturen selten die 35 °C-Grenze überschreiten.



**Abbildung 15 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2021**

Eine deutliche Tendenz in der Entwicklung von Sommer-, Hitze- und Hitzewellentage wurde durch Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5 deutlich. Durch die detaillierte Analyse der Tageshöchsttemperaturen in den Abbildung 10 bis Abbildung 15 wird zudem ein tieferer Einblick in die Auswirkung weiterer Temperaturanstiege möglich.

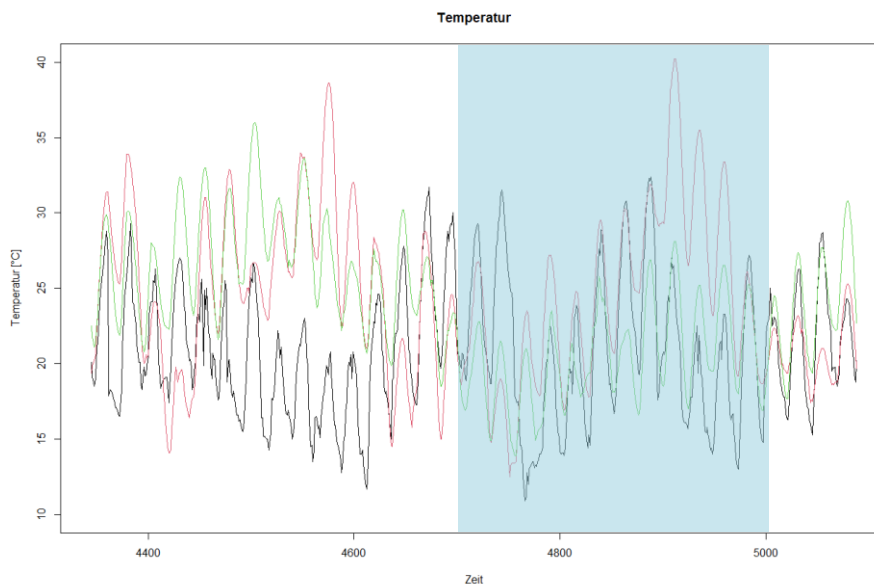


**Abbildung 16 Temperaturverlauf halbsynthetischer Klimadatensatz HSKD<sub>Wien</sub>**

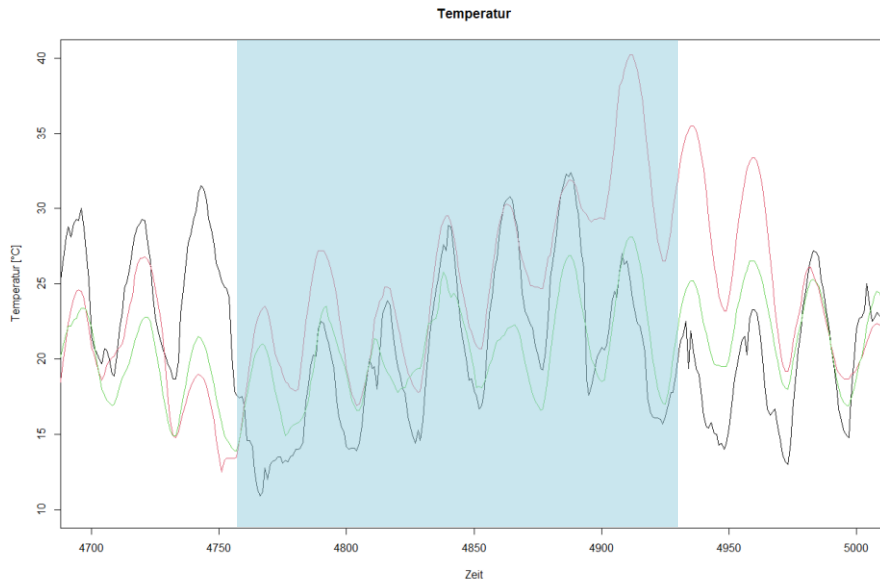
#### 1.4.4 Vergleich von Klimadatenätzen

Ausgehend von diesem Vergleichsdatensatz (Halbsynthetischer Klimadatenatz Abbildung 16) auf Basis langjähriger gemittelter Klimadaten lassen sich eindrucksvoll die Klimaentwicklungen in Wien darstellen. Nachfolgend werden dafür verschiedene Möglichkeiten der Analyse und Darstellung angeführt. Eine detaillierte Analyse und Kenntnis der in den Berechnungen eingesetzten Klimadatenätze ist insofern von hoher Bedeutung, da diese je nach Fragestellung unterschiedlich konzipiert sind, und z.B. für Energieausweisberechnungen durchschnittliche Klimadaten repräsentieren, wohingegen diese Hitzeereignisse, wenn überhaupt eher zufällig beinhalten. Je nach Fragestellung ist es deshalb sinnvoll und erforderlich sich dies in den Berechnungen und der anschließenden Beurteilung sich diese Tatsache bewusst vor Augen zu führen.

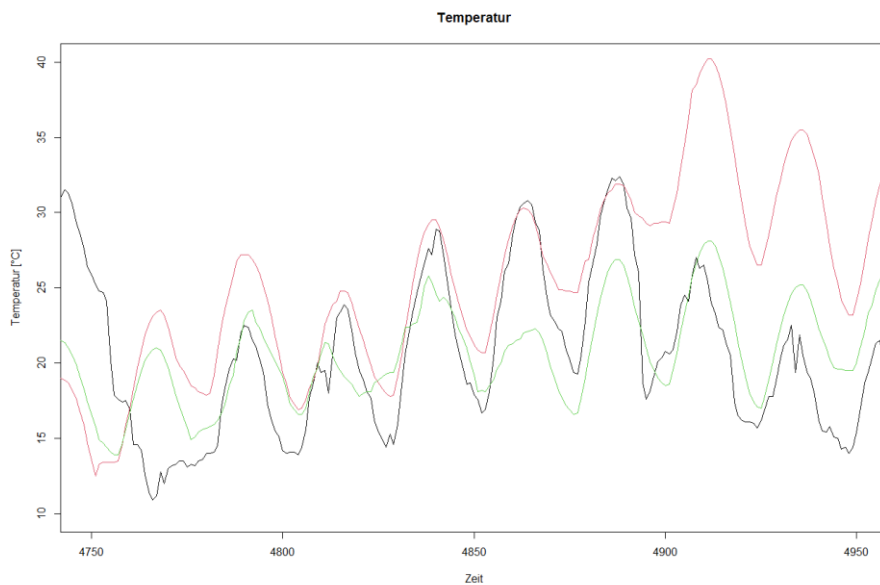
Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurde deshalb auf Basis der detaillierten Analyse der betrachteten Klimadatenätze ein Zeitbereich identifiziert (Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19), in denen die Temperaturverläufe einen ausreichend vergleichbaren Verlauf zeigen.



**Abbildung 17 Vergleichende Darstellung Temperaturverlauf 3 repräsentativer Klimadatenätze für Wien (HSKD Wien, Realklima 2007, RCP85), für vergleichende Simulationsrechnungen gewählter Bereich Zeitbereich, grob**

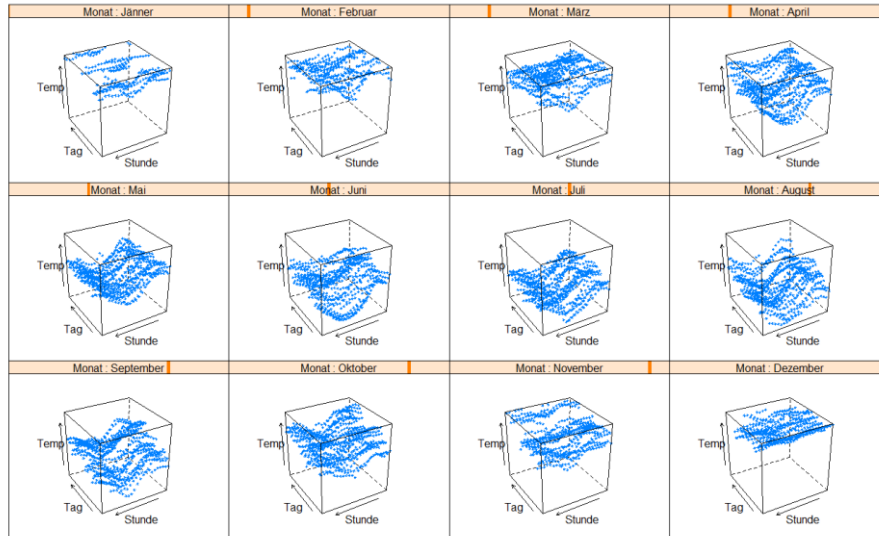


**Abbildung 18** Vergleichende Darstellung Temperaturverlauf 3 repräsentativer Klimadatenätze für Wien (HSKD Wien, Realklima 2007, RCP85), für vergleichende Simulationsrechnungen gewählter Bereich Zeitbereich, detailliert

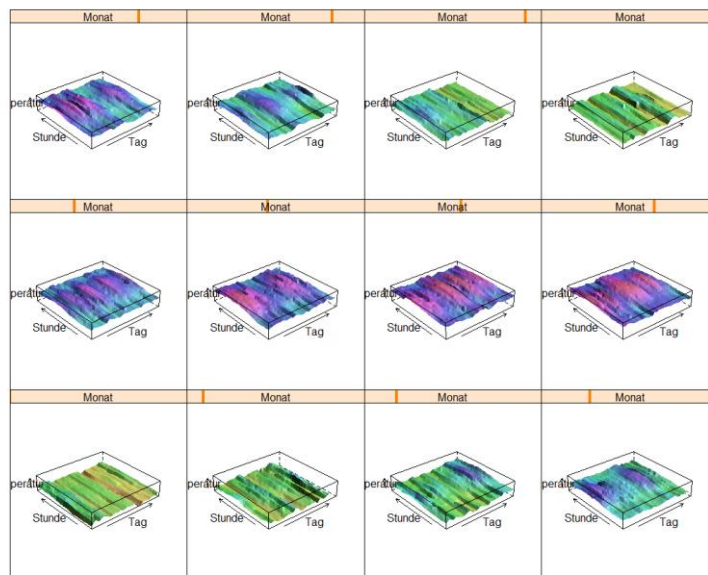


**Abbildung 19** Vergleichende Darstellung Temperaturverlauf 3 repräsentativer Klimadatenätze für Wien (HSKD Wien, Realklima 2007, RCP85), für vergleichende Simulationsrechnungen gewählter Bereich Zeitbereich, heiße Woche

Für eine rasche, eher intuitive Analyse oder dem Vergleich von Klimadaten lassen sich diese wie in den nachfolgenden Abbildungen gezeigt grafisch aufbereiten, entweder als Punktwolken (Abbildung 20), Flächendiagramme (Abbildung 21), Qualitative Klimadatenanalysen (Abbildung 22 Qualitative Klimadatenanalyse für ausgewählte Monate, HSKD<sub>Wien</sub> Juli Abbildung 23) oder Histogramme (Abbildung 24 bis Abbildung 26).



**Abbildung 20 Klimadatenanalyse, Temperaturen als Punktwolke nach Monaten**



**Abbildung 21 Klimadatenanalyse, Temperaturen als Flächendiagramme nach Monaten**

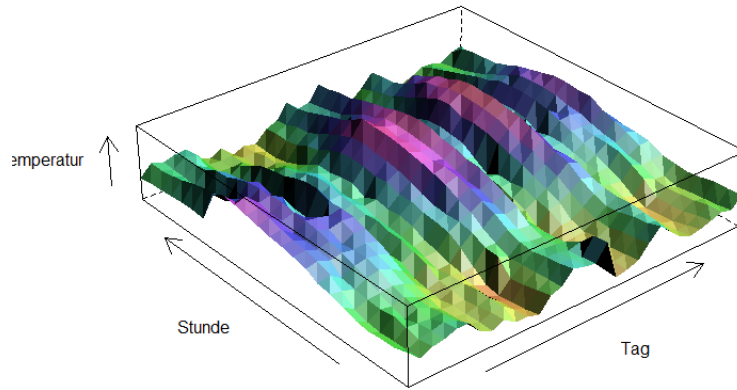


Abbildung 22 Qualitative Klimadatenanalyse für ausgewählte Monate, HSKD<sub>Wien</sub> Juli

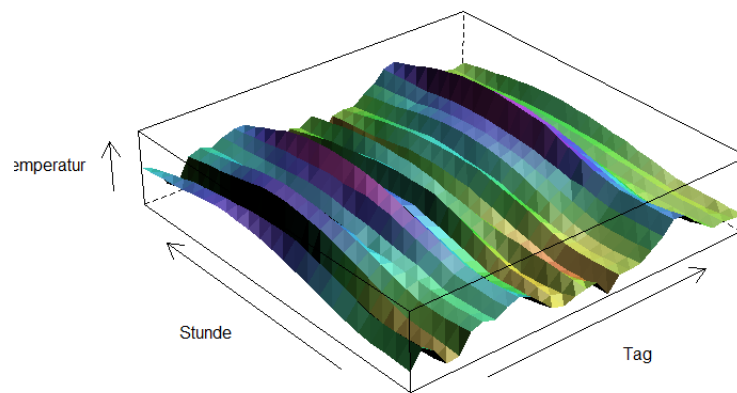


Abbildung 23 Qualitative Klimadatenanalyse für ausgewählte Monate, RCP85<sub>Wien</sub> Juli

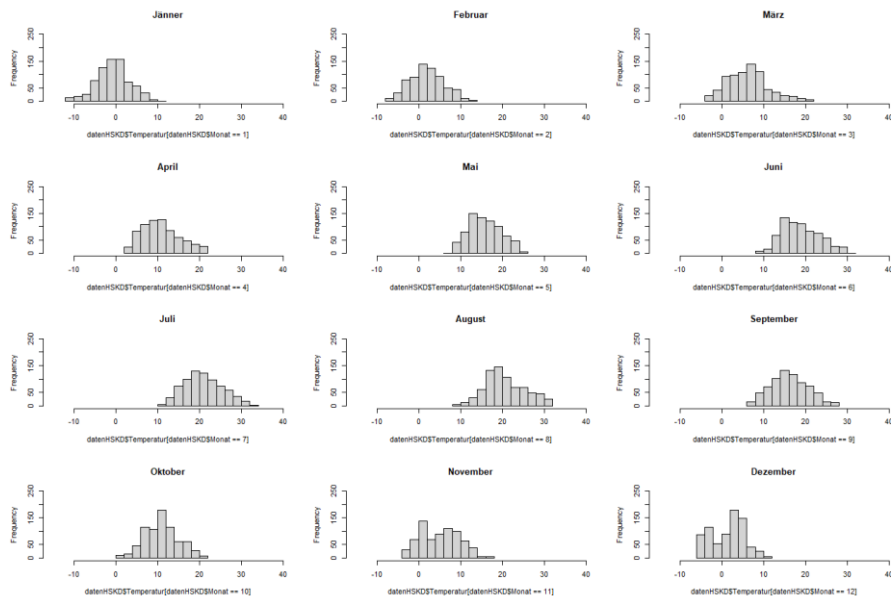
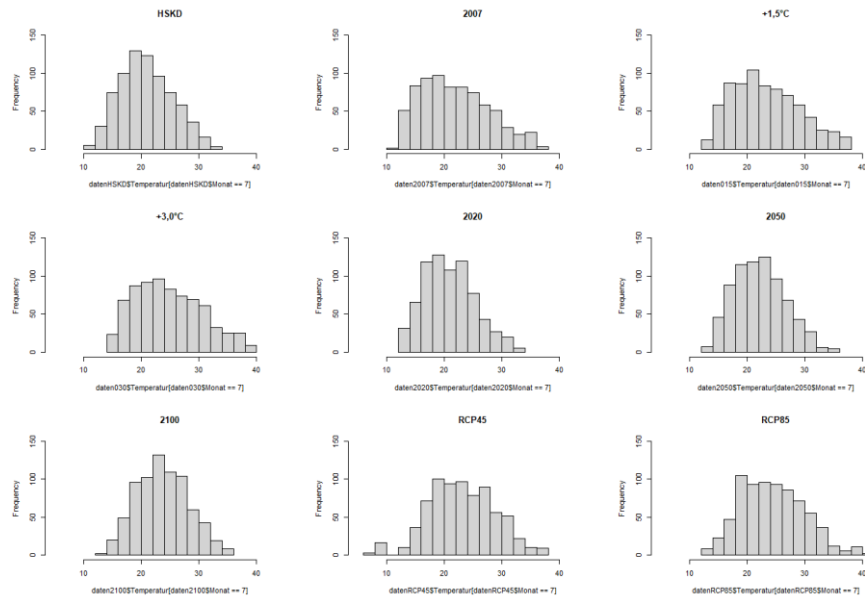
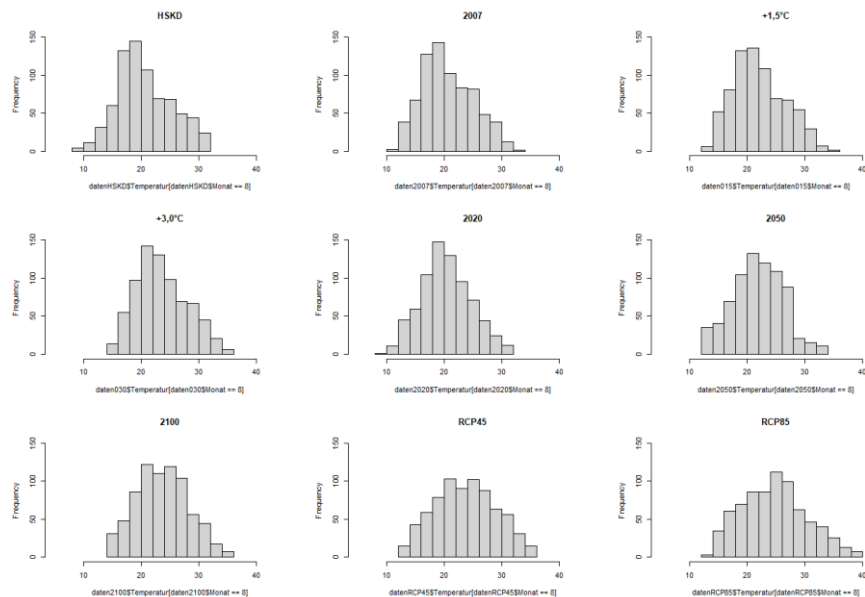


Abbildung 24 Histogramm, Temperatur im Jahresverlauf für halbsynthetischen Klimadatensatz HSKD<sub>Wien</sub>



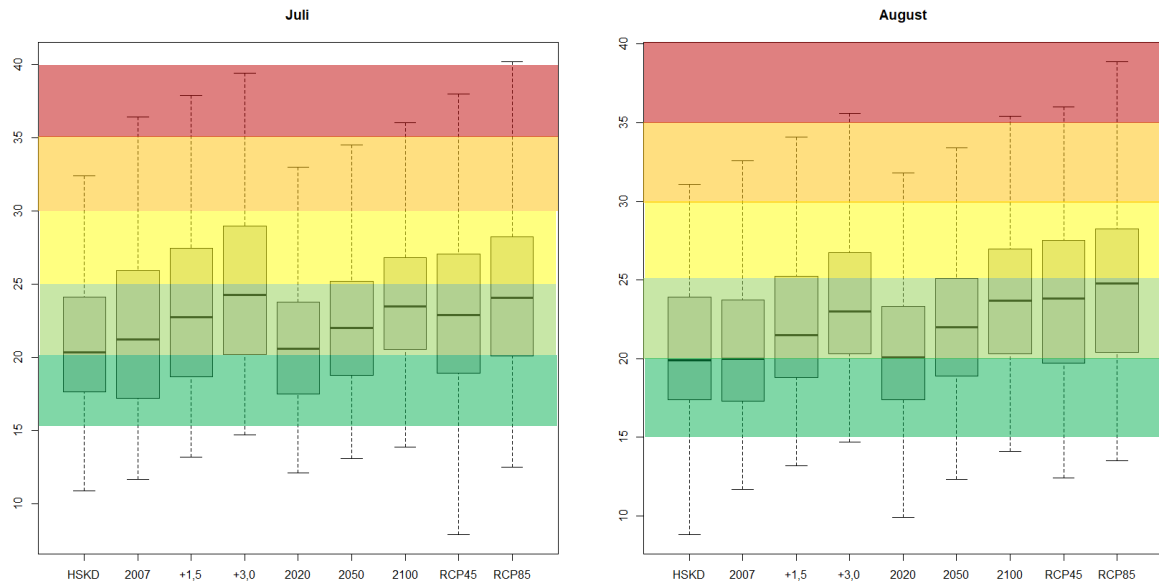
**Abbildung 25 Histogramm, Temperaturverteilung für ausgewählte Klimaszenarien, Wien im Juli**



**Abbildung 26 Histogramm, Temperaturverteilung für ausgewählte Klimaszenarien, Wien im August**

Für einen quantitativen Vergleich sind allerdings Histogramme (Abbildung 24, Abbildung 25, Abbildung 26) und eine Darstellung als Box-Plot (Abbildung 27) deutlich besser geeignet, da deutlich zu erkennen wie häufig welche Temperaturen im Monat auftreten.

## Hitzetaugliche Wohngebäude



**Abbildung 27 Temperaturen für ausgewählte Klimadatenätze, Wien Juli und August**

Abbildung 27 zeigt für die in der Studie betrachteten Klimadatenätze die Temperaturen in Juli und August. Bereits anhand des Medians lässt sich die Temperaturentwicklung hin zu extremen Klimata erkennen.

# Hitzetaugliche Wohngebäude

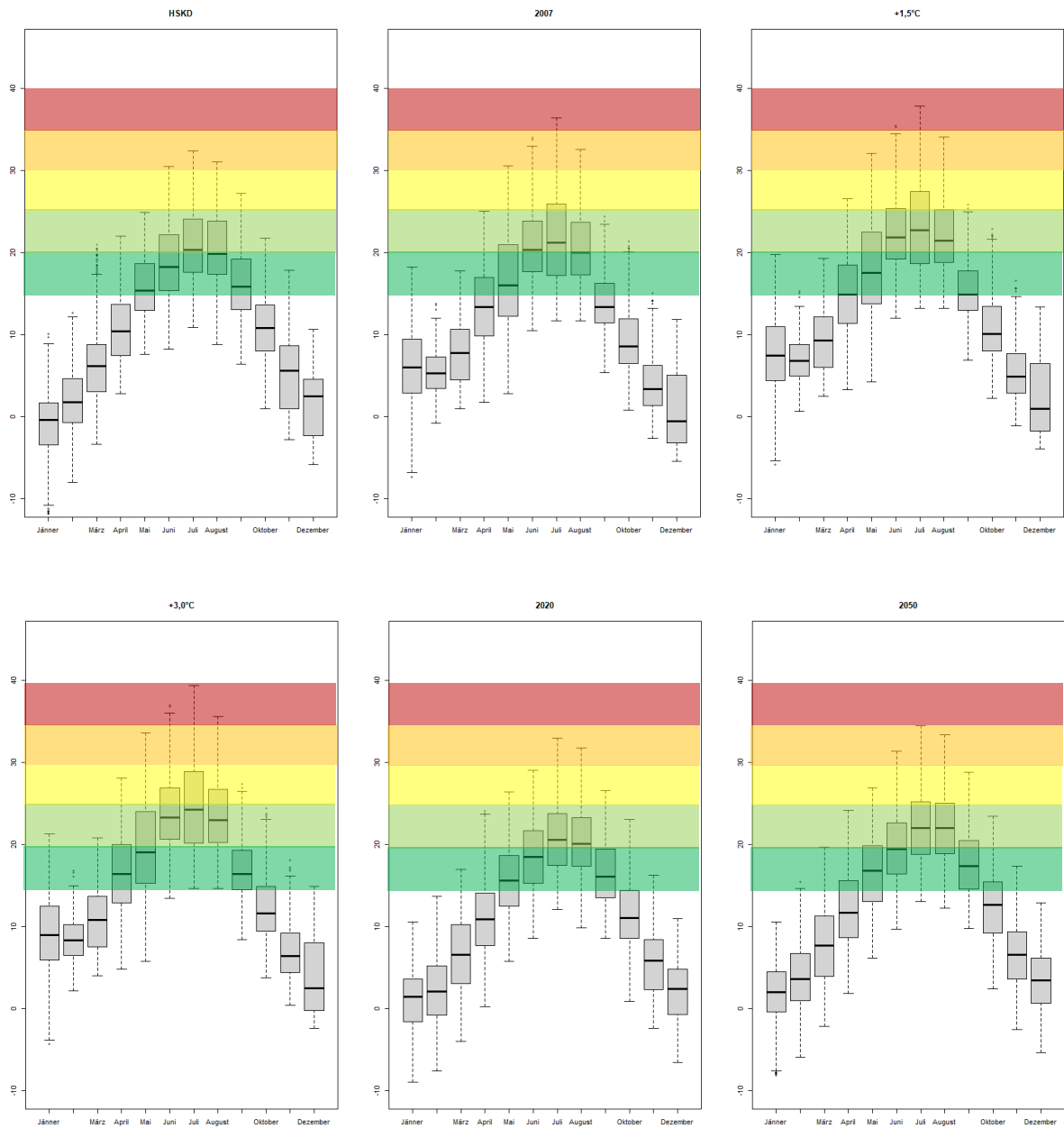
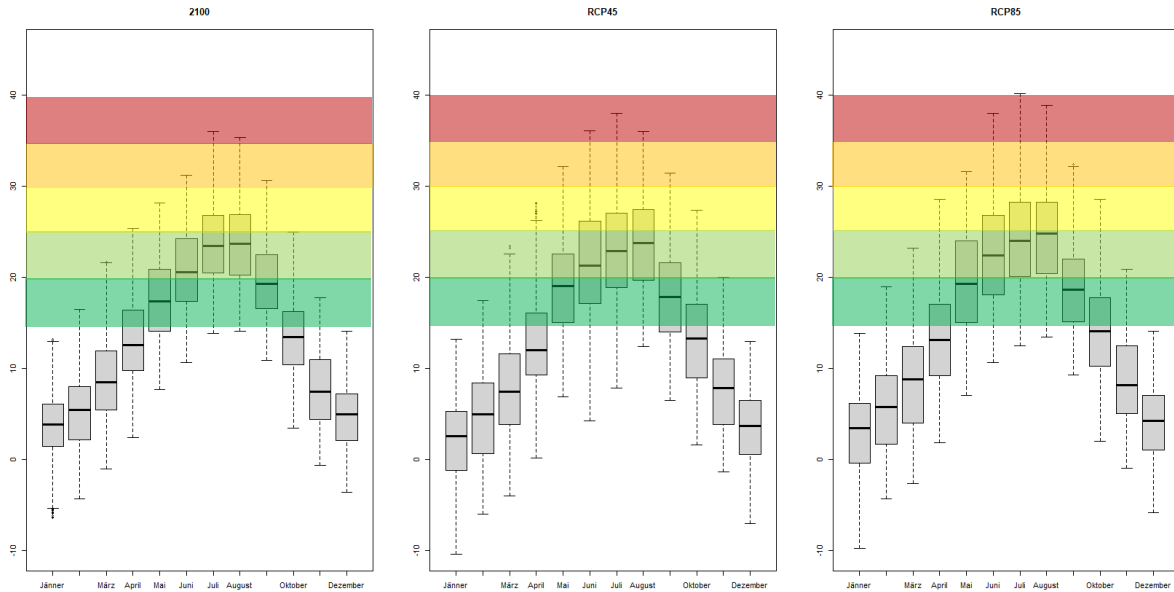


Abbildung 28 Außenlufttemperaturen für ausgewählte Klimadatensätze im Jahresverlauf, Wien



**Abbildung 29 (fortgeführt) Außenlufttemperaturen für ausgewählte Klimadatensätze im Jahresverlauf, Wien**

Die vergleichenden Darstellungen in Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen sehr anschaulich und eindrucksvoll mit welchen Temperaturniveaus wir uns aktuell und in den kommenden Jahren auseinanderzusetzen haben. Während der erste Blick dabei unweigerlich auf die Maximaltemperaturen fällt, die sukzessive in den dunkelrot markierten Bereich wandern, ist auch ein besonderes Augenmerk auf die Minimaltemperaturen im Sommer zu legen. Mit steigenden Minimaltemperaturen, reduziert sich auch das Potential der Nachtlüftung deutlich.

## 1.5 Energieeffizienz und Lebenszyklus

Neben klimatischen Randbedingungen spielt die Energieeffizienz und das Energiesparen eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich kann das Ziel, ein hoher thermischer Komfort technisch, durch aktive Kühlmaßnahmen realisiert werden. Dazu stehen verschiedene Technologien zur Verfügung. Allerdings ist der Einsatz aktiver Kühlung mit erheblichen Emissionen verbunden, die nicht nur den Kühlbetrieb, sondern auch die Installationen, die Herstellung der Geräte, die Kältemittel und die Komponenten betreffen. Daher ist es wichtig, den Lebenszyklus der Kühlungstechnologien sorgfältig zu analysieren und energieeffiziente Alternativen zu wählen, um das Ziel der Energieeinsparung zu erreichen. Somit steht der Einsatz aktiver Kühlung sehr oft im Widerspruch zu dem Klimaziel, Emissionen im Gebäudebetrieb zu minimieren.

### 1.5.1 Einfluss von passiven und aktiven Maßnahmen

Für ein Bestandsobjekt m in Wien<sup>47</sup> wurde der Einfluss verschiedener passiver und aktiver Maßnahmen auf den Kühlbedarf und die Kühllast untersucht. Um den Einfluss der Maßnahmen zu ermitteln, wurden mittels Energieausweisberechnung dabei folgende „passive“ Varianten und deren Kombinationen untersucht: Sonnenschutz<sup>48</sup> zwischen den Fensterebenen oder außenliegend, energieeffiziente Beleuchtung, thermische Sanierung der obersten Geschoßdecke, thermische Sanierung der Fenster, thermische Sanierung mit Innendämmung. Abhängig von den kühllastsenkenden Maßnahmen ergibt sich die erforderliche Kälteleistung (Abbildung 30). Insbesondere die Regelung, Steuerung und Automatisierung von Sonnenschutzeinrichtung spielt dabei eine wesentliche Rolle. Hierzu werden in den Normen unterschiedliche Optionen wie konstante, geregelte (Zeitplan), intensitätsgeregelte, automatische Steuerung, vorsorgliche manuelle Bedienung und manuelle Bedienung genannt. Um die erforderliche Kälteleistung zu ermitteln, wurde für jede der untersuchten Varianten eine Kühllastberechnung nach ÖNorm H 5058 durchgeführt.

Die Einflüsse von Bauwerksbegrünung wurden in dieser Studie nicht behandelt, da hierzu aktuell Forschungsprojekte laufen, deren Ergebnissen aber nicht vorweggegriffen werden soll. Allgemein lässt sich festhalten, dass Begrünung, je nach Art, Dichte, Alter und Jahreszeit einen verschattenden Effekt auf die Fassade bewirkt. Weiter wirkt sie durch die Verdunstung von Wasser über die Blätter durch die Verdunstungskälte auf das Mikroklima im Bereich der Bepflanzung wodurch, je nach Verdunstungsleistung bzw. Wasserangebot eine Temperaturabsenkung im Bereich des Bewuchses möglich ist. Bei begrünten Dächern wird, wieder je nach Art des Dachaufbaus – extensiv/intensiv, eine Verbesserung des U-Werts durch die Dachbegrünung diagnostiziert. Neben den in der Regel positiven physiologischen Auswirkungen, wie Stressreduktion, Förderung der mentalen Gesundheit wirkt Bauwerksbegrünung auch positiv auf die Vermeidung hinsichtlich der Vermeidung von Hitze im Gebäudebestand.

---

<sup>47</sup> "Steiner, T. Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 15 ff

<sup>48</sup> Unter Sonnenschutz wird eine Einrichtung am Fenster verstanden, die dazu dient, die solaren Energieeinträge gezielt zu reduzieren. Solche Einrichtungen können fix oder steuerbar sein. Eine Reduktion der solaren Einträge durch Nachbargebäude oder eine Horizontüberhöhung wird hier als Verschattung bezeichnet.

Bezeichnung der Variante Beschreibung der Maßnahmen	Kühllast als Beurteilungshilfe für Hitzetauglichkeit [kW]
VG Bestand, Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Kältemaschine Kompression	282
VH Bestand, Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression	281
VloI Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster, Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Kältemaschine Kompression	244
VI Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Kältemaschine Kompression	238
VJ Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen +Kühlen über Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression	236
VK Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen +Kühldecke + Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression	272
VL Bestand, Sonnenschutz zwischen – Kombiniertes Heiz- und Kühlsystem - Kältemaschine Kompression	282
VM Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen – Kombiniertes Heiz- und Kühlsystem, Kältemaschine Kompression	238
VN Thermische Sanierung d. Fenster, Verschattung zwischen - Kühldecke, Kältemaschine Kompression	248
VO Bestand + Sonnenschutz zwischen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression	252
VP Thermische Sanierung d. Fenster, Sonnenschutz zwischen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression	231
VQ Bestand, Sonnenschutz außen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression	184
VR Thermische Sanierung d. Fenster, Sonnenschutz außen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression	158
VS Sonnenschutz außen, geregelt, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Kühldecke, Kältemaschine - Kompression	155
VT Sonnenschutz außen, geregelt, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Innendämmung, Kühldecke, Kältemaschine - Kompression	151
VU Sonnenschutz außen, geregelt, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Innendämmung, Energieeffiziente Beleuchtung, Kühldecke, Kältemaschine - Kompression	151
VW = VU mit Nutzungsprofil 21 / 26 °C	151
VX = VU mit Nutzungsprofil 22 / 27 °C	150

**Abbildung 30 Kühllast als Beurteilungshilfe für die Hitzetauglichkeit<sup>49</sup> in Abhängigkeit ausgewählter Maßnahmen<sup>50</sup> zur Beurteilung der Hitzetauglichkeit von Gebäuden**

Ausgehend von der durchgeführten Analyse zur Kühllastberechnung (Abbildung 30) – anhand derer über die maximale Kühlleistung direkt Rückschlüsse auf die Hitzetauglichkeit gezogen werden können lässt sich festhalten, dass mittels thermischer Sanierung eine Reduktion der Kühllast um 15 %, mittels außenliegenden Sonnenschutzes eine Reduktion der Kühllast um 30 % und die Kombination beider Maßnahmen eine Reduktion der Kühllast um 45 % im unsanierten Bestand erzielt werden kann. Neben der Beurteilung sich in Räumen einstellender empfunderer bzw. operativer Temperaturen stellt die Ermittlung

<sup>49</sup> Über die Kühllast [kW] kann, auch ohne aktive Kühlung eine Bewertung der Hitzetauglichkeit von Gebäuden erfolgen, desto kleiner die Kühllast, desto hitzetauglicher ist ein Gebäude

<sup>50</sup> Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), Tab. S. 74

der Kühllast eine weitere gut geeignete Methode zur Beurteilung der Hitzetauglichkeit von Gebäuden dar. Die Kühllast kann auch ohne eine zuvor beschriebene aktive technische Kühlung ermittelt werden.

### 1.5.2 Gesamtenergieeffizienz – passive Maßnahmen

Unter Zuhilfenahme des Programmpakets Archiphysik werden in der Objektstudie zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung<sup>51</sup> für ausgewählte Maßnahmen(-Kombinationen) gebäudebezogener Energiekennzahlen mit dem Monatsbilanzverfahren ermittelt. Diese Analyse wird anhand standortbezogener durchschnittlicher langjähriger Klimadaten durchgeführt, wobei die Energiekennzahlen Heizwärmebedarf, Heizenergiebedarf, Endenergiebedarf, Gesamtenergieeffizienz-Faktor, Außeninduzierter Kühlbedarf, Kühlbedarf gesamt und äquivalente Kohlendioxidemissionen gesamt analysiert werden. Die Ergebnisse werden als spezifische – also auf m<sup>3</sup> oder m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> bezogene Energiekennzahlen – zusammengefasst. Als Orientierungswerte sind auch die verbrauchsgebundenen Energiekosten angeführt mit dem zum Zeitpunkt der Berechnungen im Vergleich zu jetzt noch deutlich geringeren Kosten. In Abbildung 31 wird deutlich, dass die internen Wärmelasten bei zusätzlichen Dämmmaßnahmen schlechter an den Außenraum abgegeben werden können und der Kühlbedarf KB\* mit zunehmendem thermischem Standard steigt, was grundsätzlich bedeutet, dass die thermische Ertüchtigung von Wohngebäuden mit dem Ziel der Vermeidung von Energieverlusten im Winter, leider tendenziell zu höheren Raumtemperaturen im Sommer führt.

Variante	HWBRef	HEB	EEB	KBStern	KBgesamt	KB	CO2gesamt	CO2	kWhWaerme	kWhStrom	Eurom2Energie
VA	136.5	155.2	198.4	0.8	166069	25.5	84250	13	155.05	43.39	22.45
VB	136.1	160	190.2	0.9	126390	19.4	65582	10.1	159.88	30.32	20.84
VC	99.6	115.5	158.8	0.9	169754	26.1	79081	12.2	115.41	43.38	18.48
VD	104	123	166.2	1.1	191755	29.5	80059	12.3	122.85	43.39	19.23
VDog	67.7	83.3	126.6	1.1	191755	29.5	74868.00	11.50	83.19	43	15.26
VE	117.5	136.9	180.2	1.3	196800	30.3	81869	12.6	136.78	43.39	20.62
VF	49.7	65.9	109.2	1.6	212668	32.7	72574	11.2	65.8	43.8	13.59
VA2	136.1	154.8	198.1	0.3	135428	20.8	84286	13	154.72	43.39	22.41
VA3	136.1	154.8	198.1	0	62042	9.5	84207	12.9	154.72	43.39	22.41

**Abbildung 31 Vergleich gebäudebezogener Energiekennzahlen HWB in kWh/m<sup>2</sup>a, HEB in kWh/m<sup>2</sup>a, EEB in kWh/m<sup>2</sup>a, KB\* in kWh/m<sup>3</sup>a, Kühlbedarf gesamt in kWh/a, Kühlbedarf spezifisch in kWh/m<sup>2</sup>a, äquivalente Kohlendioxidemissionen gesamt in [kg/a] und spezifisch in [kg/m<sup>2</sup>a], Wärme kWh/m<sup>2</sup>a und Strom in kWh/m<sup>2</sup>a sowie die summierten spezifischen Energiekosten €/m<sup>2</sup> für die Varianten VA, VB, VC, VD, VDog, VE, VF, VA2 und VA3<sup>52</sup>**

<sup>51</sup> Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 15 ff

<sup>52</sup> Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 16, Abb. 1, Beschreibung der Variantenabkürzungen in Abbildung 30, sowie im Text unterhalb Abbildung 31

Beim Bestand mit zwischen den Fensterebenen liegendem, manuell bedientem Sonnenschutz „VA“, der als Vergleich herangezogen wird, ergibt sich für das Gesamtgebäude ein außeninduzierter Kühlbedarf  $KB^*$  von  $0,8 \text{ W/m}^3\text{a}$ , ein Kühlbedarf von  $25,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , ein Wärmebedarf von  $155,05 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und ein Strombedarf von  $43,39 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und damit verbrauchsgebundenen Energiekosten von  $22,45 \text{ €/m}^2$ .

Durch den Einsatz von energieeffizienter Beleuchtung „VB“ konnte der Kühlbedarf um  $6,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  reduziert werden – von  $25,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  auf  $19,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Dies wirkte sich auch auf den Strombedarf aus, der von  $43,39 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  um  $13,07 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  auf reduziert wurde. Dadurch konnten auch die verbrauchsgebundenen Energiekosten um  $1,97 \text{ €/m}^2\text{a}$  reduziert, von  $22,45$  auf  $20,48 \text{ €/m}^2\text{a}$  gesenkt werden.

Die Thermische Sanierung durch Dämmung der obersten Geschoßdecke „VC“ führt zu einer geringfügigen Anhebung des außeninduzierten Kühlbedarfs um  $0,1 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ , von  $0,8 \text{ kWh/m}^3$  auf  $0,9 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ , was bedeutet, dass auch der Kühlbedarf um  $0,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ansteigt. Im Gegenzug wird der Heizwärmebedarf um  $39,64 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  deutlich reduziert, wodurch sich auch die verbrauchsgebundenen Energiekosten um  $3,97 \text{ €/m}^2\text{a}$  von  $22,45$  auf  $18,48 \text{ €/m}^2\text{a}$  senken.

Die Thermische Sanierung der Fenster „VD“ erhöht den außeninduzierten Kühlbedarf um  $0,3 \text{ kWh/m}^3\text{a}$  auf  $1,1 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ . Dies führt zu einem Anstieg des Kühlbedarfs um  $4,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Gleichzeitig wird der Heizwärmebedarf um  $32,20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  deutlich reduziert und damit auch die verbrauchsgebundenen Energiekosten um  $3,22 \text{ €/m}^2\text{a}$ , von  $22,45$  auf  $19,23 \text{ €/m}^2\text{a}$ .

Die Thermische Sanierung durch Innendämmung „VE“ erhöht den außeninduzierten Kühlbedarfs um  $0,5 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ , von  $0,8 \text{ kWh/m}^3$  auf  $1,3 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ , - was einem Anstieg des Kühlbedarfs um  $4,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  zur Folge hat. Im Gegenzug wird der Heizwärmebedarf um  $19,27 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  erheblich reduziert, wodurch sich auch die verbrauchsgebundenen Energiekosten um  $1,83 \text{ €/m}^2\text{a}$ , von  $22,45$  auf  $20,62 \text{ €/m}^2\text{a}$  senken.

Die Thermische Sanierung durch Dämmung der obersten Geschoßdecke, Sanierung der Fenster und Applikation einer Innendämmung „VF“ führt zu einer Anhebung des außeninduzierten Kühlbedarfs um  $0,8 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ , von  $0,8 \text{ kWh/m}^3$  auf  $1,6 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ , und führt damit auch zu einem Anstieg des Kühlbedarfs um  $7,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Dafür wird der Heizwärmebedarf um  $98,25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  erheblich reduziert und damit auch die verbrauchsgebundenen Energiekosten um  $8,86 \text{ €/m}^2\text{a}$  erheblich reduziert, von  $22,45$  auf  $13,59 \text{ €/m}^2\text{a}$ .

Die Automatische Steuerung des zwischen den Fensterebenen liegenden Sonnenschutzes „VA2“ führt zu einer Reduktion des außeninduzierten Kühlbedarfs um 0,5 kWh/m<sup>3</sup>a, von 0,8 kWh/m<sup>3</sup> auf 0,3 kWh/m<sup>3</sup>a, und somit zu einer Reduktion des Kühlbedarfs um 4,7 kWh/m<sup>2</sup>a, von 25,5 kWh/m<sup>2</sup>a auf 20,8 kWh/m<sup>2</sup>a.

Mit außenliegendem Sonnenschutz mit automatischer Steuerung „VA3“ führt zu einer deutlichen Reduktion des außeninduzierten Kühlbedarfs auf 0 kWh/m<sup>3</sup>a, und führt damit auch zu einer deutlichen Reduktion des Kühlbedarfs um 16,0 kWh/m<sup>2</sup>a, von 25,5 kWh/m<sup>2</sup>a auf 9,5 kWh/m<sup>2</sup>a.

Hinsichtlich sommerlicher Überwärmung führen Maßnahmen zur thermischen Sanierung, also Dämmmaßnahmen auf der Fassade oder der obersten Geschoßdecke, aber auch die thermische Verbesserung der Fenster zu einem höheren Kühlbedarf.

### 1.5.3 Gesamtenergieeffizienz – aktive Maßnahmen

Weiter werden in der Objektstudie zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung <sup>53</sup> zusätzlich zu den passiven Maßnahmen, aktive Maßnahmen(-Kombinationen) untersucht. Es werden Kühldecke, Kühlung über Lüftungsanlage jeweils für Kompressions- und Absorptionskältemaschine untersucht. Es wird ein angepasster Gebäudebetrieb durch Absenkung des Nutzungsprofils auf Solltemperatur von 21 °C statt 22 °C im Winter bei Zieltemperatur 26 °C im Sommer bzw. Anpassung der Solltemperatur 22 °C im Winter und Anhebung der Zieltemperatur im Sommer von 26 °C auf 27 °C untersucht. Es ergeben sich die nachfolgend zusammengefassten spezifischen – also auf m<sup>3</sup> oder m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> bezogenen Energiekennzahlen (Abbildung 32).

Es wird untersucht, wie sich verschiedene aktive Varianten des Kühlens auf die Emissionen auswirken, wobei insbesondere auch die Kombination mit passiven Varianten berücksichtigt wird. Da nicht nur die Maßnahme (Sonnenschutz, Thermische Sanierung), sondern auch die Art und Weise ihres Betriebs ausschlaggebend ist, werden auch unterschiedliche Betriebsstrategien untersucht<sup>54</sup>. Dadurch können die möglichen Einflüsse auf die Emissionen, die durch die aktiven Varianten verursacht werden, bewertet werden.

---

<sup>53</sup> Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 75 ff

<sup>54</sup> Vgl. "Wiener Hitzewellentage" (2021), S. 3 ff

## Hitzetaugliche Wohngebäude

Variante	HWBRef	HEB	EEB	KBStern	KBgesamt	KB	CO2gesamt	CO2	kWhWaerme	kWhStrom	Eurom2Energie
VA	136.5	155.2	198.4	0.8	166069	25.5	84250	13	155.05	43.39	22.45
VG	136.1	154.9	203.8	0.9	169754	26.1	92517	14.2	154.76	49.01	33.44
VH	136.1	160.8	206.4	0.9	164357	25.3	107479	16.5	146.54	59.87	34.31
VI	49.7	65.9	116.2	1.6	212668	32.7	82931	12.7	65.8	50.36	25.07
VJ	49.7	63.9	114.1	1.6	206394	31.7	89572	13.8	58.61	55.49	25.13
VK	49.7	61	112.3	1.6	204833	31.5	92732	14.3	54.25	58.02	25.08
VL	136.1	145.6	195	0.9	169754	26.1	92397	14.2	145.25	49.77	32.61
VM	49.7	56.3	107.2	1.6	212668	32.7	82822	12.7	56.09	51.14	24.23
VN	104	123	172.6	1.1	191755	29.5	89385	13.7	122.85	49.7	30.52
VO	136.1	154.9	202.7	0.3	135407	20.8	90879	14	154.76	47.9	33.00
VP	104	123	171.9	0.8	171773	26.4	88432	13.6	122.85	49.06	30.27
VQ	136.1	154.9	200.3	0	62039	9.5	87355	13.4	154.76	45.52	32.08
VR	104	123	169.2	0	88433	13.6	84452	13	122.85	46.36	29.22
VS	67.7	83.3	129.5	0	88433	13.6	79254	12.2	83.19	46.34	25.25
VT	49.7	65.9	112.7	0	104592	16.1	77742	12	65.8	46.85	23.71
VU	49.7	68.7	104.7	0	79365	12.2	62276	9.6	68.59	36.13	22.09
VW	49.7	66.2	102.2	0	79365	12.2	61950	9.5	66.12	36.12	21.84
VX	49.7	68.7	104.5	0	72709	11.2	61975	9.5	68.56	35.92	22.00
VUoi	61	79.4	119.6	0	50509	7.8	58732	9	87.56	32.05	24.10
VWoi	60.9	85.1	117.1	0	50509	7.8	58400	9	85.04	32.05	23.95
VWoimi	60.9	85.1	117.6	0.1	67145	10.3	59176	9.1	85.04	32.58	24.17
VXoi	60.9	87.6	119.4	0	44605	6.9	55465	9	87.53	31.88	24.03
VJoi	68.1	83.1	132.6	1.1	189901	29.2	93594	14.4	75.94	56.69	28.87
VRog	67.7	83.3	129.5	0	88433	13.6	79254	12.2	83.19	46.34	26.69

**Abbildung 32 Vergleich gebäudebezogener Energiekennzahlen HWB in kWh/m<sup>2</sup>a, HEB in kWh/m<sup>2</sup>a, EEB in kWh/m<sup>2</sup>a, KB\* in kWh/m<sup>3</sup>a, Kühlbedarf gesamt in kWh/a, Kühlbedarf spezifisch in kWh/m<sup>2</sup>a, äquivalente Kohlendioxidemissionen gesamt in [kg/a] und spezifisch in [kg/m<sup>2</sup>a], Wärme kWh/m<sup>2</sup>a und Strom in kWh/m<sup>2</sup>a sowie die summierten spezifischen Energiekosten €/m<sup>2</sup> für die Varianten VA, und VG bis VX, sowie die ergänzten Varianten VUoi bis VRog<sup>55</sup>**

<sup>55</sup> "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S.77 Abb. 45 Beschreibung der Variantenabkürzungen in Abbildung 30, sowie im Text unterhalb Abbildung 31

Zusammenfassend können folgende gebäudebezogenen Aussagen zur kühllastreduzierenden Wirkung der untersuchten Maßnahmen getroffen werden, wobei insbesondere der außeninduzierte Kühlbedarf  $KB^*$  in  $[kWh/m^3a]$  bzw. der spezifische Kühlbedarf in  $KB$  in  $[kWh/m^2a]$  zur Beurteilung herangezogen werden.

Wird die erforderliche Kälte über die Kühldecke VG eingebracht so fällt der erforderliche Gesamtstrombedarf mit  $49 kWh/m^2a$  um etwa  $10 kWh/m^2a$  deutlich geringer aus, als wenn die Kühlung über die Lüftungsanlage wie in VH eingebracht wird. Da der Betrieb der Lüftungsanlage VH aber auch in der Heizsaison – mit Wärmerückgewinnung – berücksichtigt wird reduziert sich der Wärmeenergiebedarf um  $10 kWh/m^2a$  was im Vergleich der beiden Systeme zu annähernd gleichen  $CO_2$ -Emissionen führt.

Eine thermische Sanierung VI, VJ und VK führt mit  $1,6 kWh/m^3a$  und einem spezifischen Kühlbedarf von  $32 kWh/m^2a$  im Vergleich zum thermisch nicht ertüchtigten Bestand zu einem deutlich höheren Kühlbedarf. Die mit der thermischen Sanierung einhergehende deutliche Reduktion des Heizwärmebedarfs auf  $50 kWh/m^2a$  gegenüber  $126 kWh/m^2a$  beim Bestand kompensiert die mit der Kühlung zusätzlich erforderlichen  $CO_2$ -Emissionen und das Emissionsniveau des Bestands ohne Kühlung von  $13 kg/m^2a$  kann auch mit Kühlung gehalten werden.

Die automatische Steuerung des Sonnenschutzes VO zwischen den Fensterebenen hat erheblichen Einfluss auf die Reduktion des Kühlbedarfs. VO führt mit einem  $KB^*$  von  $0,3 kWh/m^3a$  trotz hohem Heizwärmebedarfs zu nur geringer Erhöhung der  $CO_2$ -Emissionen. Auf Grund der hohen Grundgebühr für Kälte liegen die energiebezogenen Kosten aber trotz geringen Kühlbedarfs mit  $33 €/m^2a$  allerdings weiterhin nur geringfügig unter dem Niveau der Varianten ohne automatischer Steuerung des Sonnenschutzes VG und VH.

Wie auch bei der Kühllastberechnung (Abbildung 30) zeigt die Kombination von thermischer Sanierung u. außenliegendem Sonnenschutz VR bis VX ein günstiges energetisches Gesamtverhalten. Die Energiekosten liegen dabei auf dem Niveau des Bestands ohne Kühlung. Durch den außenliegenden Sonnenschutz kann der Kühlbedarf auf die Hälfte reduziert werden, von  $26 kWh/m^2a$  auf  $13 kWh/m^2a$ . Ohne Innendämmung (VWoi, VXoi) sogar auf  $7 kWh/m^2a$ . In Kombination mit der Reduktion des Heizwärmebedarfs werden die  $CO_2$ -Emissionen für das Gebäude durch die Maßnahmen um bis zu 21 Tonnen reduziert. Mit Innenliegendem Sonnenschutz, ohne Innendämmung beträgt der Kühlbedarf etwa  $10 kWh/m^2a$  (VWoimi).

Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnung<sup>56, 57</sup>, welche sowohl die Investitionskosten als auch die Kosten des laufenden Betriebs berücksichtigen zeigt Abbildung 33. Die Varianten, bei denen die Kälte über die Kühldecke VG oder die Kälte über den Betrieb einer Lüftungsanlage VH – jeweils ohne thermische Sanierungsmaßnahmen oder Maßnahmen zur Reduktion der Kühllast – eingebracht wird, führen nicht nur zu hohen CO<sub>2</sub>-Folgekosten, sondern auch zu Annuitäten, die gegenüber der Referenzvariante VA um 50 bis 65 % höher liegen. In Kombination mit thermischer Sanierung (VI, VJ und VK) wird die Erhöhung der Annuitäten jedoch auf 35 bis 45 % begrenzt. Die jährlichen CO<sub>2</sub>-Folgekosten betragen 31.000 €, gegenüber 19.000 € im Bestand ohne Kühlung. Ein kombiniertes Heiz-Kühlsystem – beispielsweise Heiz-Kühlestrich – welches jedoch eine thermische Sanierung zur Reduktion der Heizlast erfordert (hier als VM bezeichnet) – mit thermischer Sanierung der obersten Geschosdecke + thermischer Sanierung der Fenster + thermischer Sanierung der Außenwände mit Innendämmung zwischen den Fensterebenen und liegendem Sonnenschutz, zeigt das günstigste wirtschaftliche Verhalten im Heiz- und Kühlbetrieb.

Kapitalwert (gesamt)	VA	VG	VH	VI	VJ	VJoi	VK
Finanzierungskosten	€ 81,996	€ 404,853	€ 576,766	€ 1,302,722	€ 1,474,635	€ 1,267,981	€ 1,599,838
Ersatzinvestitionen	€ 95,096	342561	€ 557,264	€ 342,561	€ 557,264	€ 557,264	€ 713,631
Restwerte		-€ 175,175	-€ 331,457	-€ 436,136	-€ 592,418	-€ 504,758	-€ 706,237
Instandsetzungskosten	€ 47,157	€ 123,325	€ 257,792	€ 246,026	€ 436,549	€ 407,276	€ 330,202
Betriebsgebundene Zahlungen	€ 23,579	€ 1,441,943	€ 1,594,938	€ 1,564,644	€ 1,624,212	€ 1,594,938	€ 1,648,820
Verbrauchsgebundene Zahlungen	€ 4,134,600	€ 4,456,253	€ 4,553,081	€ 2,773,543	€ 2,748,823	€ 3,103,582	€ 2,722,628
CO <sub>2</sub> -Folgekosten	€ 436,047	€ 677,604	€ 749,647	€ 679,149	€ 705,874	€ 707,608	€ 720,746
<b>Kapitalwert (gesamt)</b>	<b>€ 4,818,474</b>	<b>€ 7,271,364</b>	<b>€ 7,958,030</b>	<b>€ 6,472,510</b>	<b>€ 6,954,938</b>	<b>€ 7,133,889</b>	<b>€ 7,029,627</b>
Differenz zur Referenzvariante		€ 2,452,890	€ 3,139,556	€ 165,036	€ 2,136,464	€ 2,315,415	€ 2,211,153
Differenz zur Referenzvariante		50.9	65.2	34.3	44.3	48.1	45.9

**Abbildung 33 Vergleich Kapitalwert, Finanzierungskosten, betriebs- und verbrauchsgebundene Zahlungen sowie CO<sub>2</sub>-Folgekosten für die Varianten VG, VH, VI, VJ, VJoi, VK und Differenzen zur Referenzvariante VA<sup>58</sup>**

Zusammenfassend können folgende gebäudebezogenen Aussagen zur kühllastreduzierenden Wirkung der untersuchten Maßnahmen getroffen werden: Insbesondere der außeninduzierte Kühlbedarf KB\* in [kWh/m<sup>3</sup>a] bzw. der spezifische Kühlbedarf in KB in [kWh/m<sup>2</sup>a] können zur Beurteilung herangezogen werden. Wird die erforderliche Kälte über die Kühldecke VG eingebracht, so fällt der erforderliche Gesamtstrombedarf mit 49 kWh/m<sup>2</sup>a um etwa 10 kWh/m<sup>2</sup>a deutlich geringer aus, als wenn die Kühlung über die Lüftungsanlage wie in VH eingebracht wird. Der Betrieb der Lüftungsanlage VH, mit

<sup>56</sup> Berechnung mit dem Excel basierendem Programm „econcalc“

<sup>57</sup> Steiner, T. Parameter der Lebenszykluskostenberechnung detailliert in "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 86, Abb. 56 bzw. auszugsweise im Anhang A

<sup>58</sup> Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 86, Abb. 56, Beschreibung der Variantenabkürzungen in Abbildung 30

Wärmerückgewinnung, reduziert den Wärmeenergiebedarf aber auch in der Heizsaison um 10 kWh/m<sup>2</sup>a, was im Vergleich der beiden Systeme zu annähernd gleichen CO<sub>2</sub>-Emissionen führt.

Eine thermische Sanierung VI, VJ und VK führt mit 1,6 kWh/m<sup>3</sup>a und einem spezifischen Kühlbedarf von 32 kWh/m<sup>2</sup>a im Vergleich zum thermisch nicht ertüchtigten Bestand zu einem deutlich höheren Kühlbedarf. Die mit der thermischen Sanierung einhergehende Reduktion des Heizwärmebedarfs auf 50 kWh/m<sup>2</sup>a gegenüber 126 kWh/m<sup>2</sup>a beim Bestand kompensiert die mit der Kühlung zusätzlich erforderlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und das Emissionsniveau des Bestands ohne Kühlung von 13 kg/m<sup>2</sup>a kann somit auch mit Kühlung gehalten werden. Die automatische Steuerung des Sonnenschutzes VO zwischen den Fensterebenen hat einen erheblichen Einfluss auf die Reduktion des Kühlbedarfs. VO führt mit einem KB\* von 0,3 kWh/m<sup>3</sup>a trotz eines hohen Heizwärmebedarfs zu nur geringen Erhöhungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Aufgrund der hohen Grundgebühr für Kälte liegen die energiebezogenen Kosten jedoch trotz geringen Kühlbedarfs mit 33 €/m<sup>2</sup>a allerdings weiterhin nur geringfügig unter dem Niveau der Varianten ohne automatische Steuerung des Sonnenschutzes VG und VH.

Durch die Kombination von thermischer Sanierung und außenliegender Sonnenschutz kann der Kühlbedarf um bis zu 50 % reduziert werden, von 26 kWh/m<sup>2</sup>a auf 13 kWh/m<sup>2</sup>a ohne Innendämmung und auf 7 kWh/m<sup>2</sup>a mit Innendämmung. Ohne Innenliegendem Sonnenschutz beträgt der Kühlbedarf bei einer thermischen Sanierung etwa 10 kWh/m<sup>2</sup>a. Dadurch werden die Energiekosten auf dem Niveau des Bestands ohne Kühlung gehalten und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des in der Studie betrachteten Gebäudes um bis zu 21 Tonnen reduziert.

### 1.5.4 Fazit

Grundsätzlich ist der Bestand ohne thermische Sanierung hinsichtlich KB\*, bzw. dem erforderlichen Kühlbedarf und damit verbundenen Emissionen besser zu beurteilen als thermisch sanierte Gebäude. Dennoch ist thermische Sanierung bzw. thermische Ertüchtigung von Außenbauteilen zielführend, um die mit Heizen verbundenen Emissionen zu reduzieren und den thermischen Komfort im Winter bzw. den Übergangszeiten zu verbessern und das Bauschadensrisiko zu reduzieren. Aktive Kühlmaßnahmen verursachen in etwa so viele Emissionen wie durch thermische Sanierungsmaßnahmen eingespart werden können. Wird ein Gebäude thermisch saniert und mit einer aktiven Kühlung ausgestattet, so führt dies – allerdings bei höherem thermischem Komfort im Sommer - in der Regel trotzdem zu höheren Emissionen als vor der Sanierung, was im Widerspruch zu den Klimazielen steht.

## 1.6 Sicht der Denkmalpflege

Europäische Energieeffizienz- und Klimaschutzziele, die auch den denkmalgeschützten Gebäudesektor betreffen, müssen mit denkmalspezifischen Werten in Einklang gebracht werden. Um dies zu erreichen, bedarf es eines abgestimmten Zusammenspiels beider Schutzziele: Denkmalschutz und Klimaschutz. Moderner Gebäudetechnik, betriebliche und organisatorische Maßnahmen sowie die Einführung erneuerbarer Energieformen in Kombination mit denkmalverträglichen baulichen Ertüchtigungen an der thermischen Gebäudehülle können langfristig zu nachhaltigen Lösungen führen. Dabei ist es wichtig, dass die Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz nicht auf maximale, sondern auf adäquate Effizienzsteigerung ausgerichtet sind.

Das Ziel einer energetischen Optimierung am Baudenkmal kann nur durch ein sorgfältig auf das Objekt abgestimmtes Maßnahmenkonzept erreicht werden. Hierzu werden bestehende Potenziale reaktiviert und in das Konzept eingebunden, um eine nachhaltige und denkmalverträgliche Optimierung zu erzielen. Maßnahmen an der Gebäudehülle und hinsichtlich Gebäudetechnik werden farblich im Ampelsystem skaliert bewertet (Abbildung 34), um die Denkmalverträglichkeit gut erkennbar zu machen. Grün gekennzeichnete Maßnahmen führen zu geringen Eingriffen in die Bausubstanz, gelbe bedingt denkmalverträgliche Maßnahmen bedeuten einen gewissen nachteiligen Eingriff und rot ausgewiesene nicht denkmalverträgliche Maßnahmen ziehen gravierende Veränderungen am Baudenkmal nach sich. Aus den Bewertungen lässt sich eine erste Einschätzung des Denkmalschutzes ableiten. Das Bundesdenkmalamt prüft bei geplanten thermischen Maßnahmen die Denkmaleigenschaften, den materiellen Bestand, die Umfeldbedingungen sowie den Optimierungsbedarf der Nutzung.

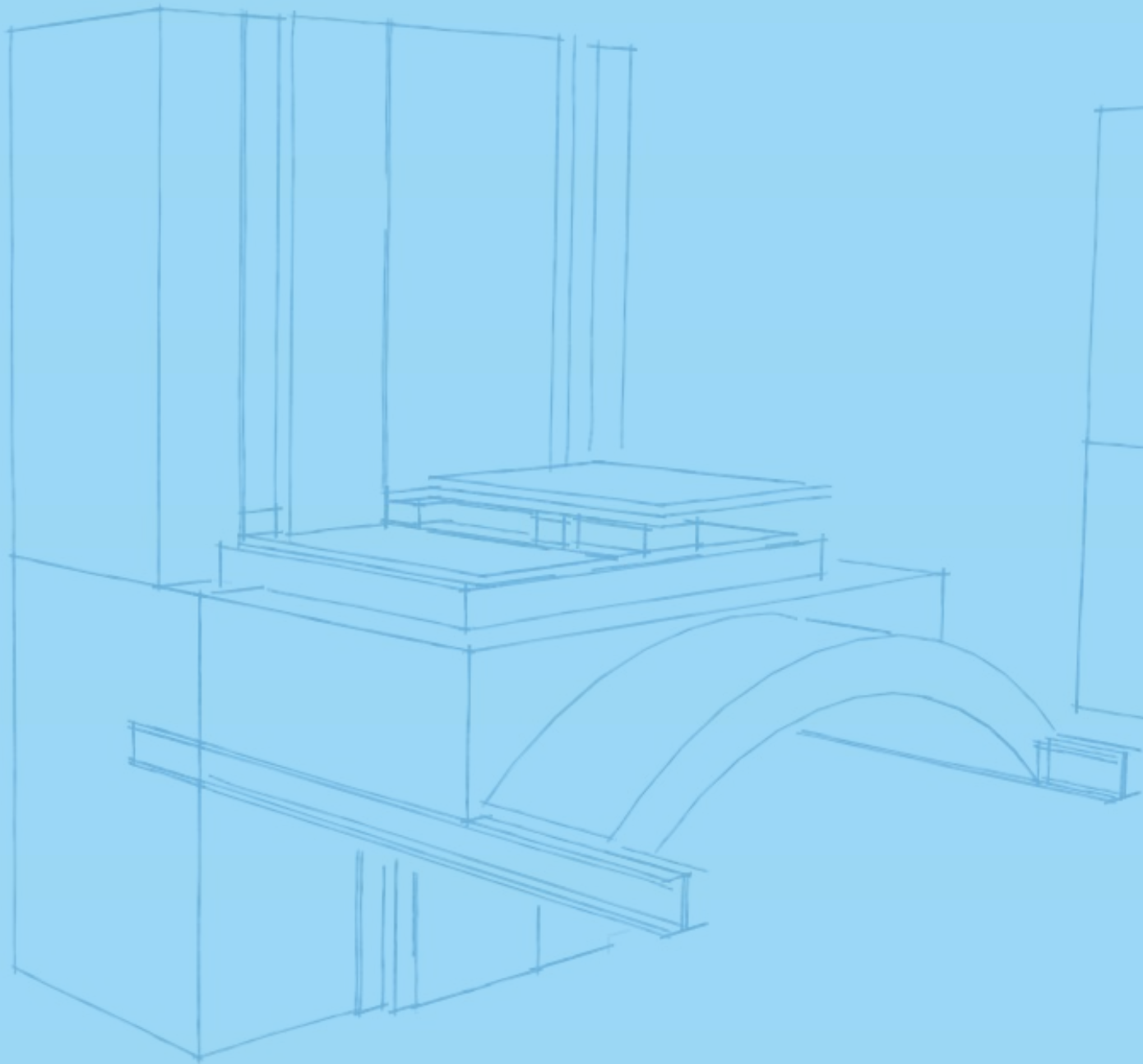
Wie Abbildung 34 im Ampelsystem zeigt, werden hinsichtlich der Vermeidung sommerlicher Überwärmung aus Sicht der Denkmalpflege die Reaktivierung des ursprünglich überlieferten Sonnenschutzes positiv bewertet.

## Hitzetaugliche Wohngebäude

Maßnahmen		Bewertung				
Außenwände	Innendämmung			Yellow		
	Außendämmung hinter Fassadenverkleidungen			Yellow		
	Außendämmung an Außenflächen, die in Substanz bzw. Erscheinungsbild nicht zur Denkmalbedeutung Außendämmung an Gebäuden mit spezifischen, den Denkmalcharakter bestimmenden Fassaden				Orange	Red
Unterste Geschoßdecke	Dämmung des unterkellerten Fußbodens	Green				
	Dämmung des erdberührten Fußbodens			Yellow		
Oberste Geschoßdecke	Dämmung der obersten Geschoßdecke	Green				
Dachkonstruktion	Dämmung des Flachdaches		Light Green			
	Dämmung des Steildaches			Yellow		
Fenster	Optimierung der Fensterkonstruktion (z.B. Reparieren, Einsetzen von Dichtungen)	Green				
	Optimierung der Einfachverglasung		Light Green			
	Erweiterung um eine zusätzlichen Fensterebene			Yellow		
	Wechsel zu Isolierglas				Orange	
	Erneuerung der Fensterkonstruktion				Orange	
Verschattung	Reaktivierung des überlieferten Verschattungssystems	Green				
	Optimierung der Belichtungsflächen			Yellow		
	Erneuerung des überlieferten Verschattungssystems			Yellow		
	Anbringen eines neuen Verschattungssystems (z.B. Fensterladen, Jalousie)				Orange	
	Anbringen einer neuen Verschattungskonstruktion (z.B. Sonnensegel, Vordach, Loggia)				Orange	
Wärme-, bzw. Kälteerzeugung	Optimierung der Gebäudetechnik (z.B. Anpassen der Steuerung bzw. Regelung, Dämmen der)	Green				
	Erneuerung der Gebäudetechnik		Light Green			
Wärme- und Kälteabgabe	Optimierung des Abgabesystems (z.B. Erneuern von Ventilen, Umrüsten von historischen Einzelöfen)	Green				
	Erneuerung des Abgabesystems		Light Green			
Lüftung, natürliche Lüftung und Klimatisierung	Optimierung technischer Anlagen (z.B. Reinigen von Luftleitungen, Einbau effizienter Anlagenteile)	Green				
	Einbau von Lüftungs- oder Klimaanlage			Yellow		
	Anbringung von Begrünung an Außenflächen, die in Substanz bzw. Erscheinungsbild nicht zur Denkm				Orange	

Abbildung 34 Vgl. Standards Energieeffizienz am Baudenkmal, Bewertung von Maßnahmen<sup>59</sup>

<sup>59</sup> Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung" (2021), S. 141, Abb. 125



## 2 Fragestellung

Im Rahmen dieser Studie wird der Frage nachgegangen wie insbesondere konstruktive Maßnahmen, Materialwahl, Fenstergröße, wie auch Verschattungs- und Lüftungsmaßnahmen zur Hitzetauglichkeit im städtischen Bereich in Wien beitragen können. Es werden dabei verschiedene Parameter analysiert und anhand von Szenarien bauteil-, raum- und gebäudebezogenen Berechnungen und Simulationen durchgeführt und damit die Hauptforschungsfragen beantwortet:

- Lassen sich für den Standort Wien optimale konstruktive gebäudebezogene bautechnische Maßnahmen für Hitzetaugliche Wohngebäude identifizieren, mit denen der Komfort maximiert werden kann?
- Welche gebäudebezogenen bautechnischen Maßnahmen sind auch für künftige Klimaszenarien geeignet?

Aus dieser Hauptfragestellung ergeben sich folgende Teilfragestellungen:

- Welche Komfort-Parameter und Beurteilungsgrößen sind zur Beantwortung der Fragestellung geeignet?
- Welche Lüftungs- und Verschattungsstrategien kommen in der Praxis zur Anwendung?
- Welche Komfortbedingungen stellen sich im realen Leben im Sommer ein?
- Welche Empfehlungen zu Lüftung- und Verschattungsstrategien zur Optimierung des Komforts im Sommer können formuliert werden?

Vor dem Hintergrund der aktuellen Klimasituation und der künftig zu erwartenden Klimaentwicklungen werden im Rahmen der Studie die Eigenschaften von möglichst hitzetauglichen Wiener Wohngebäuden identifiziert. Aufbauend auf Strategiepapieren und Leitlinien der Stadt Wien, sowie weiterer relevanter vorliegender Fachliteratur werden unter Bedachtnahme auf baurechtliche Vorgaben und Anforderungen im Rahmen der Studie folgende Untersuchungen durchgeführt bzw. folgende Themenpunkte bearbeitet.

**Literaturstudie, Zusammenstellung wesentlicher Ergebnisse und Erkenntnisse relevanter Richtlinien, Normen, Studien, Strategiepapieren und Leitfäden.**  
(→ Kapitel 5)

**Analyse ausgewählter Beispiele zu den jeweiligen Themenschwerpunkten (z.B. Bauwerksbegrünung, Passive Kühlung, Beschattung und Kühlung).**  
(→ Kapitel 8, 9)

**Einfluss von Materialien auf das thermische Bauteil-, bzw. Raum und Gebäudeverhalten im Sommer. Empfehlungen zur Materialwahl hinsichtlich relevanter Umweltindikatoren.**  
(→ Kapitel 9)

**Einfluss der Gebäudespeichermasse anhand vorherrschender Klimabedingungen bzw. in Hinblick auf zu erwartende Klimaentwicklungen und möglicher Lüftungs- und Verschattungsstrategien.**  
(→ Kapitel 9, 10, 11)

**Einfluss von Wärmedämmung auf die Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Untersuchungen zur Lage der Wärmedämmung (innen/außen) sowie zum Einfluss der Dämmdicke auf die Hitzetauglichkeit.**  
(→ Kapitel 9)

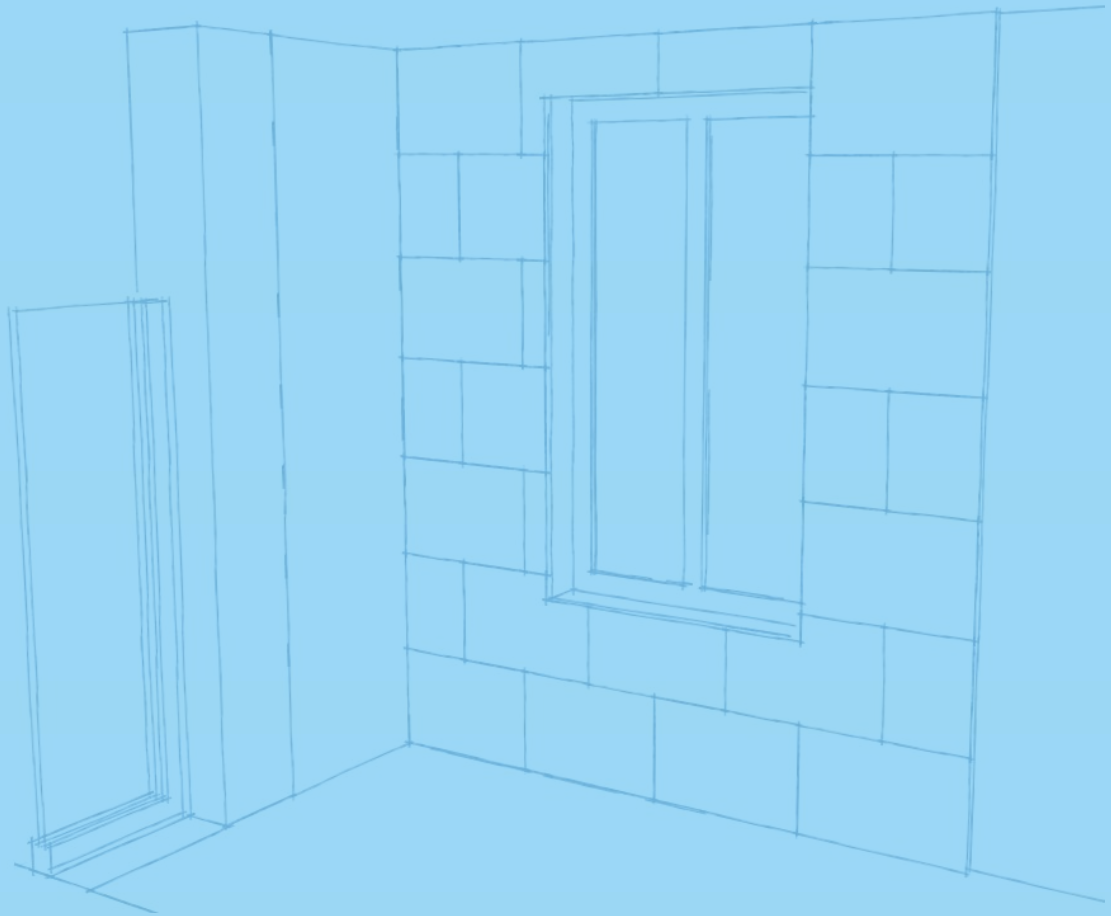
**Hitzetauglichkeit verschiedener Fassadensysteme  
Aufbau, Farbe und Materialität.**  
(→ Kapitel 8, 9)

**Einfluss planerischer Aspekte wie z. B. Bauweise, Beschattung, Glasflächenanteil, Wohnungsgröße, Fassaden- und Dachbegrünung auf Raumlufttemperatur und den thermischen Komfort, wobei in der Betrachtung bewusst auf aktive Kühlung verzichtet wird.  
(→ Kapitel 7, 8, 9, 10)**

**Untersuchung zum Einfluss des Glasflächenanteils und der thermischen Qualität transparenter Bauteile (Fenster) auf den sommerlichen Wärmeschutz im Kontext der Energieeffizienz im gesamten Jahresverlauf.  
(→ Kapitel 9)**

**Abschätzung von Energieverbrauch und klimaschädlichen Emissionen bei Energieversorgungs- und Kühlsystemen im Kontext eines nachhaltigen Hitzeschutzes  
(→ Kapitel 9)**

**Wesentliche Aspekte die für Bewohner\*innen/Nutzer\*innen relevant sind und zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung beitragen können und Hinweise zur Handhabung für Verschattung, Lüftung, Ventilatoren oder den Einsatz aktiver Kühlsysteme. (→ Kapitel 7, 11)**



### 3 Methode

Aufbauend auf einer Literaturrecherche werden für einzelne Bauepochen typische Konstruktionen und Bauweisen zusammengestellt.

Es werden Szenarien für die thermischen Bauteil- und Raumsimulationen hergeleitet und instationäre Simulationen mit dem Programmpaket IDA ICE 6.1 durchgeführt. Das Programm verwendet das Zeitschrittverfahren.

Für die definierten Räume wird der thermische Komfort ermittelt. Um künftige Klimaentwicklung zu berücksichtigen, werden die Simulationsreihen auch für Klimaszenarien 2050, 2100 bzw. +1,5 °C und +3,0 °C durchgeführt.

Es wird eine zusammenfassende Bewertung durchgeführt und der Einfluss einzelner Parameter (Material, Farbe, Fenstergröße, Dämmung) zur Optimierung des thermischen Komforts im Sommer identifiziert.

Erwartete Ergebnisse: Durch die Analyse wird der Einfluss hitzetauglichkeitsrelevanter Parameter dargestellt und kann als wertvolle Entscheidungsgrundlage herangezogen werden. Dabei soll auf aktive Kühlung aufgrund des damit einhergehenden Energieverbrauchs und der wiederum damit verbundenen Emissionen soweit möglich verzichtet werden. Unter Bedachtnahme auf die in der Studie aufgezeigten Parameter kann der thermische Komfort erhöht werden. Die Studie zeigt Auswirkungen einzelner gebäudebezogener Maßnahmen auf den thermischen Komfort im Sommer und erlaubt damit die Planung, Sanierung und Nutzung hitzetauglicher Wohngebäude in Wien.

### 3.1 Werkzeuge

Der Einfluss von Material und anderen Parametern auf das thermische Bauteilverhalten ausgewählter Fassadenkonstruktionen wird mit dem Programmpaket Delphin untersucht. Es wird der Einfluss des Außenklimas auf die Konstruktion untersucht, wobei das Aufheizverhalten und das Abkühlverhalten der Konstruktion, bzw. die Wechselwirkung mit der Atmosphäre bzw. dem Außenraum betrachtet werden.

Weiter werden Untersuchungen mit dem Softwarepaket IDA ICE durchgeführt, um den Einfluss auf das Innenraumklima zu analysieren. Hierzu werden typische Modellräume, bzw. Modellwohnungen betrachtet, sowie verschiedene Szenarien untersucht die das reale Nutzer\*innen-Verhalten, insbesondere in Hinblick auf die Möglichkeiten der Fensterlüftung abbilden sollen.

Gebäudebezogene Auswirkungen wie Kühlbedarf in der Kühlperiode und Energiekennzahlen werden mittels Archi-Physik und Energieausweis analysiert, dabei orientieren sich die untersuchten Parameter an jenen der instationären Gebäudesimulation, wobei allerdings Normnutzungsprofile und Normklimadatensätze der Berechnung hinterlegt sind.

Die Analyse ausgewählter realisierter Beispiele erfolgt anhand von Thermografie-Aufnahmen von Fassaden an heißen Sommertagen.

### 3.2 Varianten und Parameter

#### 3.2.1 Delphin

Es wird der Einfluss folgender Parameter auf das thermische Bauteilverhalten ausgewählter Fassadenkonstruktionen mit dem Programmpaket Delphin untersucht.

<p><b>Bauweise</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Holzständerbauweise</b></li> <li>• <b>Holzständerbauweise (hinterlüftet)</b></li> <li>• <b>Mauerwerk ungedämmt</b></li> <li>• <b>Mauerwerk außen gedämmt</b></li> <li>• <b>Mauerwerk außen gedämmt (hinterlüftet)</b></li> <li>• <b>Mauerwerk innen gedämmt</b></li> <li>• <b>STB ungedämmt</b></li> <li>• <b>STB gedämmt</b></li> <li>• <b>STB gedämmt (hinterlüftet)</b></li> </ul>
------------------------	---

<b>Dämmstoffe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holzfaser</li> <li>• Stroh</li> <li>• EPS</li> <li>• Mineralschaumdämmplatte</li> <li>• Mineralwolle</li> </ul>
<b>Dämmstandard</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hygienischer Mindestwärmeschutz</li> <li>• OIB-Richtlinie – bauteilbezogene Mindestanforderungen 8cm</li> <li>• Niedrigstenergiegebäude – typische Kennwerte 16cm</li> </ul>
<b>Orientierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 Grad (Norden)</li> <li>• 90 Grad (Osten)</li> <li>• 180 Grad (Süden)</li> <li>• 270 Grad (Westen)</li> </ul>
<b>Direkte kurzwellige Solarstrahlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja</li> <li>• Nein (Verschattet)</li> </ul>
<b>Absorptionskoeffizient für kurzwellige Strahlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heller Farbanstrich 0,4</li> <li>• Gedeckte Farben 0,6</li> <li>• Klinker – Mauerwerk 0,8</li> <li>• Hellfarbenedes sichtbares Mauerwerk 0,4</li> <li>• Dach – Dachschindeln 0,6</li> <li>• Dach – dunkle Oberfläche 0,8</li> <li>• Dach – blankes Metall 0,2</li> <li>• Dach – Bitumen 0,6</li> </ul>
<b>Langwelliger Emissionsgrad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,9 die meisten Oberflächen</li> <li>• 0,94 Bauplatte</li> <li>• 0,93 roter Mauerziegel</li> <li>• 0,88 Lack, weiß</li> <li>• 0,95 Lack, mattschwarz</li> <li>• 0,11 Aluminium, poliert</li> <li>• 0,8 Aluminium, oxidiert</li> <li>• 0,04 Kupfer, poliert</li> <li>• 0,74 Kupfer, stark oxidiert</li> <li>• 0,78 Stahlblech, dicke raue Oxidschicht</li> <li>• 0,27 Stahlblech, verzinkt</li> </ul>

<p><b>Außenklima</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wien Hohe Warte A1B 2020 (Jahresmitteltemperatur 11,05 °C)</li> <li>• Wien Hohe Warte A1B 2050 (Jahresmitteltemperatur 12,20 °C)</li> <li>• Wien Hohe Warte A1B 2100 (Jahresmitteltemperatur 13,53 °C)</li> <li>• Wien Hohe Warte RCP45 2050 (Jahresmitteltemperatur 13,14 °C)</li> <li>• Wien Hohe Warte RCP85 2050 (Jahresmitteltemperatur 13,99 °C)</li> <li>• Wien Hohe Warte 2007 (Jahresmitteltemperatur 11,78 °C)</li> </ul>
<p><b>Innenraumklima</b></p>	<p>EN 15026 adaptives Innenraumklima I</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obere Temperatur 32 °C</li> <li>• Untere Temperatur 26 °C</li> </ul>
	<p>EN 15026 adaptives Innenraumklima II</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Obere Temperatur 28 °C</li> <li>• Untere Temperatur 22 °C</li> </ul>

Es werden folgende Szenarien untersucht

- das Aufheizverhalten in einer heißen Sommerwoche
- das Abkühlverhalten nach einer heißen Sommerwoche
- ein heißer Sommertag am Ende einer Hitzeperiode

Es wird der Einfluss des Außenklimas auf die Konstruktion untersucht.

Es wird das Aufheizverhalten und das Abkühlverhalten der Konstruktion, bzw. die Wechselwirkung mit der Atmosphäre bzw. dem Außenraum untersucht.

Die Untersuchungen erfolgen mit dem State of the Art Softwarepaket Delphin.

### 3.2.2 IDA ICE

Weiter werden Untersuchungen mit dem Softwarepaket IDA ICE durchgeführt, um den Einfluss auf das Innenraumklima zu analysieren. Hierzu werden typische Modellräume, bzw. Modellwohnungen betrachtet, sowie verschiedene Szenarien untersucht die das reale Nutzer\*innen-Verhalten, insbesondere in Hinblick auf die Möglichkeiten der Fensterlüftung abbilden sollen.

<b>Verschattung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Außen</b></li> <li>• <b>Zwischen</b></li> <li>• <b>innen</b></li> </ul>
<b>Fensterlüftung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gar nicht</li> <li>• Gering</li> <li>• Mittel</li> <li>• Hoch</li> <li>• Dauerlüftung</li> </ul>
<b>Innere Lasten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Belegung</li> <li>• Mittlere Belegung</li> <li>• Starke Belegung</li> </ul>
<b>Raumgröße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• klein</li> <li>• mittel</li> <li>• groß</li> </ul>
<b>Wohnungsgröße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• winzig</li> <li>• klein</li> <li>• mittel</li> <li>• groß</li> </ul>
<b>Fenstergröße</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• minimal</li> <li>• mittel</li> <li>• hoch</li> </ul>

Es werden hier insbesondere Aussagen zu den sich einstellenden Raumtemperaturen, bzw. Komfortbedingungen getroffen.

- Raumtemperatur
- Thermischer Komfort
- Tageslicht
- Raumakustik
- Raumluftqualität

Aber auch ein theoretischer Kühlbedarf wird analysiert.

### 3.2.3 Archiphysik

Darüber hinaus wird mittels Archiphysik und Energieausweis der Kühlbedarf in der Kühlperiode analysiert, dabei orientieren sich die untersuchten Parameter an jenen der instationären Gebäudesimulation, wobei allerdings Normnutzungsprofile und Normklimadatenätze der Berechnung hinterlegt sind.

<p><b>Verschiedene Kühlsysteme bzw. Kühlstrategien</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nachtlüftung</b></li> <li>• <b>Flächenkühlung</b></li> <li>• <b>Bauteilaktivierung</b></li> <li>• <b>Konvektion</b></li> <li>• <b>Heizkörper</b></li> <li>• <b>Wärmepumpe</b></li> <li>• <b>Kompressionskältemaschine</b></li> </ul>
<p><b>Dachnutzung</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine</li> <li>• Terrasse</li> <li>• Begrünung</li> <li>• Photovoltaik</li> <li>• Solarthermie</li> </ul>

### 3.3 Methode

Zur Beantwortung der Fragestellungen werden auf Grund des komplexen Zusammenspiels der Einflussgrößen und deren Wirkung auf die Ergebnisgrößen verschiedene Werkzeuge und Methoden (Energieausweisberechnung, Thermische Simulation) angewendet sowie verschiedene räumliche und zeitliche Betrachtungsebenen für die Beurteilung (gebäudebezogen - Jahresbilanz, raumbezogen – stündlich, monats- und Jahresbilanz) gewählt.

Es werden gebäudebezogen unter Zuhilfenahme des Programmpakets Archiphysik 21 für ausgewählte Maßnahmen(-Kombinationen) mit dem Monatsbilanzverfahren gebäudebezogene Energiekennzahlen ermittelt. Diese Analyse wird über die Verwendung standortbezogener durchschnittlicher langjähriger Klimadaten berechnet, wobei als Berechnungsmethoden vor dem Hintergrund der OIB Richtlinie 6:2019 für Bauteile die ÖNorm B 8110-6:2019, für Fenster die EN ISO 10077-1:2018, für die Heiztechnik die ÖNorm H 5056:1:2019, für die Raumluftechnik die ÖNorm H 5057-1:2019, für die Kühltechnik: ÖNorm H 5058-1:2019 und für die Beleuchtung die ÖNorm H 5059-1:2019 angewendet werden. Die Verschattung wird detailliert nach ÖNorm B 8110-6:2019 berechnet. Damit werden insgesamt 50 Energieausweise berechnet und als Beurteilungsgrundlage herangezogen.

Raumbezogen werden für ein Zimmer mit 1 Bewohner\*in Modellraum M1 und ein Zimmer mit 3 Bewohner\*innen Modellraum 2 anhand von instationären Simulationsberechnungen unter Zuhilfenahme des Programmpakets Therakles raumbezogene Energie- und Komfortkennzahlen auf Stundenbasis ermittelt. Zur Beurteilung werden insbesondere die Maximale operative Temperatur [°C], die operative Temperatur und Komfortklasseneinteilung während der Nutzung nach EN 15251 und der Prozentueller Anteil außerhalb Kategorie I [%], Kategorie II [%] und Kategorie III [%], die Übertemperaturstunden (über 26°C) [h], die stundenbasierten Wärmeströme [W/m<sup>2</sup>] sowie die Monats- und Jahresenergiebilanz in [kWh/m<sup>2</sup>] herangezogen. Alle betrachteten Varianten werden für mit Außenklima Wien ‚2007‘ (AK000) berechnet, das entspricht dem gleitenden Mittelwert der letzten 15 Jahre für Klimaindizes Hitzetage, Sommertage, Hitzewellentage). Darüber hinaus werden alle Varianten mit Klimaszenario +1,5 °C (AK015) und +3,0 °C (AK030) berechnet. Es werden damit für insgesamt 697 Varianten thermische instationäre Simulationen durchgeführt und als Beurteilungsgrundlage herangezogen.

Es wird für das Objekt für die untersuchten und aktiv gekühlten Varianten jeweils eine Kühllastberechnung nach ÖNorm H 5058 [1] durchgeführt und in Abhängig von den kühllastsenkenden Maßnahmen die erforderliche Kälteleistung der Kältemaschine berechnet. Es werden insgesamt 18 Bemessungen durchgeführt.

Es werden eine Bewertung der der objektbezogenen Systemeignung von verschiedenen Lüftungs-Anlagen/Konzepte sowie unterschiedlichen Möglichkeiten der Flächenkühlung durchgeführt. Es werden insbesondere Nur-Luft-Anlagen sowie Luft-Wasser-Anlagen betrachtet, wobei deren Vor- und Nachteile herausgestrichen werden und deren grundsätzliche objektbezogene Eignung beurteilt wird.

Es werden für die gebäudebezogene Berechnung mittels Energieausweis folgende „passive“ Varianten untersucht (Teil A):

<b>VA Bestand inkl. Sonnenschutz zwischen, händisch</b>
<b>VB Energieeffiziente Beleuchtung</b>
<b>VC Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke</b>
<b>VD Thermische Sanierung d. Fenster</b>
<b>VDog Thermische Sanierung d. Fenster + Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke</b>
<b>VE Thermische Sanierung d. Innendämmung</b>
<b>VF Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung</b>
<b>VA2 Bestand + Sonnenschutz zwischen, automatisch</b>
<b>VA3 Bestand + Sonnenschutz außen, automatisch</b>

Die in dieser Tabelle dargestellten Varianten-Kürzel werden in der Gegenüberstellung auf S. 37 und S. 40 verwendet.

Unter **Sonnenschutz** wird eine Einrichtung am Fenster verstanden mit dem Zweck einer gezielten Reduktion der solaren Energieeinträge. Ein Sonnenschutz kann fix oder steuerbar sein. Ein Nachbargebäude oder eine Horizontüberhöhung reduziert ebenfalls die solaren Einträge und wird hier als **Verschattung** bezeichnet.

Hinsichtlich Regelung/Steuerung/Automatisierung einer Sonnenschutz-einrichtung unterscheidet die Norm wie folgt. Laut DIN 4108-6 wird in „konstant“, geregelt (Zeitplan) und Intensitätsgeregelt unterschieden. Laut ÖNorm 8110-3 wird folgende Unterscheidung getroffen:

**automatische Steuerung ( $a_{m,s,c} = 0,8$ ) Strahlung oder Lichtstärke oder Zeit oder kombiniert, mit beschränktem manuellen Nutzereingriff sowie allfälligen Wettereinflüssen wie Windböen**

**vorsorgliche manuelle Bedienung ( $a_{m,s,c} = 0,5$ ) wenn sichergestellt ist, dass auch außerhalb der Anwesenheit von Personen der Sonnenschutz aktiv ist (z.B. präventive Aktivierung am Vortag**

**manuelle Bedienung ( $a_{m,s,c} = 0,25$ ) wenn der Sonnenschutz erst bei thermischen Diskomfort aktiviert wird**

**keine Sonnenschutzeinrichtung ( $a_{m,s,c} = 0$ )**

Es werden für die gebäudebezogene Berechnung mittels Energieausweis folgende „aktive“ Varianten untersucht (Teil B):

<b>VG Bestand, Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VH Bestand, Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VI Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Kältemaschine Kompression</b>
<b>Vloi Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster, Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VJ Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen +Kühlen über Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VJoi Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen +Kühlen über Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VK Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen +Kühldecke + Lüftungsanlage - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VL Bestand, Sonnenschutz zwischen – Kombiniertes Heiz- und Kühlsystem - Kältemaschine Kompression</b>
<b>VM Thermische Sanierung d. obersten Geschoßdecke + Fenster + Innendämmung, Sonnenschutz zwischen – Kombiniertes Heiz- und Kühlsystem, Kältemaschine Kompression</b>
<b>VN Thermische Sanierung d. Fenster, Sonnenschutz zwischen - Kühldecke, Kältemaschine Kompression</b>
<b>VO Bestand + Sonnenschutz zwischen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression</b>
<b>VP Thermische Sanierung d. Fenster, Sonnenschutz zwischen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression</b>
<b>VQ Bestand, Sonnenschutz außen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression</b>
<b>VR Thermische Sanierung d. Fenster, Sonnenschutz außen, automatisch + Kühldecke, Kältemaschine Kompression</b>

<b>VS Sonnenschutz außen, automatische Steuerung, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Kühldecke, Kältemaschine – Kompression</b>
<b>VT Sonnenschutz außen, automatische Steuerung, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Innendämmung, Kühldecke, Kältemaschine - Kompression</b>
<b>VU Sonnenschutz außen, automatische Steuerung, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Innendämmung, Energieeffiziente Beleuchtung, Kühldecke, Kältemaschine – Kompression</b>
<b>VUoi (=VU ohne Innendämmung) Sonnenschutz außen, automatische Steuerung, thermische Sanierung oberste Geschoßdecke, Fenster, Energieeffiziente Beleuchtung, Kühldecke, Kältemaschine – Kompression</b>
<b>VW = VU mit Nutzungsprofil Absenkung auf Solltemperatur von 21 °C statt 22 °C im Winter bei Zieltemperatur 26 °C im Sommer.</b>
<b>VWoi = VUoi mit Nutzungsprofil Absenkung auf Solltemperatur von 21 °C statt 22 °C im Winter bei Zieltemperatur 26 °C im Sommer.</b>
<b>VX = VU mit Nutzungsprofil Solltemperatur 22 °C im Winter und Anhebung der Zieltemperatur im Sommer von 26 °C auf 27 °C.</b>
<b>VXoi = VUoi mit Nutzungsprofil Solltemperatur 22 °C im Winter und Anhebung der Zieltemperatur im Sommer von 26 °C auf 27 °C.</b>

Die in dieser Tabelle dargestellten Varianten-Kürzel werden in der Gegenüberstellung auf S. 36, 40 und 42 verwendet (Bezug zu Abbildungen 30, 31 und 32)

Für die Varianten VG bis VU wurde jeweils auch eine Variante mit dem Index a (z.B. VGa, VHa,...) also 16 Varianten mit Absorptionskältemaschine berechnet. Zusätzlich zu den in Teil A betrachteten Energiekennzahlen wird der Kühlenergiebedarf gesamt in [kWh/a] und spezifisch in [kWh/m<sup>2</sup>a] ermittelt.

Es werden für die raumbezogene Berechnung der Energie- und Komfortkennzahlen nach süd-west orientierten Modellräume M1 mit 1 Bewohner\*in und M2 mit 3 Bewohner\*innen Varianten ohne raumluftechnische Anlage und ohne aktive Kühldecke untersucht werden. Es werden Varianten mit zwischen oder außen liegendem Sonnenschutz und verschiedenen baulichen Maßnahmen zur thermischen Ertüchtigung der Außenbauteile untersucht. Es werden folgende „passive“ Varianten untersucht:

<b>V1 Bestand</b>
<b>V2 Bestand + Sonnenschutz innen</b>
<b>V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen</b>
<b>V4 Bestand + Sonnenschutz außen</b>
<b>V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung</b>
<b>V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung</b>
<b>V7 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen, ohne Nachtlüftung</b>
<b>V8 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen, ohne Nachtlüftung</b>
<b>V9 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen</b>
<b>V10 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen</b>
<b>V11 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung</b>
<b>V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung</b>
<b>V13 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung</b>
<b>V14 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung</b>

Zusätzlich wurden in einem zweiten Durchgang noch folgende Varianten mit Dämmung der obersten Geschoßdecke für den Modellraum M1 untersucht: V1og, V2og, V3og, V4og, V5og, V6og, V7og, V8og, V11og und V12og.

Es werden **folgende „aktive“ Varianten** untersucht, wobei insbesondere auch die Kombination mit „passiven“ Varianten berücksichtigt wird. Da für die Beurteilung nicht nur die Maßnahme selbst, sondern auch die Art und Weise deren Betriebs ausschlaggebend ist werden auch unterschiedliche Betriebsstrategien untersucht.

<b>V15A Bestand + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V15B Bestand + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V16A Bestand + Sonnenschutz außen + Kühldecke - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V16B Bestand + Sonnenschutz außen + Kühldecke - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V17A Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V17B Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V18A Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühldecke - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V18B Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühldecke - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V19A Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V19B Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V20A Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühldecke - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V20B Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühldecke - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V21C Bestand + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V21D Bestand + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>

<b>V21E Bestand + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel inkl. Taglüftung am Wochenende</b>
<b>V21F Bestand + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie F - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V22C Bestand + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V22D Bestand + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V22E Bestand + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V23C Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V23D Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V23E Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V24C thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V24D thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V24E thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V25C Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V25D Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V25E Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V26C thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V26D thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>

<b>V26E thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V27C Bestand + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V27D Bestand + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V27G Bestand + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie G - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V27H Bestand + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie H - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V28C Bestand + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V28D Bestand + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V28G Bestand + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie G - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V28H Bestand + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie H</b>
<b>V29C Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V29D Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V29G Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie G - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V29H Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie H - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V30C Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>

<b>V30D Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V30G Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie G - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V30H Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie H - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V31C Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V31D Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V31G Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie G - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V31H Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie H - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V32C Thermische Sanierung Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie C - Lüften bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V32D Thermische Sanierung Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V32G Thermische Sanierung Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie G - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V32H Thermische Sanierung Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühlung über Lüftungsanlage - Strategie H - erhöhter Luftwechsel und damit erhöhte Kühlleistung auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V33A Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz zwischen - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>

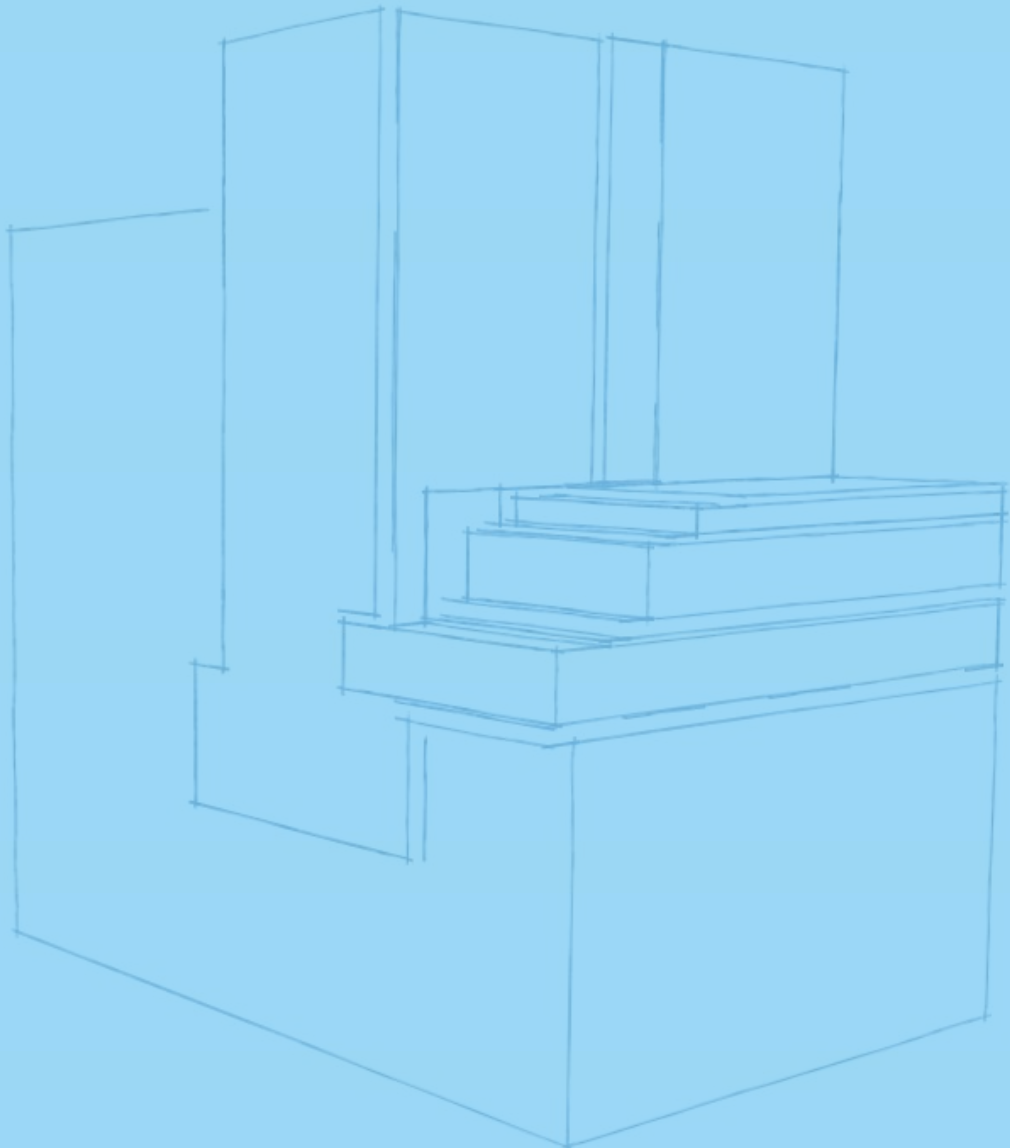
<b>V33B Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz zwischen - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V33D Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz zwischen - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V33E Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz zwischen - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V34A Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz außen - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V34B Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz außen - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V34D Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz außen - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V34E Bestand + Kühldecke + Lüftungsanlage + Sonnenschutz außen - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V35A Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V35B Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V35D Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V35E Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V36A Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V36B Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V36D Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V36E Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V37A Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>

<b>V37B Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V37D Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V37E Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>
<b>V38A Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie A - Kühlen bei anwesender Nutzer*in</b>
<b>V38B Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie B - Kühlen auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V38D Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie D - Lüften auch außerhalb der Nutzungszeiten</b>
<b>V38E Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Kühldecke + Lüftungsanlage - Strategie E - erhöhter Nachtluftwechsel</b>

Zusätzlich wurden in einem zweiten Durchgang noch folgende Varianten mit Dämmung der obersten Geschoßdecke für dem Modellraum M1 untersucht: V17Aog, V17Bog, V18Aog, V18Bog, V23Cog, V23Dog, V23Eog, V24Cog, V24Dog, V24Eog, V29Cog, V29Dog, V30Cog, V30Dog, V30Gog, V30Hog, V35Aog, V35Bog, V35Dog, V35Eog, V36Aog, V36Bog, V36Dog und V36Eog. Alle betrachteten Varianten werden für mit Außenklima Wien ‚2007‘ (AK000) berechnet, das entspricht dem gleitenden Mittelwert der letzten 15 Jahre für Klimaindizes Hitzetage, Sommertage, Hitzewellentage). Darüber hinaus werden alle Varianten mit Klimaszenario +1,5 °C (AK015) und +3,0 °C (AK030) berechnet.

## **Ergebnisse**

Die Ergebnisse bilden eine fundierte Grundlage bzw. Orientierung für die Bevölkerung, Bauträger\*innen, Planer\*innen und Bauherr\*innen. Der Fokus liegt auf dem Standort Wien, bzw. dem Wiener Gebäudebestand, dessen Sanierung und ggf. maßvollen Verdichtung bzw. erforderlichen Neubau. Die Studie ist damit besonders relevant für die Wiener Stadtentwicklung.



## 4 Berechnungssoftware

### 4.1 Programmpakets Therakles

Es wird unter Zuhilfenahme des Programmpakets Therakles das hygrothermische Raumverhalten ausgewählter Modellräume im Jahresverlauf ermittelt und u.a. der thermische Komfort bestimmt. Diese Analyse wird über die Verwendung standortbezogener durchschnittlicher langjähriger Klimadaten hinaus auch für künftige Klimaszenarien berechnet.

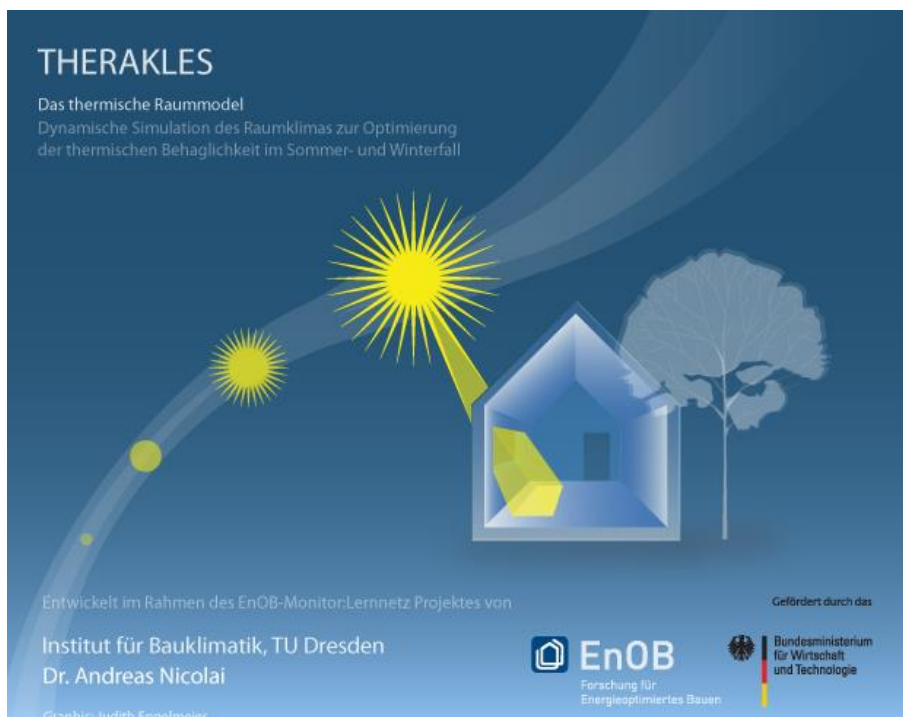


Abbildung 35 Programmpaket Therakles

### 4.2 Programmpaket IDA ICE

Die raumklimatischen Untersuchungen werden mit Hilfe des dynamischen Gebäude-Simulationspakets IDA ICE (Version 4.8) durchgeführt. Temperaturen und Feuchtigkeitszustände der Räume bzw. Raumgruppen werden in Abhängigkeit von

- Klima (Außentemperatur, direkte und diffuse Einstrahlung auf alle Gebäudeaußenteile, relative Feuchte, Wind),
- Nutzereinflüssen (Lüftung, Fensteröffnen, Sonnenschutzbedienung, innere Lasten durch Personen, Beleuchtung und Geräte)

- Qualität der Gebäudeteile (Speicherfähigkeit und Leitfähigkeit der Wärme und Feuchte, solare Transmission bei transparenten Bauteilen) berechnet<sup>60</sup>.

Die Ergebnisse werden in Stunden-Mittelwerten dargestellt und entsprechend der im Programm implementierten Komfortbewertung entsprechend einer Klassifizierung entsprechend EN ISO 7730<sup>61</sup> und EN ISO 15251<sup>62</sup> bzw. deren Nachfolgenorm, der ÖNorm EN 16798-1<sup>63</sup> klassifiziert.

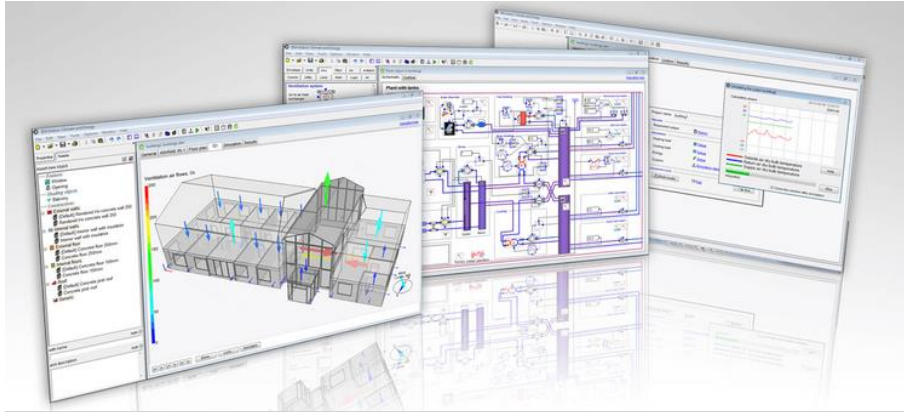


Abbildung 36 Programmpaket IDA ICE (Quelle: <https://equa.se/de/ida-ice>)

### 4.3 Programmpaket Delphin

Durch die in den Simulationsberechnungen berücksichtigten Feuchte- und Wärmetransportprozesse können quantitative Aussagen zum hygrisch-thermischen Verhalten von Bauteilen unter definierten Klimabedingungen getroffen werden. Die Berechnungen werden mit dem Programmpaket DELPHIN 6.1 durchgeführt. Das DELPHIN-Programm verwendet das Modell des gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Lufttransports in kapillarporösen Baustoffen, was bedeutet, dass sich der Wärme- und Feuchtetransport durch die Konstruktion sowie die Feuchtespeicherung in der Konstruktion durch die Lösung von Bilanzgleichungen numerisch analysieren lassen.

Der Berechnung werden Klimabedingungen in detaillierter Form zu Grunde gelegt, d.h. die Klimakomponenten Temperatur, relative Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung und Niederschlag, Windrichtung und Windgeschwindigkeit kommen als Jahresverläufe auf Stundenbasis zur Anwendung.

<sup>60</sup> Vgl. *IDSolutions - Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung im mehrgeschoßigen Gebäudebestand auf Ebene der Nutzungseinheit*, Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (Wien, 2016), S. 55 f.

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/publikationen/schriftenreihe-2016-24-idsolutions.php>.

<sup>61</sup> ÖNorm EN ISO 7730:2006

<sup>62</sup> DIN EN 15251:2012

<sup>63</sup> ÖNorm EN 16798-1:2019

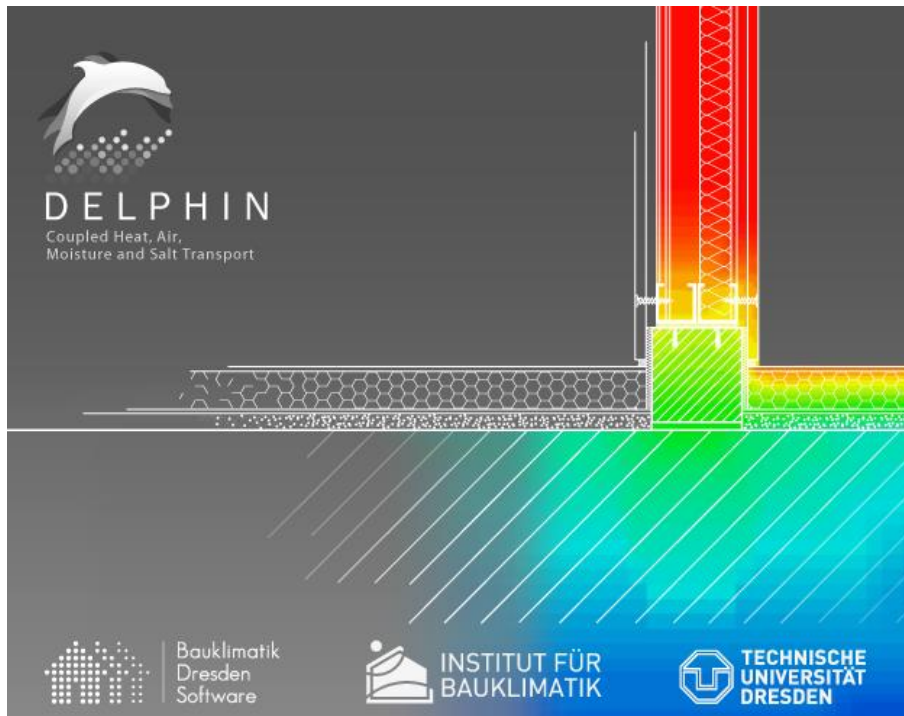
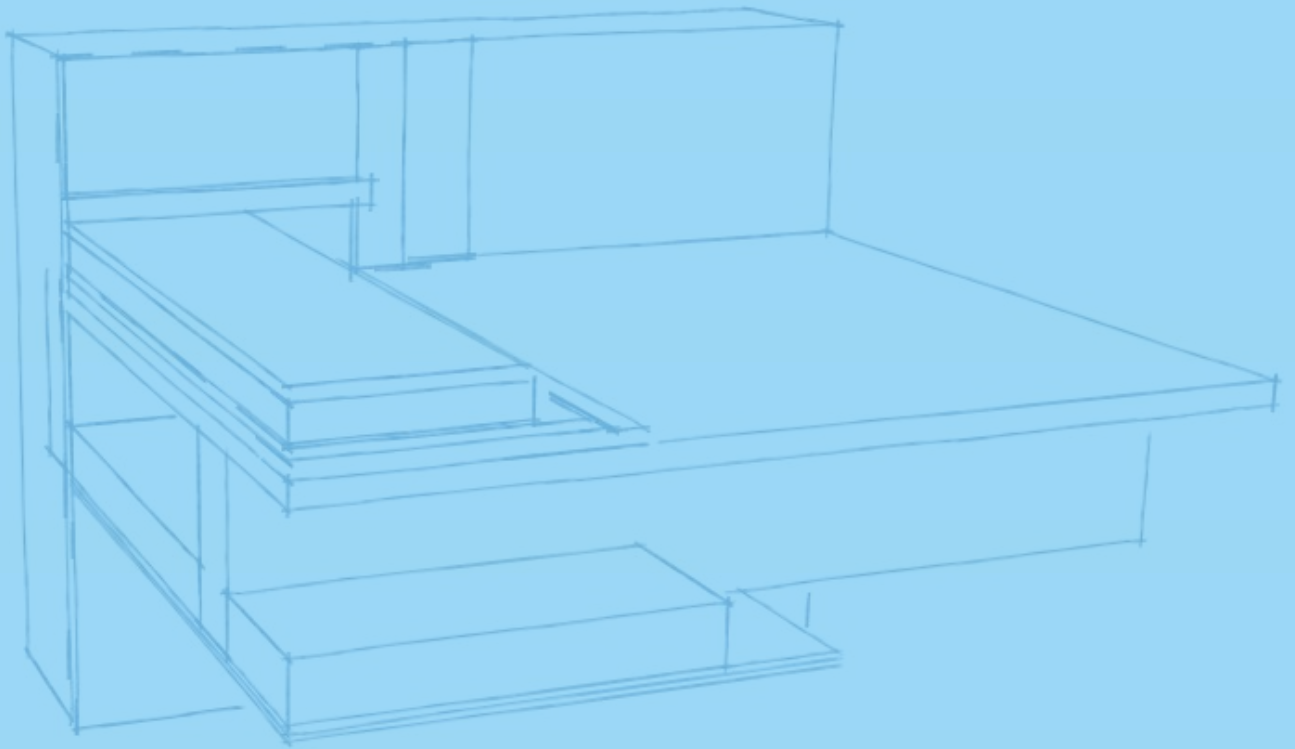


Abbildung 37 Programmpaket Delphin (<https://bauklimatik-dresden.de/>)

#### 4.4 Programmpaket Archiphysik

Es werden gebäudebezogen unter Zuhilfenahme des Programmpakets Archiphysik 21 für ausgewählte Maßnahmen(-Kombinationen) mit dem Monatsbilanzverfahren gebäudebezogene Energiekennzahlen ermittelt. Diese Analyse wird über die Verwendung standortbezogener durchschnittlicher langjähriger Klimadaten berechnet, wobei als Berechnungsmethoden vor dem Hintergrund der OIB Richtlinie 6:2019 für Bauteile die ÖNorm B 8110-6:2019, für Fenster die EN ISO 10077-1:2018, für die Heiztechnik die ÖNorm H 5056:1:2019, für die Raumluftechnik die ÖNorm H 5057-1:2019, für die Kühltechnik: ÖNorm H 5058-1:2019 und für die Beleuchtung die ÖNorm H 5059-1:2019 angewendet werden. Die Verschattung wird detailliert nach ÖNorm B 8110-6:2019 berechnet. Damit werden insgesamt 50 Energieausweise berechnet und als Beurteilungsgrundlage herangezogen.



## 5 Studien, Leitfäden und Ratgeber

Dieses Kapitel enthält eine Zusammenstellung wesentlicher Literatur, die sich bereits mit dem Thema beschäftigt. Die wesentlichen, für diese Studie relevanten Inhalte, Empfehlungen und Erkenntnisse werden zusammengefasst.

### 5.1 Wiener Hitze Ratgeber

Der Wiener Hitze Ratgeber [Stadt Wien] beschreibt die von Hitze für Menschen ausgehenden Gefahren, auch jene wie Kohlenmonoxid und Luftschadstoffe. Er verfolgt das Ziel, präventive Maßnahmen und Verhaltensempfehlungen bereitzustellen, um den gesundheitlichen Auswirkungen von sommerlicher Hitze in Wien entgegenzuwirken und die Bevölkerung auf mögliche Hitzeperioden und ihre Herausforderungen vorzubereiten. Es werden für unterschiedliche Personengruppen Tipps beschrieben, um sich vor Hitze zu schützen, beispielsweise wird bei großer Hitze wird der Aufenthalt zu Hause empfohlen. Darüber hinaus werden Handlungsanweisungen für Hitzebedingte Erkrankungen und Notfälle formuliert. Als wesentliche Maßnahmen und Empfehlungen zur Vermeidung sommerlicher Hitze werden folgende Punkte angeführt:

- **Wärmedämmung**  
Ein gut gedämmtes Haus schützt sowohl im Winter als auch im Sommer und spart Heizkosten. Dämmmaßnahmen können den thermischen Komfort zu jeder Jahreszeit erhöhen.
- **Verwendung von Speichermassen**  
Materialien wie Beton, Ziegel oder Holz besitzen eine hohe Speicherkapazität für Wärme und tragen dazu bei, Innenräume kühler zu halten.
- **Verschattung**  
Die Installation von Außenjalousien oder das Anbringen von Markisen können die direkte Sonneneinstrahlung reduzieren und so die Überwärmung von Wohnräumen verhindern. Für HeimwerkerInnen gibt es auch Möglichkeiten für den Selbstbau von Fensterläden.
- **Lüftung**  
Effektive Querlüftungen oder Lüftungen von einem unteren zu einem oberen Geschoss können helfen, die Räume zu kühlen. Es wird empfohlen, in den kühleren Abend- und Morgenstunden zu lüften.
- **Reduzierung von Wärmequellen**  
Schalten Sie unnötige elektrische Geräte und Lichtquellen aus, um zusätzliche Wärmeentwicklung zu vermeiden. Effiziente Haushaltsgeräte helfen ebenfalls, die Raumtemperatur zu reduzieren.

## 5.2 Hitze! vermeiden – Vermeidung sommerlicher Überwärmung im Wohnbau

Es werden in [Treberspurg et.al, 2017] die Grundlagen des thermischen Komforts und deren Einflussparameter, Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte erläutert. Es wird die damals für die Vermeidung sommerlicher Überwärmung übliche baurechtliche Nachweisführung mithilfe der Berechnung der Immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse, sowie die Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur beschrieben.

Klima, Bautechnik, Nutzerverhalten und Design werden als Gründe für sommerliche Überwärmung angesprochen sowie ein sich aus zukünftigen Klimaszenarien im urbanen Raum ergebender steigender Kühlenergieverbrauch im Wohnbau und die damit verbundenen Mehrkosten werden aufgezeigt.

Es werden relevante Maßnahmen gegen sommerliche Überwärmung untersucht und beschrieben, wobei auch Methoden der aktiven Kühlung aufgezeigt werden. Es werden 4 Beispielprojekte für Neubau und 3 Beispielprojekte für Sanierung zusammengestellt.

## 5.3 Sonnenschutz und Stadtbild – Sonnenschutzsysteme für historische Bauten, Simulationen zur Innenraumtemperatur

„Sonnenschutz und Stadtbild“ [Schneider, 2021] fokussiert sich auf die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel in Wien, insbesondere in Bezug auf die Erhaltung historischer Bauten. Es wird betont, wie wichtig es ist, Sonnenschutzsysteme zu entwickeln, die sowohl effektiv als auch ästhetisch im Einklang mit dem historischen Stadtbild sind. Im Rahmen des Werkstattberichts werden für historische Bauten Sonnenschutzvarianten zusammengestellt und mittels thermischer Raumsimulation hinsichtlich Innenraumtemperaturen analysiert, wobei die Einflussfaktoren, Orientierung, Gebäudenutzung, Nutzungsverhalten, Nachtlüftung, Dämmung sowie klimatische Entwicklung untersucht und Best-Practice-Szenarien für Wohnen abgeleitet werden.

Es werden folgende wesentliche Maßnahmen und Empfehlungen zur Vermeidung sommerlicher Hitze in Wohngebäuden genannt, welche nicht nur effektiv in der Reduzierung der Innentemperaturen sind, sondern auch darauf ausgelegt sind, den kulturellen Wert und die Ästhetik der Stadt zu bewahren.

### **Außenliegender Sonnenschutz**

Ein zentraler Aspekt ist die außenliegende Beschattung, die bei richtiger Anwendung in Kombination mit Dämmung und Nachtlüftung das Raumklima angenehm temperieren kann.

### **Dämmung und Nachtlüftung**

Neben der Beschattung ist auch die Dämmung von Gebäuden eine bedeutende Maßnahme. Nachtlüftung nutzt kühlere Nachttemperaturen, um die Gebäude zu temperieren.

### **Gestalterische Integration**

Sonnenschutzsysteme sollen sich gestalterisch in das historische Stadtbild integrieren. Dabei werden historische Beschattungsformen wie Fensterläden und Markisen bevorzugt und teils wieder aktiviert.

### **Ressourcenschonende Anpassungen**

Diese Systeme sind nicht nur technisch wirkungsvoll, sondern auch ressourcenschonend, was zur Erhöhung der Lebensqualität beiträgt und Wien auf dem Weg zu einer klimafreundlichen Stadt unterstützt.

## **5.4 KlimaBau - Planen angesichts des Klimawandels**

In der 2017 publizierte Studie [Settembrini, 2017] wird der Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit von Wohnbauten in der Schweiz untersucht. Ziel ist die Erarbeitung von praxistauglichen Empfehlungen, die direkten Einfluss auf Architektur, Konstruktion und technische Ausstattung zukünftiger Neubauten haben sollen. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass sich der Heizwärmebedarf um etwa 25 % senken wird, während der Klimakältebedarf exponentiell ansteigen wird. Behagliche Temperaturen werden nur noch durch optimale Nutzung des Sonnenschutzes und einer ausreichenden Nachauskühlung der Gebäude gewährleistet werden können. Ein besonderer Stellenwert wird zum einen der Automatisierung dieser Systeme zugeschrieben. Zum anderen der Befensterung (Qualität, Ausrichtung, Fläche, Öffnungsmöglichkeit, Beschattung).

Die nachfolgenden Ansätze bzw. Maßnahmen und Empfehlungen sind darauf ausgelegt, den Energieverbrauch zu optimieren und gleichzeitig die Behaglichkeit in Wohngebäuden trotz des fortschreitenden Klimawandels sicherzustellen.

### **Optimierte Nutzung von Sonnenschutzsystemen**

Der effektive Einsatz von Sonnenschutzsystemen in Verbindung mit natürlicher Lüftung ist entscheidend, um komfortable Temperaturen in Wohngebäuden zu halten.

### **Nachtkühlung**

Ausreichende Nachtkühlung der Gebäude kann signifikant zur Beibehaltung angenehmer Innenraumtemperaturen beitragen, besonders in städtischen Gebieten.

### **Baukonstruktion und Wärmespeicherfähigkeit**

Massive Bauweisen zeigen gegenüber Leichtbauten bessere Werte hinsichtlich der Behaglichkeit und des Energieverbrauchs, da deren Wärmespeicherfähigkeit mit steigenden Außentemperaturen an Bedeutung gewinnt.

### **Energieeffiziente Bauweise**

Die Minimierung des Energieverbrauchs durch moderne Baukonstruktionen und Technologien, wie Free Cooling oder Geocooling, spielen eine zentrale Rolle bei der Anpassung an zukünftige Klimabedingungen.

## **5.5 Raus aus Gas**

"Raus aus Gas – Wiener Wärme und Kälte 2040" [Magistrat der Stadt Wien, 2023] zielt darauf ab, eine klimaneutrale Stadt durch den Ausstieg aus fossilen Energieträgern im Gebäudesektor zu erreichen. Es skizziert einen Weg zur Anpassung an den Klimawandel mit Fokus auf die Dekarbonisierung von Wärme- und Kühlsystemen.

Wichtige Maßnahmen und Empfehlungen zur Vermeidung sommerlicher Hitze in Wohngebäuden umfassen:

### **Außenliegender Sonnenschutz**

Dieser wird als effektivste Maßnahme betrachtet, um Gebäude kühl zu halten, da er den Wärmeeintrag von außen erheblich reduziert.

### **Nachtlüftung**

Die strategische Nutzung von kühleren Nachtzeiten zur Lüftung der Gebäude hilft, übermäßige Hitze effektiv zu senken.

### **Verwendung von Wärmepumpen**

Diese können im Sommer zur Kühlung genutzt werden.

### **Begrünung**

Die Begrünung von Dächern und Fassaden hilft durch Beschattung und Verdunstung, die Temperatur in und um Gebäude zu senken und das Mikroklima zu verbessern.

## **5.6 Wiener Klimafahrplan**

Der "Wiener Klimafahrplan" [Magistrat der Stadt Wien, 2022] hat das Ziel, Wien bis 2040 klimaneutral zu machen und die Klimaanpassung und den Klimaschutz in der Stadt voranzutreiben. Er umfasst Maßnahmen, sowohl hinsichtlich Dekarbonisierung als auch für die Anpassung der Stadt an veränderte Klimabedingungen. Zur Vermeidung sommerlicher Hitze in Wohngebäuden werden dazu folgende Maßnahmen genannt. Diese Maßnahmen sind Teil eines umfassenden Plans, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die städtische Umwelt abzumildern und die Lebensqualität in Wien nachhaltig zu verbessern.

### **Gebäudebegrünung**

Dach- und Fassadenbegrünungen tragen dazu bei, das jeweilige Gebäude zu kühlen und das Mikroklima im umliegenden Bereich zu verbessern. Diese Maßnahmen helfen, die Wärmeschutz zu verbessern und den Wasserhaushalt durch Verdunstung besser zu regulieren.

### **Passive Kühlung**

Diese Technologie nutzt Bauteilaktivierung und Fußbodenkühlung, um Gebäude im Sommer effizient zu kühlen, ohne signifikanten Energieverbrauch zu verursachen. Dies wird durch die Speicherung der Wärme von Sommer zu anderen Jahreszeiten erreicht.

### **Verschattung und Reflexion**

Verschattungen, zum Beispiel durch Photovoltaikanlagen, und die Erhöhung der Reflexion von Sonnenlicht (durch geeignete Oberflächenmaterialien), reduzieren die Hitze in Gebäuden und helfen, die Temperatur im Stadtbereich zu regulieren.

### **Quer- und Nachtlüftung**

Das Design neuer Gebäude sollte Quer- und Nachtlüftungen ermöglichen, um die natürliche Ventilation zu maximieren und somit die Abkühlung der Innenräume zu verbessern.

## **5.7 Regierungsprogramm 2020-2024**

Das "Regierungsprogramm 2020-2024" [2020] zielte auf die Förderung einer nachhaltigen und ökologisch effizienten Wohnraumgestaltung ab. Im Fokus stand die Schaffung von leistbarem Wohnraum, die Erreichung von ökologischen Anforderungen und die Verbesserung der Sanierungsmaßnahmen.

Zu den wesentlichen Maßnahmen und Empfehlungen zur Vermeidung sommerlicher Hitze in Wohngebäuden gehörten darin:

### **Thermisch-energetische Sanierung**

Es sollten Förderprogramme angeboten werden, um thermisch-energetische Sanierungsmaßnahmen zu unterstützen, die dazu beitragen, die Energieeffizienz zu steigern und die Überwärmung in Gebäuden zu reduzieren.

### **Dämmung**

Es wurde die Förderung schnell amortisierender Maßnahmen wie der Dämmung von obersten Geschossdecken angestrebt.

### **Energieeffiziente Bauweise**

Die Weiterentwicklung der Bauvorschriften zielte darauf ab, emissionsfreie Gebäude zum Standard zu machen. Dies impliziert, dass Neubauten und Renovierungen aus energetischer Sicht optimiert werden, um auch die sommerliche Hitzeeffekte zu minimieren.

Diese Maßnahmen waren Teil umfassender Bemühungen, die Nachhaltigkeit im Wohnbau zu steigern, das Programm selbst bot keine detaillierten Anleitungen speziell zur Vermeidung von sommerlicher Hitze in Wohngebäuden.

## **5.8 Regierungsprogramm 2025-2029**

Das "Regierungsprogramm 2025-2029" [2025] der österreichischen Bundesregierung zielt auf die Transformation des Energiesystems ab, um die Wettbewerbsfähigkeit des Landes zu stärken und die Interessen der Bürger\*innen zu wahren. Es beinhaltet verschiedene reformatorische und

steuerliche Maßnahmen, um breite gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedingungen zu optimieren.

Es gibt jedoch keine spezifischen Maßnahmen oder Empfehlungen zur Vermeidung sommerlicher Hitze in Wohngebäuden. Das Regierungsprogramm ist eher auf wirtschaftspolitische und strukturelle Aspekte gerichtet, mit einem besonderen Schwerpunkt auf Energiesysteme und Infrastrukturprojekte.

### 5.9 Wiener Hitzeaktionsplan

Der „Wiener Hitzeaktionsplan: für ein cooles Wien der Zukunft“ [Magistrat der Stadt Wien, 2025] verfolgt das Hauptziel, die Bevölkerung – insbesondere die vulnerablen Gruppen – vor den Auswirkungen von Hitze in der Stadt zu schützen. Der Plan enthält Maßnahmen, die sowohl für die gesamte Bevölkerung als auch für spezifische, besonders gefährdete Zielgruppen wie Kleinkinder, Schwangere, ältere Menschen, Menschen mit chronischen oder psychischen Erkrankungen und Personen in schwierigen sozialen Verhältnissen konzipiert sind.

Zu den wesentlichen Inhalten gehören dabei Kurzfristige/Akutmaßnahmen: Diese werden bei Hitzewarnungen ergriffen, wie z.B. die Aktivierung von „Kühlen Zonen“ und die Verteilung von Wasser. Saisonal vorbereitende Maßnahmen, wie etwa Informationskampagnen als auch Mittel- bis langfristige Maßnahmen, wie die Begrünung von Flächen und Gebäudeanpassungen, so für den öffentlichen Raum: die Installation von Trinkbrunnen, Beschattung von Spielplätzen und die Schaffung von „Coole Zonen“ als konsumfreie Rückzugsräume.

#### **Beschattungsmaßnahmen**

Auf Gebäudeebene, werden zumindest für den Außenraum Beschattungsmaßnahmen, wie begrünte Pergolen genannt, um die Auswirkungen von Hitze bei Neugestaltung von Spielplätzen zu berücksichtigen und zu Vermeiden.

#### **Bestehende kühle Räume nutzen**

Weiter wird empfohlen, bestehende Räumlichkeiten als kühle Rückzugsorte zu verwenden, um kostenlose und barrierefreie kühle Innenräume zur Verfügung zu stellen. Soziale Einrichtungen sollen durch investive Maßnahmen unterstützt, beispielsweise durch die Installation von Verschattungssystemen und Klimageräten.

### **Architektur, Bauwerksbegrünung und Nachtlüftung**

Für Bildungseinrichtungen werden passive Maßnahmen wie die Anpassung der Architektur, Bauwerksbegrünung und der Einsatz aktiver Beschattungssysteme (z.B. Jalousien) genannt und auch die Nutzung von Nachtlüftung und "Free Cooling" während Hitzewellen.

Für Bauweise, Bebauungsdichte, Material, Fenstergrößen, Verschattung und Lüftung von Wohngebäuden sind darin keine Empfehlungen formuliert.



## **6 Komfortparameter**

### **6.1 Einleitung**

Die Bewertung des Komforts hat vor dem Hintergrund des in Kapitel 1.4. beschriebenen Stadtklimas, der in 1.5. Betrachtung von Energieeffizienz und Lebenszyklus und den Belangen der Denkmalpflege zu erfolgen. Für eine gesamtheitliche Bewertung sind über den thermischen Komfort hinaus weitere Komfortparameter von essenzieller Bedeutung. Im Rahmen dieser Arbeit werden deshalb auch der visuelle Komfort, der auditive Komfort und die Raumluftqualität betrachtet. Nachfolgend werden diese näher ausgeführt und jeweils Beurteilungskriterien und Grenzwerte bzw. Klassen für die Bewertung genannt.

## 6.2 Thermischer Komfort

### 6.2.1 Beurteilungskriterien

Der Einfluss der Lüftungs- und Verschattungsstrategien auf das Raumklima wird bereits in Kapitel 1.2 anhand der sommerlichen Überwärmung entsprechend ÖNorm B 8110-3<sup>64</sup> durch Berechnung des Tagesganges der empfundenen Raumtemperatur im zeitlich periodisch eingeschwungenen Zustand untersucht und dargestellt. Darüber hinaus kann der Einfluss der Lüftungs- und Verschattungsstrategien auf das Raumklima anhand des thermischen Komforts im Jahresverlauf untersucht werden. Die Beurteilung des thermischen Komforts erfolgt anhand a) der Übertemperaturhäufigkeit, b) dem vorausgesagten mittleren Votum (PMV)<sup>65</sup>, c) dem vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)<sup>66</sup> sowie d) der empfundenen Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur (Mittelwertbildung über 7 Tage).

### 6.2.2 Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)<sup>67</sup>

PMV ist eine auf Versuchsreihen basierende empirische Größe, die Aussagen über das thermische Behaglichkeitsempfinden im Untersuchungsgebiet ermöglicht. Da diese Größe eine Vielzahl von Einflussgrößen, wie die Luft- und Strahlungstemperatur, die Luftgeschwindigkeit, die Bekleidung sowie die Aktivität der Personen berücksichtigt, ist sie als ein summatives Behaglichkeitskriterium aufzufassen. PMV kann entsprechend der 7-stufigen Beurteilungsskala<sup>68</sup> Werte von -3 (kalt) bis +3 (heiß) annehmen, wobei 0 als thermisch neutral, also uneingeschränkt behaglich einzustufen ist.<sup>69</sup>

### 6.2.3 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Das PMV sagt die durchschnittliche Komfortbeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind.

<sup>64</sup> ÖNorm B 8110-3:2020, S. 7 f

<sup>65</sup> PMV nach ÖNorm EN ISO 7730, S. 4 Das PMV ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand folgender 7-stufiger Klimabeurteilungsskala vorhersagt (siehe Tabelle 1). Der PMV-Index beruht auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers. Das thermische Gleichgewicht ist erreicht, wenn die im Körper erzeugte Wärme gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist. In einem gemäßigten Umgebungsklima ändert das Thermoregulationssystem des Menschen automatisch die Hauttemperatur und die Schweißabsonderung, um das Wärmegleichgewicht zu erhalten.

<sup>66</sup> PPD nach ÖNorm EN ISO 7730 S. 4 Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt, die es als zu kalt oder zu warm empfinden. Für diese Internationale Norm sind unzufriedene Personen solche, die nach der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala entweder mit heiß, warm, kühl oder kalt urteilen.

<sup>68</sup> *Hinweis zur Bewertung: Aufgrund der Fehlergrenzen der Geräte zur Messung der Eingangsparameter nach ISO 7726 kann es schwierig sein, zu überprüfen, ob PMV der Klasse-A-Kategorie ( $-0,2 < PMV < +0,2$ ) entspricht. Stattdessen darf, wie in Abschnitt A.2 und in Tabelle A.5 angegeben, die Überprüfung auf dem äquivalenten operativen Temperaturbereich basieren. Entwurf ÖNorm EN ISO 7730:2023*

<sup>69</sup> Vgl. ÖNorm EN ISO 7730:2006, S. 6

Einzelne Urteile streuen jedoch um diesen Mittelwert und es ist nützlich, die Anzahl der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden. Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt. Allgemein gilt, dass in kühleren Räumen die Luftgeschwindigkeit dominierenden Einfluss auf das PMV hat, während bei eher wärmeren Räumen die Luft- und Strahlungstemperatur die wesentlich beeinflussenden Faktoren sind.

### **6.2.4 Empfundene Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur**

Für Gebäude ohne aktive Kühlung – wie hier untersucht –, die ausschließlich auf natürliche Kühlmaßnahmen setzen (z.B. verstärkter nächtlicher Fensterluftwechsel, verstärkter Fensterluftwechsel auch am Tag), erfolgt die quantitative Beurteilung des thermischen Komforts nach ÖNorm EN 15251<sup>70</sup>, bzw. deren Nachfolgenorm, der ÖNorm EN 16798-1<sup>71</sup>. Wesentlich an dem in diesen Normen beschriebenen adaptiven Modell ist der Ansatz, dass das Empfinden von thermischem Komfort nicht nur von klimatischen Bedingungen des Innenraums, Aktivität und Kleidung abhängt, sondern auch von den klimatischen Bedingungen der Außenluft, genauer gesagt dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur.<sup>72</sup>

---

<sup>70</sup> DIN EN 15251:2012, S. 40

<sup>71</sup> ÖNorm EN 16798-1:2019, S. 29 ff

<sup>72</sup> Steiner, T. et. al. „Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden - Monitoring der Leitprojekte aus HAUSderZukunft“, IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH in Kooperation mit Österreichisches Ökologie-Institut (Wien, 2015), S. 59

### 6.2.5 Langzeitbewertung des thermischen Komforts

Um die Komfortbedingungen über einen längeren Zeitraum bewerten zu können, werden die in der dynamischen Gebäudesimulation berechneten Ergebnisse der Raumklimabedingungen zusammengefasst. Anhang H der ÖNorm EN ISO 7730<sup>73</sup> und Anhang F der ÖNorm EN 15251<sup>74</sup> beschreiben dazu jeweils fünf – sehr ähnliche – Verfahren (Tabelle 12).

**Tabelle 1 Verfahren zur Langzeitbewertung des allgemeinen thermischen Komforts**

Verfahren	ÖNorm EN ISO 7730 - Anhang H (informativ)	ÖNorm EN 15251 - Anhang F (informativ)
<b>A</b>	Die Anzahl bzw. der prozentuale Anteil der Stunden, von den Stunden, in denen das Gebäude benutzt wird, in denen das PMV oder die operative Temperatur außerhalb des festgelegten Bereiches liegt, ist zu berechnen.	Es ist eine Anzahl oder der Prozentsatz der Stunden während der Belegungs- bzw. Nutzungszeit des Gebäudes zu berechnen, in denen das PMV oder die operative Temperatur außerhalb des dafür festgelegten Bereichs liegt.
<b>B</b>	Die Zeit während der die tatsächliche operative Temperatur den festgelegten Bereich während der benutzten Stunden überschreitet, wird mit einem Faktor gewichtet, der davon abhängig ist, um wie viel Grad der Bereich überschritten wurde.	Die Zeit, während der die tatsächliche operative Temperatur in den Belegungs- bzw. Nutzungsstunden außerhalb des festgelegten Bereichs liegt, wird durch Multiplikation mit deinem Faktor gewichtet, der eine Funktion der Gerade ist, mit denen die Bereichsgrenzen unter- oder überschritten werden.
<b>C</b>	Die Zeit, während der das tatsächliche PMV die Behaglichkeitsgrenzen überschreitet, wird mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion des PPD ist – ausgehend von einer PMV-Verteilung auf Jahresbasis und der Beziehung zwischen PMV und PPD.	Die Zeit, während der das tatsächliche PMV die Behaglichkeitsgrenzen überschreitet, wird durch Multiplikation mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion des PPD ist – ausgehend von einer PMV-Verteilung auf jährlicher Basis und der Beziehung zwischen PMV und PPD, wobei verschiedene Gewichtungsfaktoren 1), 2), 3) zur Anwendung kommen.
<b>D</b>	Es wird der mittlere PPD über eine Zeitspanne während der benutzten Zeiten hinweg berechnet.	
<b>E</b>	Summierung des PPD über eine Zeitspanne während der benutzen Zeiten hinweg.	

<sup>73</sup> ÖNorm EN ISO 7730:2006, S. 49 f

<sup>74</sup> DIN EN 15251:2012, S. 40

## 6.2.6 Grenzwerte

Grenzwerte für die Beurteilung des thermischen Komforts werden hinsichtlich Art der Lüftung und in Bezug auf die empfundene Temperatur ( $T_{op}$ ) abhängig von der Jahreszeit definiert. Die Einteilung erfolgt anhand von Kategorien, welche oft auch als Klassen bezeichnet werden (Tabelle 2).

Tabelle 2 Grenzwerte für thermische Behaglichkeit

Parameter	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Kategorie D
<b>Empfundene Temperatur</b>	W: $21 \leq T_{op} \leq 23$ S: $23,5 \leq T_{op} \leq 25,5$ [°C]	W: $20 \leq T_{op} < 21$ W: $23 < T_{op} \leq 24$ S: $23 \leq T_{op} < 23,5$ S: $25,5 < T_{op} \leq 26$ [°C]	W: $19 \leq T_{op} < 20$ W: $24 < T_{op} \leq 25$ S: $22 \leq T_{op} < 23$ S: $26 < T_{op} \leq 27$ [°C]	W: $T_{op} < 19$ W: $T_{op} > 25$ S: $T_{op} < 22$ S: $T_{op} > 27$ [°C]
<b>Relative Feuchte</b>	40 – 50 %	30 – 40 % 50 – 60 %	30 – 20 % 60 – 70 %	< 20 % > 70 %
<b>PMV</b>	$-0,2 < PMV < +0,2$	$-0,5 < PMV \leq -0,2$ $+0,2 \leq PMV < +0,5$	$-0,7 < PMV \leq -0,5$ $+0,5 \leq PMV < +0,7$	$-0,7 < PMV$ $PMV > +0,7$
<b>PPD</b>	PPD < 6 %	6 % ≤ PPD < 10 %	10 % ≤ PPD < 15 %	PPD > 15 %

## 6.2.7 Bewertung thermischer Komfort durch Messung

Die für Bewertung des thermischen Raumklimas verwendete Messeinrichtung muss die in EN ISO 7726<sup>75</sup> angegebenen Anforderungen erfüllen<sup>76</sup>. Die Messungen müssen an den Orten, von denen bekannt ist, dass die Nutzer\*innen den größten Teil ihrer Zeit dort verbringen, und unter typischen Witterungsbedingungen der kalten und warmen Jahreszeit durchgeführt werden. So sind die Messungen im Winter (Heizperiode) bei oder unterhalb der statistischen mittleren Außentemperatur der 3 kältesten Monate des Jahres und in der warmen Jahreszeit (Kühlperiode) bei oder oberhalb der statistischen mittleren Temperaturen der 3 wärmsten Monate des Jahres und bei klarem Himmel durchzuführen.<sup>77</sup>

<sup>75</sup> DIN EN ISO 7726:2001, S. 11 f

<sup>76</sup> DIN EN 15251:2012, S. 33

<sup>77</sup> DIN EN 15251:2012, S. 21

## 6.3 Visueller Komfort

### 6.3.1 Beurteilungskriterien

Der Anhang der ÖNorm EN 17037<sup>78</sup> beschreibt drei Stufen von Empfehlungen für die Beurteilung von Tageslicht in Innenräumen, welche in Abschnitt 5 festgelegt werden. Die drei Stufen sind: gering, mittel und hoch. Die Empfehlungen werden für die Tageslichtversorgung, die Aussicht, die Besonnungsdauer und den Blendungsschutz gegeben.

Visueller Komfort stellt das Erleben der Lichtwirkung in einer Umgebung unabhängig von der Lichtquelle dar. Dieser wird durch eine Kombination aus funktionalen, emotionalen und biologischen Lichtwirkungen beeinflusst, die vom Nutzer\*innen abhängig sind. Damit ein hoher visueller Komfort erreicht wird, müssen die Anforderungen der Nutzer\*in bestmöglich erfüllt werden<sup>79</sup>. Ein Raum gilt als ausreichend mit Tageslicht versorgt, wenn eine Ziel-Beleuchtungsstärke über einen Anteil der Bezugsebene innerhalb eines Raums für mindestens die Hälfte der Tageslichtstunden erreicht wird.<sup>80</sup> Die Werte für die Ziel-Beleuchtungsstärken und die Mindestziel-Beleuchtungsstärken sind in Kapitel 6.3.6 angegeben.

### 6.3.2 Beleuchtung

Bei der Beleuchtung müssen die Beleuchtungsstärke und die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke berücksichtigt werden. Die erforderliche Beleuchtungsstärke variiert je nach Schwierigkeit der Sehaufgabe – bei schwierigeren Aufgaben sollte die Beleuchtungsstärke höher sein. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung.

### 6.3.3 Tageslicht

Tageslicht wird grundsätzlich für eine optimale Beleuchtung und hohen visuellen Komfort bevorzugt. Der visuelle Komfort wird anhand einer Kombination aus funktionalen, emotionalen und biologischen Lichtwirkungen bewertet, die je nach Anforderungen der Nutzer\*in und Kontext variieren. Durch die Einhaltung bestimmter Gütekriterien, wie Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke, kann der visuelle Komfort bewertet werden<sup>81</sup>. Tageslicht kann nach der EN 17037 in die Qualitätsstufen gering, mittel und hoch eingeteilt

---

<sup>78</sup> ÖNorm EN 17037:2019, S. 15 ff, Anhang A - Empfehlungen

<sup>79</sup> A. Wagner et al., *Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Empfehlungen für Planung und Betrieb* (Fraunhofer IRB Verlag, 2015), S. 98

<sup>80</sup> ÖNorm EN 17037:2019, S. 11

<sup>81</sup> ÖNorm EN 17037:2019, S. 25

werden. Berücksichtigt werden können die Aussicht bzw. der Sichtkontakt nach außen, die Besonnungsdauer und der Blendungsschutz.

#### 6.3.4 Blendschutz

Blendung ist eine negative Empfindung, die durch helle Bereiche mit einer größeren Leuchtdichte als für das menschliche Auge verträglich verursacht wird und zu Belästigung, Unwohlsein oder reduzierter Sehleistung und Sichtbarkeit führt. Direktes Sonnenlicht oder hohe Leuchtdichteunterschiede zwischen hellen und dunklen Bereichen im Sichtfeld können zu einem Blendungsrisiko führen.<sup>82</sup> Für alle Räume mit Tageslichtöffnungen wird empfohlen, Blendschutz Vorrichtungen zu verwenden, um das Blendungsrisiko zu reduzieren. Ein direkter Blick in die Sonne oder deren Reflexion sollte vermieden werden.

Die Tageslichtblendungswahrscheinlichkeit (DGP, en: Daylight Glare Probability) wird verwendet, um den Schutz vor Blendung<sup>83</sup> für Räume zu beurteilen, in denen Aktivitäten wie Lesen, Schreiben oder die Nutzung von Anzeigegeräten stattfinden und in denen die Raumnutzer Position und Blickrichtung nicht frei wählen können. Die DGP-Beurteilung kann auf einen Raum mit vertikalen oder geneigten Tageslichtöffnungen angewendet werden. DGP-Schwellenwerte sollten einen bestimmten Anteil der Bezugsnutzungsdauer  $FDGP_{,exceed}$  nicht überschreiten (siehe A.5). Die empfohlenen höchsten DGP-Zielwerte können anhand des in Anhang E der EN 17037 angegebenen vereinfachten Verfahrens beurteilt werden. Alternativ kann eine jährliche DGP-Berechnung verwendet werden. Die Verifizierung des Blendungsschutzes kann anhand von zwei Verfahren erfolgen. Ein vereinfachtes Verfahren zur Verifizierung von Abschattungsvorrichtungen ist in E.3.2 festgelegt. E.5 enthält ein Verfahren für die Messung vor Ort zur Berechnung der DGP-Werte.

#### 6.3.5 Sichtkontakt nach außen

Sichtkontakt nach außen ist die Fähigkeit einer Sonnenschutzeinrichtung, in vollständig ausgefahrener Stellung eine Sicht nach außen zu gestatten. Diese Funktion wird von den verschiedenen Lichtverhältnissen während des Tages beeinflusst.

Der Sichtkontakt nach außen wird quantitativ durch die Parameter  $\tau_{v,n-dif}$  und  $\tau_{v,n-n}$ , gemäß EN 14500:2021<sup>84</sup>, bestimmt. Hohe Werte von  $\tau_{v,n-n}$  sind günstig, da sie eine Wahrnehmung von Umrissen ermöglichen, während ein hoher Wert von  $\tau_{v,n-dif}$  ungünstig ist, da er die direkte Sicht verzerrt. Weitere Faktoren wie die

---

<sup>82</sup> "Lumos maxima - Ein Leitfaden zur Anwendung der Norm EN 17037 - Tageslicht in Gebäuden," (2022), S. 8

<sup>83</sup> ÖNorm EN 17037:2019, S. 14

<sup>84</sup> ÖNorm EN 14500:2021, S. 23

Verteilung und Umriss der Öffnungen, sowie der Reflexionsgrad der Innenseite der Sonnenschutz-einrichtung können ebenfalls einen Einfluss haben.

### 6.3.6 Grenzwerte

Auf Grenzwerte für die Beurteilung des visuellen Komforts in wird u.a. Bezug genommen in EN 12464-1<sup>85</sup>, EN 12665<sup>86</sup> und EN 14501<sup>87</sup>.

Die Einteilung der Leistungsklassen für Blendschutz und Sichtkontakt nach außen und Tageslichtnutzung sind in Abbildung 38 angegeben. Im Rahmen dieser Arbeit wird der visuelle Komfort anhand von Beleuchtungsstärke und Außenbezug bewertet.

Klasse	Einfluss auf den visuellen Komfort				
	0	1	2	3	4
	sehr geringe Auswirkung	geringe Auswirkung	mäßige Auswirkung	hohe Auswirkung	sehr hohe Auswirkung

Abbildung 38 Einteilung der Klassen nach EN 17037, Tabelle 5

Bei einstellbaren Sonnenschutzeinrichtungen mit Lamellen, z. B. Jalousien, sind beim Ausweisen eines jeden Wertes und jeder Klasse der Neigungswinkel der Lamellen und die Richtung des einfallenden Lichts anzugeben.

Der Lichttransmissionsgrad einer Sonnenschutzeinrichtung kann durch Berechnung oder Messung bestimmt werden. Je nach Art der Sonnenschutzeinrichtung kann er, wenn sie vollständig geschlossen und ausgefahren ist, aus den Eigenschaften des Lichts und der geometrischen Gestaltung der Lamellen berechnet werden. Einstellbare Sonnenschutzeinrichtungen mit Lamellen ermöglichen eine variable Regulierung des Lichteinfalls. Beim Einsatz einer Jalousie mit nicht perforierten Lamellen kann der Mindestwert von  $\tau_{v,n-n}$  auf 0 oder bis zu 0,5 gesetzt werden. Bei einer Jalousie mit vollständig oder teilweise perforierten Lamellen kann der Mindestwert von  $\tau_{v,n-n}$  mit dem für  $\tau_{v,n-n}$  gemessenen Wert des perforierten Bereichs einer einzelnen Lamelle gleichgesetzt werden.

### Empfehlungen für die Tageslichtversorgung in einem Raum

Tabelle A.1 der EN 17037 (Abbildung 39) und A.2 (Abbildung 40) geben Empfehlungen für die Tageslichtversorgung in Räumen an. Sie definieren die erforderliche Ziel-Beleuchtungsstärke ET (in lx) und die Mindestziel-Beleuchtungsstärke ETM (in lx), die über einem bestimmten Anteil  $F_{plane,\%}$  der Bezugsebene des Raums erreicht werden sollten. Die Bezugsebene des Raums

<sup>85</sup> ÖNorm EN 12464-1:2011, S. 18

<sup>86</sup> ÖNorm EN 12665:2018, S. 28

<sup>87</sup> ÖNorm EN 14501:2021, S. 42

liegt in einer Höhe von 0,85 m über dem Boden, es sei denn, eine andere Höhe wurde spezifiziert. Horizontale Öffnungsbereiche (z.B. Fenster) können die Ziel-Beleuchtungsstärke über den gesamten Anteil  $F_{plane, \%}$  der Bezugsebene liefern.

Empfehlungsstufe für vertikale und geneigte Tageslichtöffnungen	Ziel-Beleuchtungsstärke $E_T$ lx	Raumanteil für den Zielwert $F_{plane, \%}$	Mindestziel-Beleuchtungsstärke $E_{TM}$ lx	Raumanteil für den Mindestzielwert $F_{plane, \%}$	Anteil an Tageslichtstunden $F_{time, \%}$
Gering	300	50 %	100	95 %	50 %
Mittel	500	50 %	300	95 %	50 %
Hoch	750	50 %	500	95 %	50 %

ANMERKUNG Tabelle A.3 gibt den Ziel-Tageslichtquotienten ( $D_T$ ) und Mindestziel-Tageslichtquotienten ( $D_{TM}$ ) entsprechend der Ziel-Beleuchtungsstärke und der Mindestziel-Beleuchtungsstärke für die CEN-Hauptstädte an.

Abbildung 39 Empfehlungen für die Tageslichtversorgung durch Tageslichtöffnungen<sup>88</sup>

Gebäudetyp	Raum	Verminderte Beleuchtungsstärke, $E_m$ , an Arbeitsplätzen, lx	UGR	$R_a$	Anmerkungen
Bürogebäude	Einzelbüros	500	19	80	bei 0,8 m
	Bürolandschaften	500	19	80	bei 0,8 m
	Konferenzräume	500	19	80	bei 0,8 m

Abbildung 40 Beispiele für Auslegungsbeleuchtungsniveaus<sup>89</sup>

Weitere Grenzwerte zum Tageslicht werden in der TQ Bewertung<sup>90</sup> definiert. Dort erfolgt die Bewertung anhand des Tageslichtfaktors, welcher ab 2 % - gemessen, bzw. berechnet 2 Meter entfernt von der Fensterebene und 1 Meter entfernt von der Innenwand wird.

### Empfehlung für den Blendungsschutz

Die Tageslichtblendungswahrscheinlichkeit (DGP, en: Daylight Glare Probability) sollte für mehr als 5 % der Nutzungsdauer des Raums einen Wert von 0,45 nicht überschreiten. Die Abbildung 41 enthält Schwellenwerte für verschiedene Blendungsschutzstufen.

Empfehlungsstufe für den Blendungsschutz	$DGP_e < 5 \%$
Gering	0,45
Mittel	0,40
Hoch	0,35

Abbildung 41 Vorgeschlagene Schwellenwerte für den Blendungsschutz<sup>91</sup>

<sup>88</sup> ÖNorm EN 17037:2019, Tab. A1

<sup>89</sup> ÖNorm EN 12464-1:2011, Auszug aus Tab. D.1

<sup>90</sup> M. Bruck, S. Geissler, and R. Lechner, *TQ Leitfaden* (Wien: Österreichisches Ökologie-Institut, 2021).

<sup>91</sup> ÖNorm EN 17037:2019, Tab. A.7

### **6.3.7 Bewertung visueller Komfort durch Messung**

Die Messungen der Lichtqualität beruhen auf dem einfachen Ansatz<sup>92</sup>, nur die Beleuchtungsstärke zu messen. Dabei ist das in EN 12464-1:2002, Abschnitt 6, beschriebene Verifizierungsverfahren zu befolgen. In bestimmten Fällen können auch eher qualitative Aspekte (zum Beispiel UGR- und Ra-Werte und Beleuchtungsstärke von Leuchten) durch Anwendung des in EN 12464-1:2002, Abschnitt 6, beschriebenen Verfahrens bewertet werden. Die Messeinrichtung für die Bewertung der Beleuchtungsstärke muss den in der internationalen CIE-Publikation 69 angegebenen Anforderungen entsprechen. Es sind die in EN 12464-1:2002, Abschnitt 6 beschriebenen Verifizierungsverfahren anzuwenden. Die Messung sollte nach EN 13032<sup>93</sup> durchgeführt werden. Darüber hinaus ist bei der Beurteilung des visuellen Komforts Blendung und Außensichtbezug zu berücksichtigen.

---

<sup>92</sup> DIN EN 15251:2012, S. 23

<sup>93</sup> ÖNorm EN 13032-1:2012, S. 28

## 6.4 Auditiver Komfort

### 6.4.1 Beurteilungskriterien

Lärmbelastung im Wohnbereich stellt zunehmend ein relevantes Problem dar. Weiterführend wird Lärm als Kriterium zur Beurteilung des Innenraumkomforts in der EN 13779<sup>94</sup> und in der EN 15251 behandelt.

### 6.4.2 Lärm

Bei Lärm handelt es sich um eine subjektive, oftmals emotional getönte, Bewertung von Schallereignissen<sup>95</sup>. So wird unerwünschter Schall als Lärm bezeichnet [Schick, 1997] und wird von den Betroffenen als Belästigung empfunden. Neben psycho-physiologischen Effekten sind als Belästigung durch Schall vor allem Einbußen der kognitiven Leistungsfähigkeit zu sehen. Für die Bewertung der empfundenen Belästigung kann die ISO/TS 15666<sup>96</sup> herangezogen werden. Diese beinhaltet die Urteilsstufen »überhaupt nicht gestört oder belästigt« bis »äußerst gestört/belästigt«.

### 6.4.3 Nicht-akustische Faktoren

Belästigungsreaktionen können weiter auch durch nicht-akustische Faktoren wie Persönlichkeitseigenschaften, kulturelle und psychologische Faktoren (z. B. Lärmempfindlichkeit), wie auch durch situationsgebundene Faktoren beeinflusst werden<sup>97</sup>. Die kognitiven Einbußen können sowohl durch unmittelbare Reiz-Reaktions-Prozesse als auch durch den Einfluss von Belästigungsreaktionen erklärt werden.

### 6.4.4 Kommunikations- und Störgeräusche

In der VDI 2569<sup>98</sup> werden Empfehlungen an den Luft- und Trittschallschutz für drei Schallschutzklassen angegeben. Raumakustische Bedingungen innerhalb von Mehrfamilienwohnhäusern stellen ein sensibles Thema dar. Gegenseitige akustische Störung in Mehrfamilienwohnhäusern auch durch die besten technischen Maßnahmen lässt sich nicht vermeiden. Die wahrgenommenen akustischen Bedingungen in Mehrfamilienwohnhäusern hängen von vielen, auch nicht akustischen Einflussfaktoren ab. Aber selbst bei Beschränkung auf die objektiven akustischen Kriterien bleibt die Beschreibung und Bewertung der akustischen Bedingungen eine sehr komplexe Aufgabe.

---

<sup>94</sup> 13779 ÖNorm EN 13779:2008, S. 13

<sup>95</sup> Wagner et al., *Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Empfehlungen für Planung und Betrieb*. S. 122 (2015)

<sup>96</sup> ISO/TS 15666:2021, S. 38

<sup>97</sup> Vgl. M. Meis and K. Klink, "Schall- und Lärmwirkung" (2020), S.12

<sup>98</sup> VDI 2569:2019, S.52

### 6.4.5 Raumbedämpfung

Der akustische Komfort wird im Wesentlichen durch die Raumbedämpfung und die Lautstärke im Raum bestimmt. Grundsätzlich werden von Nutzer\*innen geringe Störschalldruckpegeln als behaglich empfunden.

### 6.4.6 Grenzwerte

In der VDI 2569 werden Empfehlungen für die Bewertung des zulässigen Störschalldruckpegels  $L_{NA,Bau}$ <sup>99</sup> nach Klassen angeführt. Diese können für die Bewertung der Messergebnisse in Kapitel 7 herangezogen werden. Die Messung des Störschalldruckpegels bauseitiger Geräusche  $L_{NA,Bau}$  kann unter anderem nach DIN 45645-2<sup>100</sup> erfolgen.

Die ÖNorm B 8115-2<sup>101</sup> beschreibt Planungsrichtwerte bzw. Beurteilungspegel, Kerngebiet, Tag, Abend, Nacht. Planungsbasispegel LPB in Abhängigkeit von der Nutzung im eigenen Raum können mit 25 dB am Tag und 15 dB in der Nacht angesetzt werden, wobei für die Empfindlichkeitsniveaus im Empfangsraum das Schutzziel „Schlaf“ im Wohngebäude gilt.

Der in der Praxis festzulegende Planungsbasispegel hängt stark von den individuellen Nutzer\*innenwünschen ab, z. B. Ruheanspruch im Raum, hohe Konzentration, geistige Tätigkeit. Das heißt, weniger die tatsächliche Größe des Raums oder die Anzahl der Personen, sondern der akustische Anspruch sind maßgebend. Als Planungswerte für den Innenlärmpegel für die Ermittlung des Schallschutzniveaus können die in Abbildung 42 dargestellten Werte für die Schalleistung  $L_{w,A}$  herangezogen werden, wobei die tatsächliche Schalleistung individuell sehr unterschiedlich ist.

Schalleistung pro Person	$L_{w,A}^a$
	dB
Flüstern	50
Leises Sprechen	55
Ruhige Unterhaltung	60
Normale Unterhaltung	65
Angeregte Unterhaltung	70
Laute Unterhaltung	75

Abbildung 42 Schalleistung pro Person<sup>102</sup>

### 6.4.7 Bewertung auditiver Komfort durch Messung

Für die Ermittlung des maßgeblichen Innenlärmpegels eignet sich unter anderem die messtechnische Ermittlung durch eine räumliche und zeitliche

<sup>99</sup> Kenngrößen zur Beschreibung der akustischen Bedingungen in Mehrpersonenbüros nach VDI 2569

<sup>100</sup> DIN 45645-2:2012, S. 14

<sup>101</sup> ÖNorm B 8115-2:2021, S. 6

<sup>102</sup> ÖNorm B 8115-2:2021, Tabelle CV.1

Mittelung des Innenpegels oder die Berechnung des Innenpegels aufgrund der Schalleistung der maßgeblichen Lärmquellen.

Bei frei be- und entlüfteten Gebäuden kann der Fall eintreten, dass die geforderte Menge an Außenluft aufgrund zu großen Außenlärms nicht durch Öffnen der Fenster zugeführt werden kann. Der äquivalente Schalldruckpegel ist (unter Berücksichtigung der Zeiten, in denen die Fenster geöffnet sind und der Raum dem Außenlärm ausgesetzt ist) zu verwenden, um die Lärmkategorie des Raums zu bewerten. Die Lärmkriterien sind in Kapitel 6.4 angegeben.

## 6.5 Raumlufthqualität

Grundsätzlich ist eine ausreichende Lüftung notwendig<sup>103</sup>, um einen Bautenschutz (Schimmelpilzvermeidung) durch die Einhaltung von Lüftungsmaßnahmen unter üblichen Nutzungsbedingungen und eine Bereitstellung von gesundheitserhaltender Atemluft zu gewährleisten. Auch die ÖNorm B 8110-5 verlangt einen hygienisch erforderlichen Luftwechsel<sup>104</sup>. Es sind also insbesondere Anforderungen der Hygiene zu berücksichtigen, wobei unterschieden werden muss zwischen Personen im Gebäude, Gebäude und Einrichtung sowie der Umgebung des Gebäudes als Schadstoffquellen. Für den hier zu betrachtenden Sommerfall spielt die Abfuhr von Feuchtelasten nur eine untergeordnete Rolle, da davon ausgegangen werden kann, dass die raumseitigen Wandoberflächen ausreichend warm sind und keine Schimmelbildung stattfinden wird. Bei der Bewertung der Raumlufthqualität kann damit die CO<sub>2</sub>-Konzentration oder die das Alter der Luft als Indikator für den Schadstoffgehalt der Luft herangezogen werden. Bei der hier betrachteten Fensterlüftung ist auch die durch Lüften resultierende Luftgeschwindigkeit relevant, weil sie Einfluss auf den thermischen Komfort hat.

Zu den nur durch den Menschen bewertbaren Kriterien<sup>105</sup> für die Luftqualität gehören Geruchsintensität bzw. Geruchseindruck, Lufttemperatur als auch durch die relative Luftfeuchte beeinträchtigt. Experimente zeigen, dass höhere Temperaturen und relative Luftfeuchten zu einer schlechteren Bewertung der Luftqualität führen. Die Luftqualität in Räumen wird durch die Abgabe chemischer Substanzen durch den Menschen, die eingesetzten Geräte und Einrichtungen sowie die verwendeten Baumaterialien beeinflusst.

### 6.5.1 Beurteilungskriterien

Anforderungen an die Raumlufthqualität<sup>106</sup> werden u.a. in der EN 1946-6 definiert. Grundsätzlich wird die Raumlufthqualität durch Personen unter Berücksichtigung der Aktivitäten und Gewohnheiten, durch die Ausstattung der Wohnung, die Wohnumgebung und weitere temporäre Effekte (z. B. Baufeuchte und Ausdünstungen in neu errichteten Gebäuden) sowie durch den Außenluftvolumenstrom und die Zuluftqualität beeinflusst. Charakteristische Größen für die Beurteilung der Raumlufthqualität sind:

- Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) (Emission vorwiegend durch Personen),

---

<sup>103</sup> DIN 1946-6:2019, S. 13

<sup>104</sup> Der hygienische erforderliche Mindest-Luftwechsel wird in Tabelle 6, ÖNorm B 8110-5, Tabelle 6 Luftwechselraten der Nutzungsprofile für Büronutzung mit 1,05 angeführt

<sup>105</sup> Beispiele nach 15251 für die mit geeigneten Messverfahren erfassbaren Größen der Raumlufthqualität

<sup>106</sup> DIN 1946-6:2019, S. 38

- Luftfeuchte (Beeinflussung durch Personen und Raumausstattung),
- flüchtige organische Komponenten (VOC) (Emission durch Personen und Raumausstattung),
- Gerüche,
- Außenluftvolumenstrom,
- Zuluft Qualität.<sup>107</sup>

### 6.5.2 Luftqualität

Personenbezogene Schadstoffe sind z. B. erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Raumluft, die aus dem Lebensprozess des Menschen resultieren. Schadstoffe aus dem Gebäude und der Einrichtung werden in der Regel vernachlässigt. Schadstoffe der Umgebung können aus Verkehr, Industrie, Verbrennungsprozessen und Feinstäuben usw.<sup>108</sup> resultieren. Weitere Angaben werden in der ÖNorm EN 13779 angeführt.

### 6.5.3 CO<sub>2</sub> Konzentration

Anforderungen an natürlich belüftete Gebäude in Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Konzentration definiert das BMLFUW<sup>109</sup>. Weitere sich damit beschäftigende Richtlinien sind die ÖNorm EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden — Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme, die DIN EN 15251 Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik sowie die VDI 6022 Raumlufttechnik, Raumluftqualität Beurteilung der Raumluftqualität<sup>110</sup>. Beurteilungswerte mit einer hygienischen Bewertung und Empfehlungen gibt Abbildung 43. Mindest- und Zielvorgaben an die CO<sub>2</sub>-Konzentration mit und ohne mechanischer Belüftung werden in Abbildung 44 zusammengefasst. Die Klassifizierung der Raumluftqualität hinsichtlich IDA Klassen zeigt nach ÖNorm EN 13779 zeigt Abbildung 45. Eine Vergleichende Übersicht gibt Abbildung 46.

---

<sup>107</sup> DIN 1946-6:2019, S. 20

<sup>108</sup> DIN 1946-6:2019, S. 13

<sup>109</sup> „BMLFUW“ steht für Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

<sup>110</sup> VDI 6022 Blatt 1:2011, S. 13

Beurteilungswert als CO <sub>2</sub> -Konzentration [ppm absolut]	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
< 1000	Hygienisch unbedenklich	Keine weiteren Maßnahmen
1000 ... 2000	Hygienisch auffällig	Lüftungsmaßnahme (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen). Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
> 2000	Hygienisch inakzeptabel	Belüftbarkeit des Raums prüfen; ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen

**Abbildung 43 Beurteilungswert der CO<sub>2</sub>-Konzentration**

Die erforderliche Luftqualität und das Klassifizierungsverfahren sind festzulegen. Die für die Erfüllung der festgelegten Anforderungen erforderlichen Luftvolumenströme müssen berechnet werden. Wurden keine Angaben gemacht, können als Standardwert die Außenluftvolumenströme je Person entsprechend der Raumluftkategorie IDA 2 angewendet werden.<sup>111</sup>

Mindest- und Zielvorgaben für dauernd von Menschen genutzte Innenräume	
natürlich belüftete Innenräume	mechanisch belüftete Innenräume
Zielbereich für die Innenraumluft < etwa 1.000 [ppm]	Zielbereich für die Innenraumluft < etwa 800 [ppm]
Mindestvorgabe 1-MWg < etwa 1.400 [ppm]	Mindestvorgabe 1-MWg < etwa 1.000 [ppm]
Mindestvorgabe Alle Einzelwerte im Beurteilungszeitraum: < etwa 1900 [ppm]	Mindestvorgabe Alle Einzelwerte im Beurteilungszeitraum: < etwa 1.400 [ppm]

1-MWg = maximaler gleitender Stundenmittelwert

**Abbildung 44 Anforderungen an natürlich belüftete Gebäude in Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Konzentration nach BMLFUW**

Kategorie	Beschreibung der Raumlufthausqualität	CO <sub>2</sub> -Konzentration über Außenluftwert <sup>1</sup> (ppm)	CO <sub>2</sub> -Konzentration absolut (bei 400 ppm in der Außenluft)
IDA 1	hoch	< 400	< 800
IDA 2	mittel	400 – 600	< 800 - 1000
IDA 3	mäßig	600 – 1000	< 1000 - 1400
IDA 4	niedrig	> 1000	> 1400

**Abbildung 45 Klassifizierung der Raumlufthausqualität nach ÖNorm EN 13779**

<sup>111</sup> ÖNorm EN 13779:2008, S. 15 ff

Tabelle 5.12: Vergleich der Richtwerte für die CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Raum

Norm oder Richtlinie	Wert [ppm]
ÖNORM EN 13779 Achtung: CO <sub>2</sub> - Konzentration über Außen- luft	IDA 1 – spezielle Raumluftqualität < 350 über AUL*
	IDA 2 – hohe Raumluftqualität 400–600 über AUL*
	IDA 3 – mittlere Raumluftqualität 600–1.000 über AUL*
	IDA 4 – niedrige Raumluftqualität >1.000 über AUL*
Pettenkofer	1.000 (absolut)
ASHARE	1.000 (absolut)
DIN 1946-2:1994	1.000 (absolut)
UBA Berlin 2003	1.500 (absolut)
ÖISS 2007	1.500 (absolut)
BMLFUW 2006 für mech. belüftete Räume	Mindestvorgabe: < 1.400 (absolut)
	Mindestvorgabe < 1.000 (Gleitender Mittelwert, absolut)
	Zielbereich < 800 (absolut)

\*AUL Außenluftkonzentration Land: 350 ppm, Stadt: 400 ppm, Stadtzentren 450 ppm

Abbildung 46 Tabelle 5.12 Vergleich der Richtwerte für die CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Raum.

### 6.5.4 Luftgeschwindigkeit

Angaben zur Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich werden u.a. in der EN 13779 angeführt. Die wichtigsten Auslegungsbedingungen in Bezug auf das thermische Raumklima betreffen die Bekleidung und die Aktivität der sich im Raum aufhaltenden Personen. Thermische Behaglichkeit bei bestimmter Bekleidung und bestimmter Aktivität wird deshalb hauptsächlich von der operativen Temperatur und der Luftgeschwindigkeit beeinflusst.<sup>112</sup> Weitere Einflüsse, wie der vertikale Lufttemperaturgradient, warme und kalte Fußböden sowie Strahlungsasymmetrie sind zu beachten. Die Auslegungsbedingungen für Bekleidung und Aktivitäten in Wohngebäuden sind in EN 15251 enthalten.

Hohe Luftgeschwindigkeiten können insbesondere in Verbindung mit niedrigen Lufttemperaturen ein lokales Zugluftempfinden auslösen. Die thermische Behaglichkeit der Nutzer\*in kann daher bei zu hohen Werten für die Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone eines Raums eingeschränkt sein, obwohl die operative Raumtemperatur gemäß den Anforderungen dieses Anhangs eingestellt ist.<sup>113</sup>

Das Zugluftisiko weist nicht nur eine Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit und der Lufttemperatur auf, sondern wird maßgeblich auch noch vom Turbulenzgrad der Luftströmung beeinflusst. Daher sind die Maximalwerte für die mittlere Luftgeschwindigkeit bei verschiedenen Turbulenzgraden angegeben. Die Werte beziehen sich auf die Messvorschriften der DIN EN 13182<sup>114</sup>.

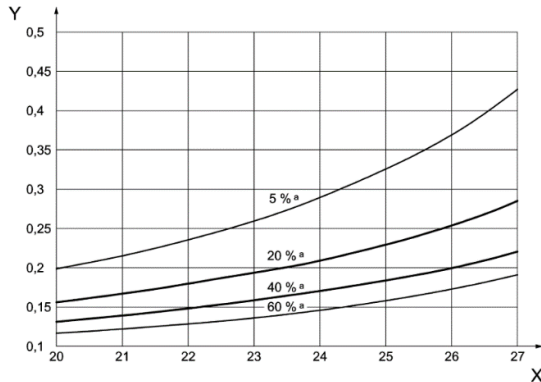
Abweichend von DIN EN ISO 7730 wird das Zugluftisiko auf 15 % begrenzt. Die maximalen Werte für die mittlere Luftgeschwindigkeit können mit der lokalen

<sup>112</sup> ÖNorm EN 13779:2008, S. 28

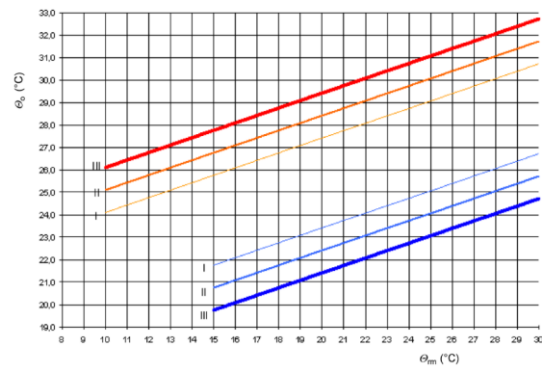
<sup>113</sup> DIN EN 15251:2012, S. 6

<sup>114</sup> ÖNorm EN 13182:2002, S. 18

Lufttemperatur  $t$ , der lokalen mittleren Luftgeschwindigkeit  $v_m$  und dem lokalen Turbulenzgrad  $T_u$ <sup>115</sup> berechnet werden.



**Abbildung 47 X, Lufttemperatur in °C, Y Luftgeschwindigkeit in m/s, a Turbulenzgrad, DR=Zugluftrisiko, Bild NA.2 Zulässige mittlere Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone (DR = 15 %)**



**Legende**  
 $\theta_{m}$  gleitender Mittelwert der Außentemperatur, in °C  
 $\theta_o$  operative Temperatur, in °C

**Abbildung 48 Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur<sup>116</sup>**

Die in Abbildung 48 dargestellten und der in Kapitel 6.2 herangezogenen Temperaturgrenzen gelten nur, wenn die thermischen Bedingungen in den Räumen in erster Linie von den Nutzer\*innen durch Öffnen und Schließen der Fenster geregelt werden. Verschiedene Feldversuche haben gezeigt, dass die thermische Reaktion der Nutzer\*in in derartigen Räumen zum Teil vom Außenklima abhängt und sich von der thermischen Reaktion in Gebäuden mit Lüftungsanlagen unterscheidet, was vor allem auf Unterschiede im thermischen Empfinden, der Verfügbarkeit von Regeleinrichtungen und einer Verschiebung der Erwartungen der Nutzer\*in zurückzuführen ist.<sup>117</sup> Es müssen die betreffenden Räume über Fenster verfügen, die sich zur Außenluft öffnen lassen und von den Nutzer\*innen leicht geöffnet und angepasst werden können.<sup>118</sup>

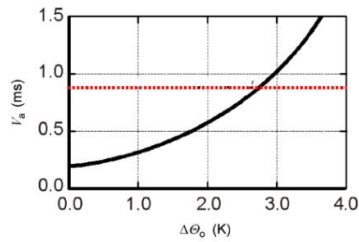
Bei Behaglichkeitsbedingungen im Sommer (operative Innentemperatur > 25 ° C) kann eine erhöhte Luftgeschwindigkeit genutzt werden, um erhöhte Lufttemperaturen auszugleichen. Bei Verwendung von Ventilatoren (die unmittelbar durch die Nutzer\*innen eingestellt werden können) können die in EN 7730, Bild A.1 angegebenen oberen Grenzwerte um einige Grad erhöht werden. Die genaue Temperaturkorrektur hängt von der vom Ventilator erzeugten Luftgeschwindigkeit ab, die aus Abbildung 49 entnommen werden kann.

<sup>115</sup> DIN EN ISO 7730:2006, S. 19 ff

<sup>116</sup> DIN EN ISO 7730:2006, Bild A.1.

<sup>117</sup> DIN EN 15251:2012, S. 26

<sup>118</sup> C. Ipser et al., "Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung" (2015), S. 83



**Legende**  
 $\Delta\theta_o$  Anstieg der operativen Temperatur, in K  
 $v_a$  die Luftgeschwindigkeit, in m/s

**Abbildung 49 Bild A.2 Für den Ausgleich erhöhter Temperaturen erforderliche Luftgeschwindigkeit EN ISO 7730<sup>119</sup>**

	Zugluft		
	DR (Zugluft-rate) [%]	Maximale Luftgeschwindigkeit <sup>a</sup>	
		Winter [m/s]	Sommer [m/s]
Kategorie I	10	0,10	0,12 <sup>c</sup>
Kategorie II	20	0,16	0,19 <sup>c</sup>
Kategorie III	30	0,21	0,24 <sup>c</sup>

**Abbildung 50 Tabelle B.3 – Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeit, Tabelle B.3 in 16798<sup>120</sup>**

Die Luftgeschwindigkeit erhöht sich um den Wert, der erforderlich ist, um die Gesamtwärmeübertragung durch die Haut aufrechtzuerhalten. Für die Akzeptanz der erhöhten Luftgeschwindigkeit ist es erforderlich, dass die Nutzer\*in das Gerät, das die lokale Luftgeschwindigkeit erzeugt, regeln kann<sup>121</sup>.

### 6.5.5 Grenzwerte

Für relevante Raumluftparameter werden in der VDI 6022 Beurteilungswerte entsprechend der gewünschten Raumlufqualität angegeben und Standard-Messverfahren benannt.

Parameter	Kommentare	Beurteilungswert nach VDI 6022 Blatt 3
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )		RAL 1: ≤ 1000 ppm RAL 2: ≤ 1500 ppm RAL 3: ≤ 2000 ppm RAL 4: > 2000 ppm
Luftfeuchte (bei 20 °C)	Die Einhaltung der Luftfeuchte ist in der Praxis stark vom Nutzerverhalten abhängig. Zu geringe Luftwechsel können zu hohen Luftfeuchten führen, niedrige Außentemperaturen im Winter bringen geringe Luftfeuchten mit sich.	RAL 1: (30...65) % r.F. RAL 2: (30...65) % r.F. RAL 3: (30...65) % r.F. RAL 4: keine Forderung
Lufttemperatur	Aus Gründen der Hygiene ist die Taupunkttemperatur als Mindestmaß einzuhalten.	für RAL 1 bis RAL 4: Taupunkttemperatur (mind. 2 °C)  im Übrigen nach thermischer Behaglichkeit, z.B. nach EN 15251

**Abbildung 51 Tabelle 8, Bewertungswerte Stufe 1, VDI 6022<sup>122</sup>**

<sup>119</sup> DIN EN ISO 7730:2006, Abb. A.2  
<sup>120</sup> ÖNorm EN 16798-1:2019, Tab. B.3  
<sup>121</sup> DIN EN 15251:2012, S. 28  
<sup>122</sup> VDI 6022 Blatt 1:2018. Tab. 8

In der Beurteilungsstufe 1 sind wichtige Kriterien der Raumluftqualität, wie Feinstaub und Radon, nicht enthalten, da deren Messung für unbegründete Untersuchung im Standardfall als zu aufwendig einzuschätzen ist; siehe dazu Beurteilungsstufe 2.

Beurteilungsstufe 2 Auch bei Einhaltung der Beurteilungswerte nach Tabelle 8 kann es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen. Ursache dafür kann das Auftreten der in Tabelle 9, Tabelle 10.1 und Tabelle 10.2 der VDI 6022 genannten Stoffe, in höheren Konzentrationen als den genannten Beurteilungswerten, sein. Bei Überschreitung der genannten Werte ist deshalb ihre Ursache zu ermitteln, die Ursache zu beseitigen oder die Last entsprechend zu reduzieren, gegebenenfalls ist Raumlufttechnik erforderlich oder muss vorhandene Raumlufttechnik angepasst werden. Nach durchgeführten Maßnahmen ist eine erneute Prüfung in der Beurteilungskategorie durchzuführen.<sup>123</sup> Es wird empfohlen, die in Tabelle 9, Tabelle 10.1 und Tabelle 10.2 der VDI 6022 genannten Werten einzuhalten, wenn ein konkreter Verdacht besteht, Beschwerden der Nutzer\*innen vorliegen oder wenn Auftragnehmer\*innen eine entsprechende Verbesserung des Beurteilungswerts zugesagt haben.<sup>124</sup>

In der ÖNorm EN 13779 werden folgende Kriterien zur Raumluft definiert: - Temperatur: Die Temperatur der Raumluft sollte zwischen 19 und 24 Grad Celsius liegen. - Luftfeuchtigkeit: Die Luftfeuchtigkeit sollte zwischen 40 und 60 % liegen. - CO<sub>2</sub>-Konzentration: Die CO<sub>2</sub>-Konzentration sollte unter 1000 ppm liegen. - Partikelbelastung: Die Partikelemissionen in der Raumluft sollten unter 5 mg/m<sup>3</sup> liegen. - Geruch: Es sollten keine unangenehmen Gerüche in der Raumluft vorhanden sein. - Schadstoffe: Schadstoffe wie Asbest, Formaldehyd, Radon und Schimmelpilze sollten nicht in der Raumluft vorhanden sein.

### **6.5.6 Bewertung der Raumluftqualität durch Messung**

Die Luftqualität<sup>125</sup> eines Gebäudes kann in Gebäuden, in denen Personen die Hauptverunreinigungsquelle darstellen durch Messung der auftretenden CO<sub>2</sub>-Konzentration bewertet werden. Die Messungen der Raumluftqualität beruhen auf dem indirekten Ansatz der Messung der Lüftungsraten. Die Messung des Gehalts an bestimmten Verunreinigungen oder Schadstoffen [z. B. an Formaldehyd, anderen flüchtigen organischen Verbindungen, Feinstaub (PM10 oder PM2,5)] sollte nur dann erfolgen, wenn bestimmte Beschwerden (z. B. Geruch, Neubaukrankheitssymptome) andauern und die Lüftungsmessungen zeigen, dass die Anforderungen an die Frischluftzufuhr erfüllt werden. Aus der

---

<sup>123</sup> VDI 6022 Blatt 3:2011, S. 29

<sup>124</sup> VDI 6022 Blatt 3:2011, S. 29

<sup>125</sup> DIN EN 15251:2012, S. 7

Messung von CO<sub>2</sub> in Gebäuden, in denen Personen die Hauptverschmutzungsquellen sind, können die Lüftungsraten (Werte je Person oder je m<sup>2</sup>) aus den Ergebnissen der CO<sub>2</sub>-Messungen abgeleitet werden. Die Messungen müssen an den Orten, von denen bekannt ist, dass die Nutzer den größten Teil ihrer Zeit dort verbringen, und vorzugsweise in Kopfhöhe unter den typischen Bedingungen hoher Belastung durchgeführt werden.

## 6.6 Zusammenstellung der Bewertungskriterien

### 6.6.1 Zusammenstellung der Komfortbewertung

Die Bewertung des Innenraumklimas umfasst thermische Kriterien für den Sommer, Luftqualitäts- und Lüftungskriterien, visuelle Kriterien und Kriterien der Akustik. Die Klassifizierung des Innenraumklimas kann auf der Angabe der Auslegungskriterien für jeden Parameter oder auf Berechnungen oder Messungen der entsprechenden Parameter wie Raumtemperatur, Lüftungsraten, Luftfeuchte, CO<sub>2</sub>-Konzentration über einen bestimmten Zeitraum beruhen.<sup>126</sup> Für die Gesamtbewertung wird empfohlen, dass die thermischen Bedingungen und die Raumluftqualität getrennt voneinander angegeben werden. Die Angabe kann als prozentualer Anteil der Zeit, in der das Innenraumklima (Temperaturen, Lüftungsraten oder CO<sub>2</sub>-Konzentrationen) innerhalb der verschiedenen Kategorien (I, II, III und IV) liegen.<sup>127</sup> Eine Zusammenstellung der Bewertungsergebnisse aus Kapitel 6 zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3 Komfortbewertung - Auszug**

<b>Thermischer Komfort</b> nach Kapitel 6.2 Maximale operative Temperatur, Empfundene Temperatur über dem gleitenden Mittelwert der Außen-lufttemperatur, Komfortklassen	<b>Visueller Komfort</b> nach Kapitel 6.3 Beleuchtungsstärke, Sichtkontakt nach Außen	<b>Auditiver Komfort</b> nach Kapitel 6.4 Lärmpegel	<b>Raumluftqualität</b> nach Kapitel 6.5 CO <sub>2</sub> Konzentration																										
<table border="1"> <thead> <tr><th>Tempmax</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>niedrig</td></tr> <tr><td>erhöht</td></tr> <tr><td>stark erhöht</td></tr> <tr><td>hoch</td></tr> <tr><td>sehr hoch</td></tr> <tr><td>extrem hoch</td></tr> </tbody> </table>	Tempmax	niedrig	erhöht	stark erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch	<table border="1"> <thead> <tr><th>Tageslicht</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>sehr hoch</td></tr> <tr><td>hoch</td></tr> <tr><td>mittel</td></tr> <tr><td>gering</td></tr> </tbody> </table>	Tageslicht	sehr hoch	hoch	mittel	gering	<table border="1"> <thead> <tr><th>Schallbelastung</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>gering</td></tr> <tr><td>leicht erhöht</td></tr> <tr><td>erhöht</td></tr> <tr><td>hoch</td></tr> <tr><td>sehr hoch</td></tr> <tr><td>extrem hoch</td></tr> </tbody> </table>	Schallbelastung	gering	leicht erhöht	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch	<table border="1"> <thead> <tr><th>CO2</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>sehr hoch</td></tr> <tr><td>hoch</td></tr> <tr><td>mittel</td></tr> <tr><td>mäßig</td></tr> <tr><td>niedrig</td></tr> <tr><td>sehr niedrig</td></tr> </tbody> </table>	CO2	sehr hoch	hoch	mittel	mäßig	niedrig	sehr niedrig
Tempmax																													
niedrig																													
erhöht																													
stark erhöht																													
hoch																													
sehr hoch																													
extrem hoch																													
Tageslicht																													
sehr hoch																													
hoch																													
mittel																													
gering																													
Schallbelastung																													
gering																													
leicht erhöht																													
erhöht																													
hoch																													
sehr hoch																													
extrem hoch																													
CO2																													
sehr hoch																													
hoch																													
mittel																													
mäßig																													
niedrig																													
sehr niedrig																													
< 27,5 °C	> 750 Lux	< 35 dB	< 500 ppm																										
27,5 bis < 30,0 °C	500-750 Lux	35 bis < 40 dB	500 bis 1000 ppm																										
30,0 bis < 32,5 °C	300 bis 500 Lux	40 bis < 45 dB	1000 bis 1500 ppm																										
32,5 bis < 35,0 °C	100 bis 300 Lux	45 bis < 50 dB	1500 bis 2000 ppm																										
35,0 bis < 37,5 °C		50 bis < 55 dB	2000 bis 2500 ppm																										
> 37,5 °C		> 55 dB	> 2500 ppm																										

### 6.6.2 Beispiele für die Klassifizierung und Zertifizierung des Raumklimas<sup>128</sup>

Das Raumklima in Bestandsgebäuden kann grundsätzlich anhand folgender Aspekte klassifiziert werden:

- ganzjährige Computersimulationen des Raumklimas
- Langzeitmessungen ausgewählter Parameter für das Raumklima
- subjektive Einschätzungen der Nutzer\*in.

<sup>126</sup> Vgl. DIN EN 15251:2012, S. 46

<sup>127</sup> DIN EN 15251:2012, S. 4

<sup>128</sup> DIN EN 15251:2012, S. 45

### 6.6.3 Angewendete Auslegungskriterien

Die Klassifizierung erfolgt durch Erstellen einer Tabelle mit den bei den Berechnungen angewendeten Kriterien, wie in dem im Beispiel in Abbildung 52 dargestellt.

Kriterien des Raumklimas	Kategorie des betreffenden Gebäudes	Auslegungskriterien
Thermische Bedingungen im Winter	II	20 °C – 24 °C
Thermische Bedingungen im Sommer	III	22 °C – 27 °C
Luftqualitätsindikator, CO <sub>2</sub>	II	500 ppm höher als Außenluft
Lüftungsrate	II	1 l/sm <sup>2</sup>
Beleuchtung		$E_m > 500 \text{ lx}$ ; UGR < 19; 80 < $R_a$
Akustik		Lärm, innen < 35 dB(A) Lärm, außen < 55 dB(A)

Abbildung 52 Tabelle I.1 Klassifizierung auf der Grundlage von Kriterien der Energieberechnungen<sup>129</sup>

### 6.6.4 Bewertung des Raumklimas im Jahresverlauf

Durch dynamische Computersimulationen können für repräsentative Räume in einem Gebäude die Raumtemperaturen, Lüftungsraten und/oder CO<sub>2</sub>-Konzentrationen berechnet werden. Anschließend wird berechnet, wie die Temperaturen über die 4 Kategorien verteilt sind.<sup>130</sup> Ein Beispiel dafür zeigt Abbildung 53.

Qualität des Raumklimas in % der Zeit in vier Kategorien				
Prozentsatz	5	7	68	20
Thermisches Raumklima	IV	III	II	I
Prozentsatz	7	7	76	10
Raumluftqualität	IV	III	II	I

Abbildung 53 Beispiel für Klassifizierung des thermischen Raumklimas und der Raumluftqualität/Lüftung. Die Verteilung über die verschiedenen Kategorien wird nach Grundfläche der verschiedenen Räume im Gebäude gewichtet<sup>131</sup>

Die Bewertung erfolgt nach folgenden ausgewählten Kriterien (Tabelle 3), welche sowohl in der Analyse der Berechnungsergebnisse der Gebäudesimulation wie auch bei messtechnischer Begleitung zur Anwendung kommen.

<sup>129</sup> DIN EN 15251:2012, Tab. I.1

<sup>130</sup> DIN EN 15251:2012, S. 44 ff

<sup>131</sup> DIN EN 15251:2012, S.44, Beispieldarstellung Klassifizierung



## 7 Lüftung- und Verschattung

### 7.1 Allgemein

#### 7.1.1 Lüftungsraten

Die Lüftungsraten<sup>132</sup> für frei be- und entlüftete Gebäude<sup>133</sup> werden unter Zugrundelegung der Baukonstruktion, des Standortes und der Witterungsbedingungen berechnet. Die Mindestlüftungsrate ist bei der Auslegung festzulegen und wird während der Belegungszeit verwendet. Für die Zeiten, in denen das Gebäude nicht genutzt wird, sollte eine Mindestlüftung bereitgestellt werden.<sup>134</sup>

Aufenthaltsräume müssen durch unmittelbar ins Freie führende Fenster ausreichend gelüftet werden können<sup>135</sup>. Aufenthaltsräume sind mit einem solchen Luftwechsel zu belüften, dass unzulässig hohe Schadstoffkonzentrationen, die die Gesundheit der Benutzer\*innen beeinträchtigen ausgeschlossen werden können. Empfohlene Auslegungslüftungsdaten für Lüftungsdaten von Wohngebäude<sup>136</sup>.

Für die Raumluftqualität existiert kein gemeinsamer Standardindex. Die Raumluftqualität wird daher als das erforderliche Niveau der Lüftung oder CO<sub>2</sub>-Konzentration angegeben.<sup>137</sup> Die Raumluftqualität wird durch Emissionen von Personen und deren Aktivitäten wie biologische Ausdünstungen, von Gebäuden und Mobiliar beeinflusst.<sup>138</sup> Die erforderliche Lüftung beruht auf Gesundheits- und Behaglichkeitskriterien. In den meisten Fällen werden die Gesundheitskriterien durch die für die Behaglichkeit erforderliche Lüftung ebenfalls erfüllt. Gesundheitliche Auswirkungen können auf bestimmte Emissionskomponenten zurückzuführen sein. Bei Verringerung der Konzentration einer Quelle wird auch die Konzentration anderer Quellen verringert. Behaglichkeit hängt dabei stark mit der wahrgenommenen Luftqualität (Geruch, Reizung) zusammen<sup>139</sup>.

Die Berechnung der erforderlichen Lüftung setzt sich aus den Komponenten „Personen“ und der erforderlichen Lüftung für Gebäudekomponenten zusammen. Die erforderliche Lüftungsrate kann dabei je Person oder je

---

<sup>132</sup> ÖNorm EN 15242:2009, S. 12

<sup>133</sup> Die Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen wird in DIN 1946-6 Raumlufttechnik ausgeführt.

<sup>134</sup> DIN EN 15251:2012, S. 17 ff

<sup>135</sup> OIB-Richtlinie 3:2019, S. 8

<sup>136</sup> Vgl. DIN EN 15251:2012, S. 14

<sup>137</sup> DIN EN 15251:2012, S. 30

<sup>138</sup> Vgl. DIN EN 15251:2012, S. 30

<sup>139</sup> Vgl. DIN EN 15251:2012, S. 30

Quadratmeter Grundfläche angesetzt werden. Den zu erwartenden Anteil Unzufriedener und die damit verbundenen erforderlichen Lüftungsraten zeigt Abbildung 54.

Kategorie	Erwarteter Prozentsatz Unzufriedener	Luftstrom je Person l/s/pers
I	15	10
II	20	7
III	30	
IV	> 30	< 4

**Abbildung 54 Grundlegende erforderliche Lüftungsraten für die Abschwächung von Emissionen von Personen<sup>140</sup>**

Die Lüftungsraten ( $q_{0i}$ ) für die Gebäudeemissionen sind:

	Sehr schadstoffarmes Gebäude	Schadstoffarmes Gebäude	Nicht schadstoffarmes Gebäude
Kategorie I:	0,5 l/s, m <sup>2</sup>	1,0 l/s, m <sup>2</sup>	2,0 l/s, m <sup>2</sup>
Kategorie II:	0,35 l/s, m <sup>2</sup>	0,7 l/s, m <sup>2</sup>	1,4 l/s, m <sup>2</sup>
Kategorie III:	0,3 l/s, m <sup>2</sup>	0,4 l/s, m <sup>2</sup>	0,8 l/s, m <sup>2</sup>

Die Gesamtlüftungsrate für einen Raum wird anhand der folgenden Formel berechnet:

$$q_{\text{Ges}} = n \cdot q_p + A \cdot q_0 \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

$q_{\text{Ges}}$  die Gesamtlüftungsrate des Raums, in l/s;

$n$  der Auslegungswert für die Anzahl der Personen im Raum, -;

$q_p$  die Lüftungsrate für die Belegung bzw. Nutzung je Person, l/s, pers;

$A$  die Grundfläche des Raums, m<sup>2</sup>;

$q_0$  die auf die Gebäudeemissionen bezogene Lüftungsrate, l/s, m<sup>2</sup>.

**Abbildung 55 Lüftungsraten in Abhängigkeit von Gebäudeschadstoffemissionsklassen und Luftqualitätskategorien<sup>141</sup>**

Beispiele für auf diesen Werten beruhende Gesamtlüftungsraten sind unter Verwendung der in angegebenen Standardbelegungsdichten nach Gleichung (B.1) Abbildung 55 zu berechnen. Die in der Tabelle angegebenen Werte beruhen auf vollständiger Durchmischung (Konzentration der Verunreinigungen und Schadstoffe) im Raum.<sup>142</sup> Ein Gebäude gilt als schadstoffarm oder sehr schadstoffarm, wenn der größere Teil der für die abschließende Behandlung der Innenwände, Decken und Fußböden verwendeten Baustoffe und Materialien die nationalen oder internationalen Kriterien für schadstoffarme oder sehr schadstoffarme Baustoffe und Materialien erfüllt.<sup>143</sup>

Kategorie	Luftstrom je Person l/s/pers	Luftstrom für Verunreinigungen durch Gebäudeemissionen (l/s/m <sup>2</sup> )		
		Sehr schadstoffarme Gebäude	Schadstoffarme Gebäude	Nicht schadstoffarme Gebäude
I	10	0,5	1	2
II	7	0,35	0,7	1,4
III	4	0,2	0,4	0,8

**Abbildung 56 Beispiele für empfohlene Lüftungsraten für drei Kategorien der Verunreinigung durch das Gebäude selbst. Die Raten sind je Person oder je m<sup>2</sup> Grundfläche angegeben, Tabelle B.3<sup>144</sup>**

<sup>140</sup> DIN EN 15251:2012, S. 30, Tab. B.1

<sup>141</sup> DIN EN 15251:2012, S. 31

<sup>142</sup> Vgl. DIN EN 15251:2012, S. 31

<sup>143</sup> DIN EN 15251:2012, S. 31

<sup>144</sup> DIN EN 15251:2012, S. 33, Tab. B.3

Kategorie	Entsprechende CO <sub>2</sub> -Konzentration oberhalb der Außenluftkonzentration für Energieberechnungen; in PPM
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

**Abbildung 57 Beispiele für empfohlene CO<sub>2</sub>-Konzentrationen oberhalb der Konzentration in der Außenluft für Energieberechnungen und Bedarfsregelung, Tabelle B.4<sup>145</sup>**

Bei den Werten je Person wird angenommen, dass die Nutzer\*in die einzige Verunreinigungsquelle sind. Bei den Werten je Grundfläche wird nur von der Verunreinigung durch Baustoffemissionen ausgegangen. Die Lüftung im Gebäude ist unter Berücksichtigung aller vorhandenen Verunreinigungsquellen auszulegen<sup>146</sup>.

<sup>145</sup> DIN EN 15251:2012, S. 33, Tab. B.4

<sup>146</sup> DIN EN 15251:2012, S. 32 f

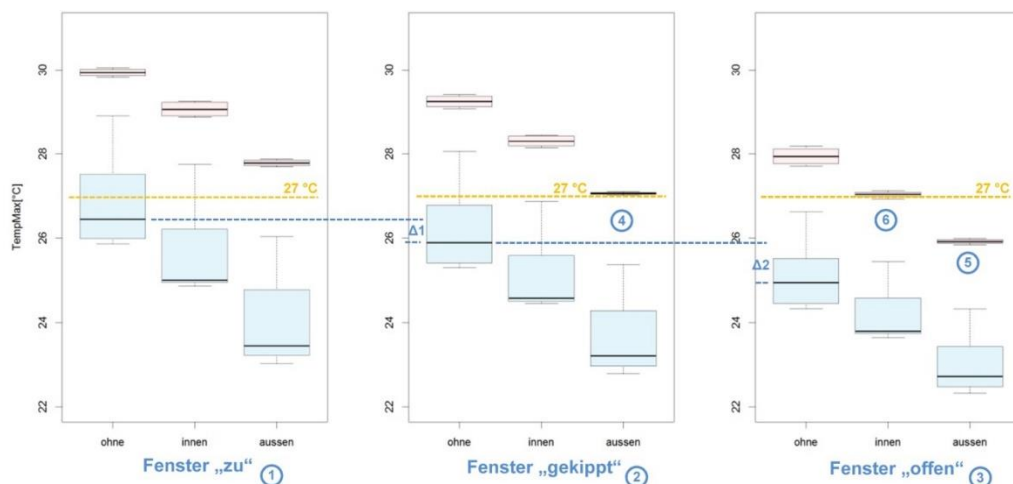
### 7.1.2 Lüftung

Die Mindestlüftungsrate muss auf der Grundlage des Gebäudetyps und der Verunreinigungslast der Räume festgelegt werden. Sind keine nationalen Anforderungen vorhanden, wird ein Mindestwert von 0,1 l/sm<sup>2</sup> bis 0,2 l/sm<sup>2</sup> empfohlen.<sup>147</sup>

### 7.1.3 Nachtlüftung

Die Raumlüftung, insbesondere die Nachtlüftung stellt ein wirksames Mittel zur Vermeidung der Raumüberwärmung dar. Auf Grund der Situierung im Gebäude – beispielsweise bei straßenseitiger Lage im Erdgeschoß – oder auf Grund anderer Sicherheitsaspekte – wie Schlagregenschutz –, ist eine Nachtlüftung mit vollständig geöffnetem Fensterflügel, welche die wirksamste Lüftungsmaßnahme zur Wärmeabfuhr verspricht, aber nicht immer möglich. Der Einfluss der Art der Nachtlüftung (Fenster „zu“, „gekippt“, „offen“) auf die maximal empfundene Temperatur in Abhängigkeit der Verschattung („ohne“, „innen“, „außen“) wird exemplarisch in Abbildung 58 anhand des Modellgebäudes Mehrfamilienwohnhaus „MFH“ gezeigt<sup>148</sup>.

Die Nachtlüftung mit gekippten Fenstern (2) führt gegenüber der Variante Fenster „zu“ (1), bei der ein Lüften in der Früh und am Abend berücksichtigt wird, zu einer Reduktion der maximal empfundenen Temperatur von 0,5 °C ( $\Delta 1$ ). Die Nachtlüftung mit geöffneten Fenstern (3) bringt eine weitere Reduktion der maximal empfundenen Temperatur um 1,0 °C ( $\Delta 2$ ). Die Grenztemperatur von 27 °C wird bei Modellraum „SW02“ bei gekippten Fenstern mit außen liegender Verschattung (4) sowie bei geöffneten Fenstern mit außen (5) und innen liegender Verschattung (6) eingehalten.



<sup>147</sup> DIN EN 15251:2012, S. 35

<sup>148</sup> Steiner, T. "Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen." (2020), S. 31 ff

**Abbildung 58 Einfluss der Nachtlüftung auf das Maximum der empfundenen Temperatur in Abhängigkeit der Lüftung am Standort Wien, grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster), jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „außen“. Innendämmsysteme „ID00“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten, insgesamt Ergebnis von 1440 Varianten dargestellt).<sup>149</sup>**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Einfluss der Nachtlüftung auf die maximal empfundene Temperatur hoch ist. Die Nachtlüftung mit gekippten Fenstern führt gegenüber der Variante „zu“, bei der aber auch ein Lüften in der Früh und am Abend berücksichtigt wird, zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 0,5 °C. Die Nachtlüftung mit geöffneten Fenstern bringt gegenüber gekippten Fenstern eine weitere Reduktion der maximal empfundenen Temperatur um 1,0 °C. Die Einhaltung der Grenztemperatur von 27 °C kann sowohl über gekippte Fenster mit außen liegender Verschattung als auch über geöffnete Fenster mit außen oder innen liegender Verschattung realisiert werden.

### 7.1.4 Verschattung

Verschattung stellt ein wirksames Mittel zur Vermeidung der Raumüberwärmung durch Sonneneinstrahlung dar<sup>150</sup>. Auf Grund höherer Anschaffungs-, Reinigungs- und Wartungskosten wird eine außen liegende Verschattung – welche die wirksamste Verschattungsmaßnahme zur Reduktion des Wärmeeintrags durch Sonneneinstrahlung verspricht – aber nicht immer ausgeführt. Neben diesen wirtschaftlichen Beweggründen – die über eine Lebenszyklusbetrachtung zum Teil obsolet werden – können technische, rechtliche oder architektonische Aspekte dazu führen, dass anstelle eines außen liegenden Sonnenschutzes ein raumseitiger, also innenliegender weniger effektiver oder gar kein Sonnenschutz zur Anwendung kommt.<sup>151</sup> Der Einfluss der Verschattung („ohne“, „innen“, „außen“) auf die maximal empfundene Temperatur wird deshalb untersucht und die Ergebnisse exemplarisch anhand des Modellgebäudes „MFH“ für den Standort Wien in Abbildung 59 gezeigt. Um die Auswirkung bei unterschiedlichen Verglasungsanteilen zu zeigen, werden die Modellräume „SW02“ (1 Fenster) und „SW03“ (2 Fenster) jeweils separat dargestellt.

Die Art der Nachtlüftung „zu“, „gekippt“ und „offen“, die Geschosse „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ – welche sich auf Grund der gründerzeitlichen Bauweise in Konstruktion und Geometrie unterscheiden –, sowie die

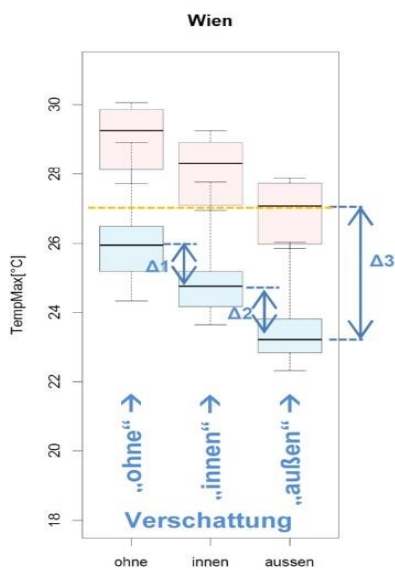
---

<sup>149</sup> Steiner, T. *„Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen.“* (2020), S. 32, Abb. 8

<sup>150</sup> Ipser et al., *„Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung“* (2015), S. 40

<sup>151</sup> Ipser et al., *„Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung“* (2015), S. 40

Fenstervarianten „alt“ (Bestandsfenster) und „neu“ (bzw. thermisch verbessert) werden dabei zusammengefasst dargestellt. Insgesamt enthält Abbildung 59 damit 1440 Varianten wobei auf jede „Box“ 80 Varianten entfallen. Ohne Verschattung ergeben sich erwartungsgemäß die höchsten Temperaturen. Die niedrigsten Temperaturen stellen sich bei außen liegender Verschattung ein, wobei sich in Wien die höchsten Temperaturniveaus ergeben, gefolgt von Klagenfurt und Innsbruck. Eine innen liegende Verschattung führt gegenüber der nicht verschatteten Variante zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 1,2 °C ( $\Delta 1$ ). Eine außen liegende Verschattung bringt eine weitere Reduktion um 1,5 °C ( $\Delta 2$ ).



**Abbildung 59 Einfluss der Verschattung auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien, in grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), in schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster) jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „ausser“. Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten).<sup>152</sup>**

Ohne Verschattung ergeben sich – auf Grund der hohen solaren Einträge – erwartungsgemäß die höchsten Temperaturen. Die niedrigsten Temperaturen stellen sich bei außen liegender Verschattung ein. Eine innen liegende Verschattung führt gegenüber der nicht verschatteten Variante zu einer Reduktion der maximalen Temperatur von 1,2 °C. Eine außen liegende Verschattung bringt gegenüber der nicht verschatteten Variante eine Reduktion von 2,7 °C (bzw. gegenüber der innen liegenden Verschattung eine weitere Reduktion um 1,5 °C). Der Einfluss der solaren Einträge über die Fenster und der Raumgeometrie nimmt mit abnehmenden Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur ab. Erläuterung: Die Differenz der Temperaturniveaus zwischen Modellraum „SW02“ mit einem Fenster (schwarz-blau) und

<sup>152</sup> Steiner, T. *„Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen.“* (2020), S. 33 ff

Modellraum „SW03“ mit 2 Fenstern (grau-rosa) fällt bei niedrigeren Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur deutlich geringer aus als bei höheren Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur.

### 7.1.5 Einfluss Verschattung auf Klassifikation

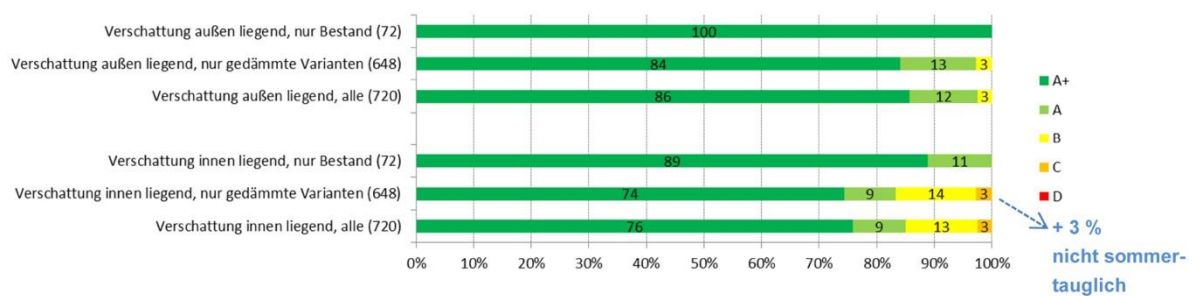
#### 7.1.5.1 Modellraum „SW02“ (1 Fenster)

Einteilung nach Güteklassen für Modellraum „SW02“ (1 Fenster) dargestellt für außen und innen liegende Verschattung. In den Ergebnissen sind die Stockwerke Erdgeschoß „EG“, erstes und zweites Obergeschoß „OG1/OG2“ und drittes Obergeschoß „OG3“, sowie die Nachtlüftungsparameter „zu“, „gekippt“ und „offen“ wie auch die Fenstertypen („alt“, „neu“) zusammengefasst dargestellt (Tabelle 4). In Klammer angegeben jeweils die Anzahl der berechneten Varianten.

**Tabelle 4 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Geschoße**

A+	A	B	C	D	Beschreibung	
72	0	0	0	0	Verschattung außen liegend, nur Bestand (72)	3x Geschoß 3x Nachtlüftung 4x Standort 2x Fenster (alt + neu) 72 Varianten
545	85	18	0	0	Verschattung außen liegend, nur gedämmte Varianten (648)	
617	85	18	0	0	Verschattung außen liegend, alle (720)	
64	8	0	0	0	Verschattung innen liegend, nur Bestand (72)	3x Geschoß 3x Nachtlüftung 4x Standort
482	58	90	18	0	Verschattung innen liegend, nur gedämmte Varianten (648)	10x (1x Bestand + 9x Innendämmsystem)
546	66	90	18	0	Verschattung innen liegend, alle (720)	2x Fenster (alt + neu) 720 Varianten

nicht sommertauglich



**Abbildung 60 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke, Prozente auf ganze Zahlen gerundet<sup>153</sup>**

Bei außen liegender Verschattung fallen bei Testraum „SW02“ alle 72 der berechneten Bestandsvarianten in die Kategorie A+. Bei innen liegender Verschattung liegen 8 (12 %) der 72 berechneten Varianten in der Kategorie A. Vergleicht man die Ergebnisse außen und innen liegender Verschattung zeigt sich, dass 18 Varianten (2,5 %) die bei außen liegender Verschattung Güteklasse

<sup>153</sup> Steiner, T. "Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen." (2020), S. 54, Abb. 20, Tab. 5

B liegen, bei innen liegender Verschattung in die Kategorie C fallen und damit nicht mehr die Anforderungen an die Sommertauglichkeit erfüllen. Weiter fallen 71 Varianten (10 %) aus der Kategorie A+ und 19 (3 %) aus der Kategorie A, was zu einer Zunahme von Varianten in der Kategorie B um 72 (10 %) führt.

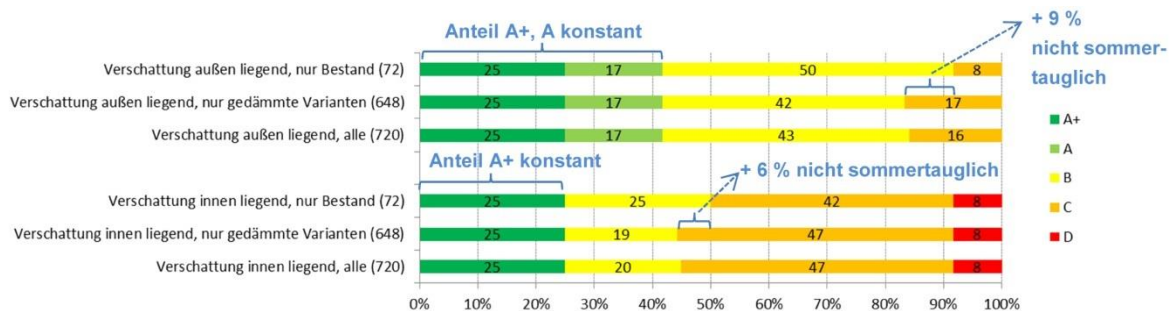
**7.1.5.2 Modellraum „SW03“ (2 Fenster)**

Einteilung nach Güteklassen für Modellraum „SW03“ (2 Fenster) dargestellt für außen und innen liegende Verschattung. Die untersuchten Varianten sind wie zuvor für die Stockwerke „EG“, „OG1/2“ und „OG3“ zusammengefasst (Tabelle 5).

**Tabelle 5 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte**

A+	A	B	C	D	Beschreibung	
18	12	36	6	0	Verschattung außen liegend, nur Bestand (72)	3x Geschoß
162	108	270	108	0	Verschattung außen liegend, nur gedämmte Varianten (648)	3x Nachtlüftung
180	120	306	114	0	Verschattung außen liegend, alle (720)	4x Standort
18	0	18	30	6	Verschattung innen liegend, nur Bestand (72)	10x (1x Bestand + 9x Innendämmsystem)
162	0	125	307	54	Verschattung innen liegend, nur gedämmte Varianten (648)	2x Fenster (alt + neu)
180	0	143	337	60	Verschattung innen liegend, alle (720)	720 Varianten

nicht sommertauglich



**Abbildung 61 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte, Prozente auf ganze Zahlen gerundet<sup>154</sup>**

Bei außen liegender Verschattung fallen bei Testraum „SW03“ lediglich 18 (25 %) der berechneten Bestandsvarianten in die Kategorie A+, 12 (17 %) in die Kategorie A, 36 (50 %) in die Kategorie B und 6 (8 %) in die Kategorie C (nicht sommertauglich). Bei innen liegender Verschattung liegen 30 (42 %) der Varianten in Kategorie C und 6 (8 %) in Kategorie D. Vergleicht man die Ergebnisse (gedämmte Varianten und Bestand) außen und innen liegender Verschattung zeigt sich, dass es in der Kategorie A+ zu keiner Verschiebung kommt. Die Varianten aus Kategorie A fallen dahingegen – wenn die Verschattung von außen nach innen gelegt wird – vollständig in die darunter

<sup>154</sup> Steiner, T. "Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen." (2020), S. 55, Tab. 6, Abb. 21

liegende Kategorie B, deren Varianten sich wiederum in die Kategorien C und D verschieben. Es zeigt sich, dass mit außen liegendem Sonnenschutz die Zahl der Varianten, die nicht den Anforderungen an die Sommertauglichkeit entsprechen, von 55 % (397) bei innen liegendem Sonnenschutz auf 16 % (114) reduziert wird.

Klasse A+ zeigt bei Modellraum „SW03“ keinen Einfluss der Verschattung, was darin begründet ist, dass Der Anteil der Varianten bei außen und innen liegender Verschattung gleich ist. Der Einfluss der Verschattung in den Klassen A bis D ist hoch, bedingt dadurch, dass Varianten aus Klasse A werden bei Modellraum „SW03“ vollständig in die darunter liegende Klasse B verschoben, wenn die Verschattung von außen nach innen gelegt wird. Die Varianten der Klasse B wiederum verschieben sich in die Klassen C und D. Mit außen liegendem Sonnenschutz wird die Zahl der Varianten, die nicht den Anforderungen an die Sommertauglichkeit entsprechen, deutlich reduziert. Es gibt eine Reduktion von 55 % (397) bei innen liegendem Sonnenschutz auf 16 % (114) bei außen liegender Verschattung. Erwartungsgemäß nimmt der Einfluss der Verschattung mit zunehmendem Verglasungsanteil zu.

## 7.2 Messtechnische Erfassung – Sommer-Komfort-Monitoring

Unter Monitoring kann grundsätzlich jede Form der Evaluation verstanden werden. Das Sommer-Komfort-Monitoring im Rahmen dieser Arbeit beschränkt sich auf die messtechnische Erfassung. Soll die thermische Behaglichkeit – das Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt –, beurteilt werden, sind Raumklimadaten wie Temperatur und relative Luftfeuchte zu erfassen.<sup>155</sup> Unzufriedenheit kann durch Unbehagen des Körpers auf Grund der Einwirkung von Wärme, und anderen Einflussgrößen, ausgedrückt durch PMV und PPD, verursacht werden. Auf Grund individueller Unterschiede ist es unmöglich, ein Umgebungsklima festzulegen, das alle zufriedenstellt. Es ist jedoch möglich ein Umgebungsklima festzulegen, von dem vorausgesagt werden kann, dass es von einem gewissen Prozentsatz der dem Klima ausgesetzten Personen als annehmbar empfunden wird<sup>156</sup>. Über die thermische Behaglichkeit hinaus stellen visuelle Faktoren wie Tageslicht, auditive Faktoren wie Schallbelastung wie auch die Raumluftqualität weitere bedeutende Komfortparameter dar.

### 7.2.1 Einleitung

Im Sinne des Monitorings<sup>157</sup> der Leitprojekte aus Haus der Zukunft Plus können folgende wesentliche Punkte zur Messung zusammengefasst werden. Es werden in Anlehnung DIN EN ISO 7726 Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen die Messgrößen, Luft-Temperatur, Globetemperatur, relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Leuchtdichte, CO<sub>2</sub>-Konzentration und Lärmpegel dynamisch – das heißt über einen Zeitraum von 22.07.2022 09:00 bis 08.09.2022 (6 Wochen) in einem Zeitschrittintervall von 30 Sekunden unter Verwendung des Messsystems BAPPU<sup>158</sup> ermittelt.

Ergänzend wird dazu parallel ein Raumklimamonitoring mit dem Messsystem UMIDUS<sup>159</sup> durchgeführt in dem ebenfalls Raumlufttemperaturen, Relative Luftfeuchten, CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie auch das Außenklima in Form von Lufttemperatur- und relativer Luftfeuchte erfasst wird. Das Ergebnis der Raumlufttemperatur-Messung sowie der Außen Lufttemperatur zeigt Abbildung 63. Messverfahren für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) werden u.a. in der VDI 6022<sup>160</sup> Messverfahren für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) beschrieben. Die Messung der Raumluftbelastung durch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) erfolgt gemäß der Richtlinie VDI

<sup>155</sup> "Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden" (2015), S. 8

<sup>156</sup> Vgl. DIN EN ISO 7730:2006, S. 14

<sup>157</sup> "Leitfaden Monitoring von Plusenergie-Gebäuden" (2015)

<sup>158</sup> Benennung Messsystem BAPPU

<sup>159</sup> Benennung Messsystem UMIDUS

<sup>160</sup> VDI 6022 Blatt 1:2018

4300 Blatt 9<sup>161</sup>. Stör-Einflüsse durch die Atemluft wurden vermeiden. Der Einfluss hoher Raumtemperaturen (> 26C) wurde nicht weiter berücksichtigt.

Parameter	Kommentare	Beurteilungswert nach VDI 6022 Blatt 3
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )		RAL 1: ≤ 1000 ppm RAL 2: ≤ 1500 ppm RAL 3: ≤ 2000 ppm RAL 4: > 2000 ppm

Abbildung 62 Beurteilungswerte Stufe 1 für CO<sub>2</sub>-Konzentration nach VDI 6022 Blatt 3, Tabelle 8

### 7.2.2 Messzeitraum

Im Messzeitraum wurden 3 Hitzewellen erfasst. Die erste Hitzewelle dauert vom 19.7. bis zum 25.7, also 7 Tage lang an. Die zweite Hitzewelle dauert vom 3.8 bis zum 5.8 (3 Tage) an. Eine weitere Hitzewelle mit 4 Tagen dauert von 15.8 bis 18.8 an. Abbildung 63 zeigt, dass die Innenraumlufttemperaturen mit zunehmender Länge der Hitzewelle kontinuierlich ansteigen. Die Messergebnisse zeigen weiter, dass trotz markanten Temperaturabfalls der Außenluft am Ende der Hitzewelle die Raumlufttemperaturen zum Teil noch über mehrere Tage auf einem hohen Temperaturniveau verbleiben.

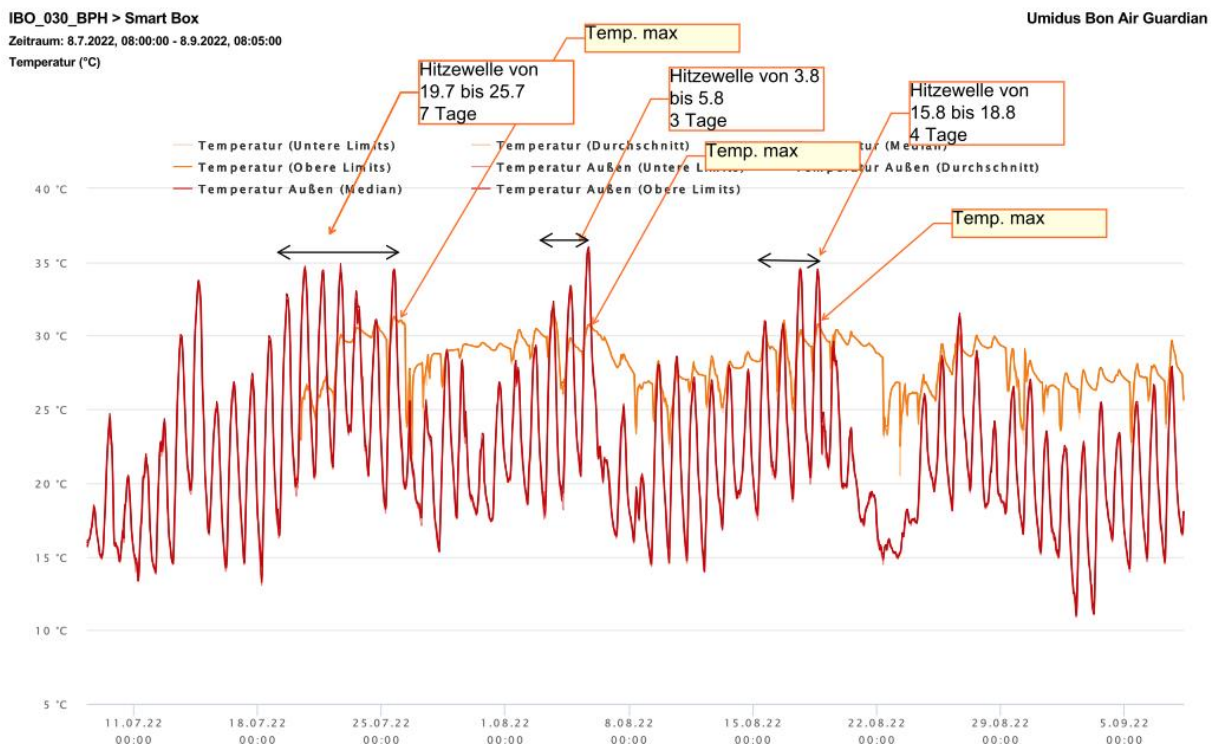
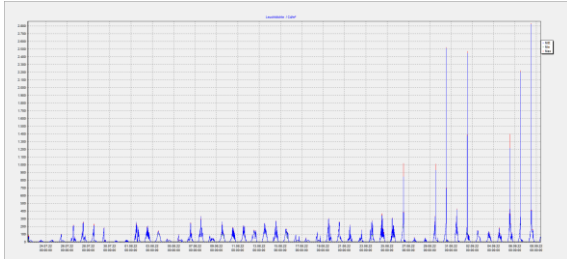


Abbildung 63 Auswertung Temperaturverlauf, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.

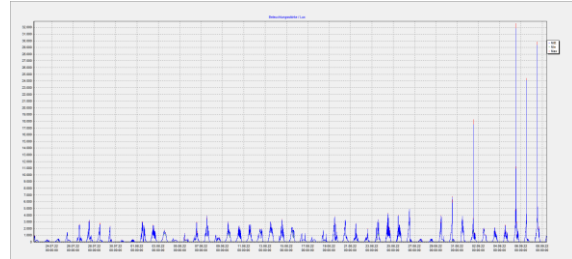
<sup>161</sup> VDI 4300 Blatt 9:2005, S. 10 ff

### 7.2.3 Erfasste Messgrößen

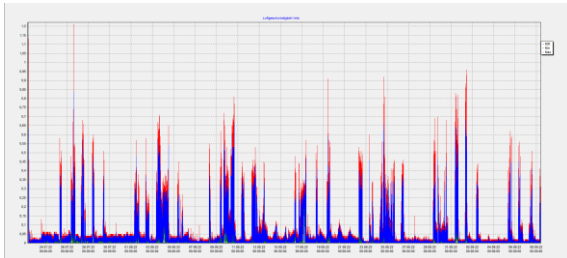
Nachfolgend werden in Abbildung 64 bis Abbildung 72 die erfassten Messgrößen über den gesamten Messzeitraum dargestellt und in einem weiteren Schritt ggf. über kürzere Zeitintervalle der Außenlufttemperatur gegenübergestellt.



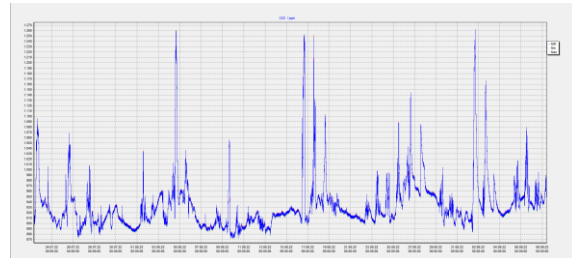
**Abbildung 64 Auswertung Leuchtdichte, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**



**Abbildung 65 Auswertung Beleuchtungsstärke, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**



**Abbildung 66 Auswertung Luftgeschwindigkeit, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**

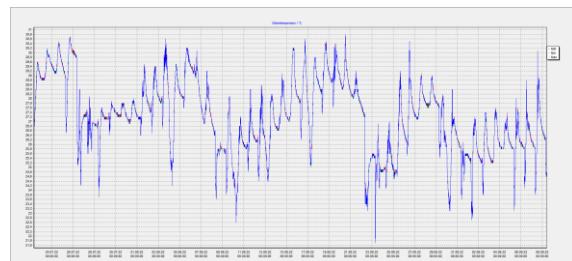


**Abbildung 67 Auswertung CO<sub>2</sub>-Konzentration, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**

Abbildung 64 zeigt die Leuchtdichte bzw. die Beleuchtungsstärke (Abbildung 65). Die hohen Leuchtdichtespitzen ab Ende August resultieren aus direkter Sonneneinstrahlung. Abbildung 66 zeigt die Luftgeschwindigkeit aus denen auf das Lüftungsverhalten rückgeschlossen werden kann. Abbildung 67 zeigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration, welche zum einen stark durch das Lüftungsverhalten, aber noch wesentlicher durch eine variierende Personenbelegung bestimmt wird.



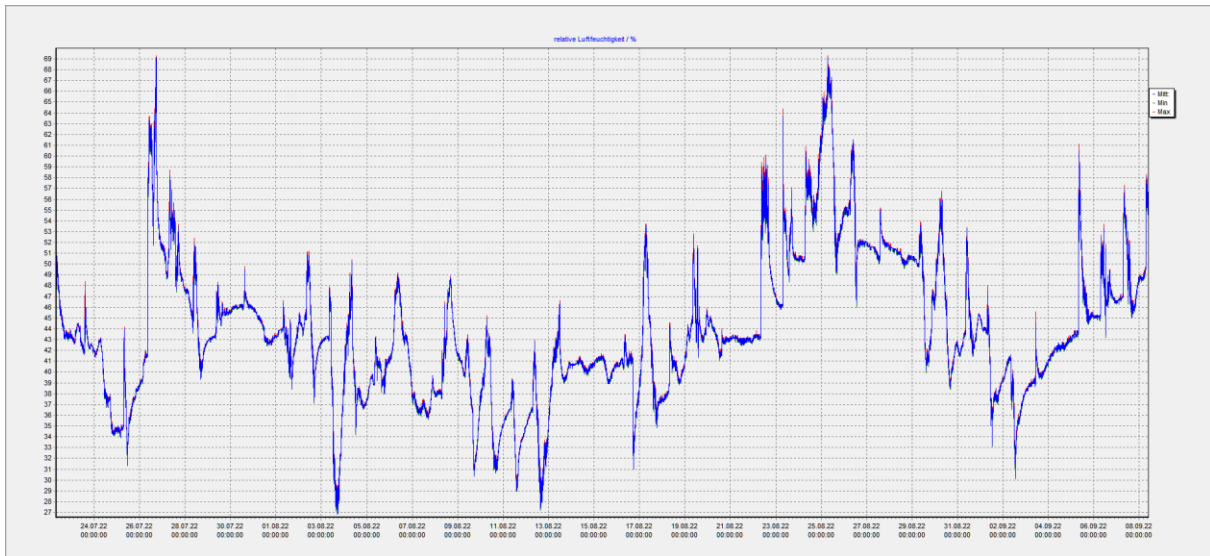
**Abbildung 68 Auswertung Temperatur - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**



**Abbildung 69 Auswertung Globetemperatur - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**

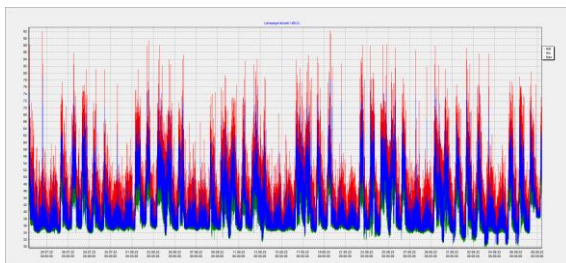
Markante Unterschiede zwischen Lufttemperatur (Abbildung 68) und der aus dem Schwarzkugelthermometer abgeschätzten mittleren Strahlungstemperatur (Abbildung 69) sind beispielsweise zwischen 05.08. und 07.08. 2022 zu erkennen,

aber in der Darstellung über den gesamten Messbereich ohne direkte Gegenüberstellung und detailliertere Betrachtung nur schwer ersichtlich.

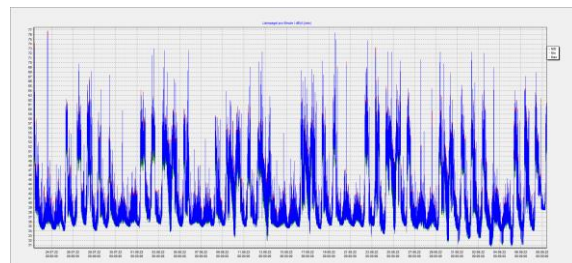


**Abbildung 70 Auswertung Relative Luftfeuchte - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**

Feuchtespitzen im Messzeitraum (Abbildung 70) resultieren hauptsächlich aus einem Temperaturabfall der Raumluft sowie ggf. aus Regenereignissen, welche Anhand der Wetterdaten eruiert werden können hier aber nicht weiter untersucht werden, da Luftfeuchtezustände über 55 % relative Luftfeuchtigkeit nur selten und dann auch nur kurzfristig überschritten werden.



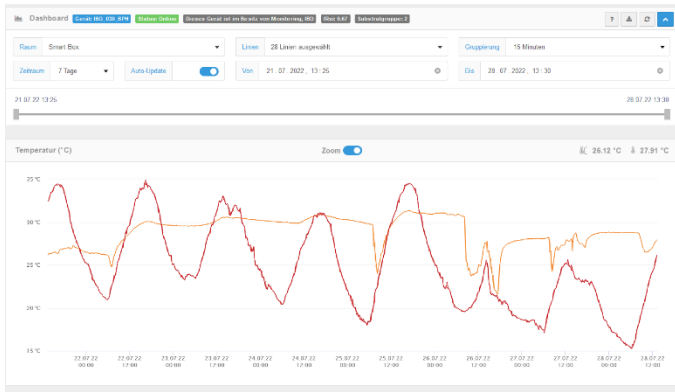
**Abbildung 71 Auswertung Lärmpegel - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**



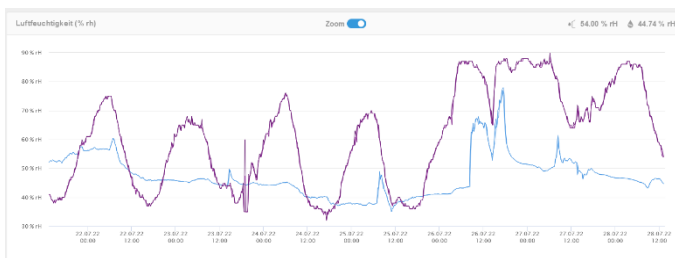
**Abbildung 72 Auswertung Lärmpegel pro Minute - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09.**

Die Auswertung des Lärmpegels (Abbildung 71) zeigt durch das Lüftungsverhalten geprägte tageszeitbedingte Schwankungen, wobei Spitzen von bis zu 70 dB (gemittelt über 1 Minute) regelmäßig erreicht werden.

Ergänzend zu den Ergebnissen des Monitorings werden in Abbildung 73 und Abbildung 74 die Ergebnisse des Raumklima-Monitorings am Beispiel der ersten Messwoche dargestellt. In Abbildung 75 sind die Temperaturverläufe um erläuternde Hinweise zum Lüftungs- und Verschattungsverhalten ergänzt.



**Abbildung 73 Raumklima-Monitoring - Verlauf Außenlufttemperatur und operative Raumtemperatur. Messsystem UMIDUS**

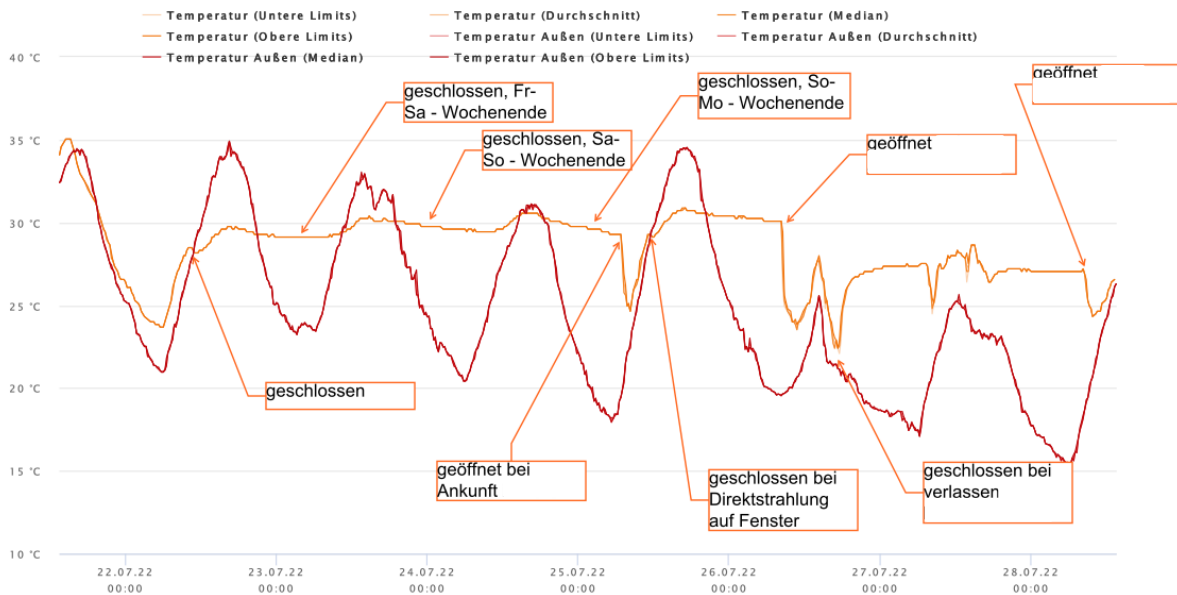


**Abbildung 74 Raumklima-Monitoring - Verlauf Außenluftfeuchtigkeit und Innenraumluftfeuchtigkeit, Messsystem UMIDUS**

Abbildung 73 zeigt die Tagesamplitude der Außenlufttemperatur während der Hitzewelle. Anhand des nahezu stagnierenden Temperaturverlaufs der operativen Raumtemperatur lässt sich erkennen, dass über das Wochenende nicht gelüftet wurde und erst am Montag, den 25.07.2022 die Fenster geöffnet wurden wodurch eine Absenkung der Temperatur um etwa 5 °C auf annähernd Außenluftniveau erreicht werden konnte. Bei direkter Sonneneinstrahlung auf die Fensterflächen wurden die Fenster wieder geschlossen und die Verschattung aktiviert. Der Anstieg der operativen Temperatur verläuft nahezu ident zur Außenlufttemperatur und stagniert dann bei etwa 31 °C, während die Außenlufttemperatur noch auf etwa 35 °C ansteigt. Das Temperaturniveau im Raum bleibt über Nacht trotz einer minimalen Außenlufttemperatur von 20 °C auf hohem Niveau und fällt erst mit dem Lüften bei morgendlichem Lüften wieder ab. Bei den beiden darauffolgenden Tagen beträgt die maximale Außenlufttemperatur lediglich 25 °C, die operative Raumtemperatur bleibt aber auf hohem Niveau von etwa 28 °C.

IBO\_030\_BPH > Raum 2  
 Zeitraum: 21.7.2022, 13:30:00 - 28.7.2022, 13:35:00  
 Temperatur (°C)

Umikus Bon Air Guardian



**Abbildung 75 Außenlufttemperatur und operative Raumtemperatur mit Hinweisen zum Lüftungs- und Verschattungsverhalten.**

## 7.2.4 Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Während Abbildung 63 bis Abbildung 72 einen Gesamteindruck vermitteln erfordert eine Auswertung und Interpretation der Ergebnisse vor dem Hintergrund der Forschungsfrage eine detailliertere zeitliche Analyse bzw. eine Gegenüberstellung der einzelnen Messgrößen. Nachfolgend werden punktuell Ereignisse (heißer Tag, Anfang einer Hitzewelle, Ende einer Hitzewelle) der messtechnischen Begleitung herausgegriffen und damit der Einfluss der Verschattung auf die Tageslichtqualität, der Einfluss der Verschattung auf die Temperatur, der Einfluss der Lüftung auf den Lärmpegel sowie der Einfluss der Lüftung auf die Temperatur, aber auch auf die Luftqualität – jeweils vor dem Hintergrund der Außenlufttemperatur – untersucht.

### 7.2.4.1 Einfluss Verschattung auf Temperatur

Der Einfluss der Verschattung auf die Leuchtdichte kann nur in Zusammenhang mit einem konkreten Verschattungsereignis dargestellt werden, bzw. in der detaillierten Ansicht an einem heißen Tag. Mit Sonnenaufgang nimmt die Leuchtdichte entsprechend zu, wird aber dann durch die Aktivierung des Sonnenschutzes maßgeblich reduziert. Ungeachtet dessen steigt zunehmend die operative Raumtemperatur, die trotz Verschattung tagsüber durch solare Einträge und interne Lasten ansteigt, in den Nachtstunden etwas zurückgeht sich aber insgesamt kumuliert.

### 7.2.4.2 Leuchtdichte und Temperatur

Die gemeinsame Darstellung von Leuchtdichte und Temperatur (Abbildung 76) erlaubt eine Einschätzung des Verschattungsverhaltens in Abhängigkeit der Raumtemperatur. Leuchtdichten von bis zu maximal 50 Lux tagsüber deuten auf einen aktiven Sonnenschutz an heißen Tagen hin. Es zeigt sich, dass zu Beginn des Messzeitraums der Sonnenschutz durchgehend aktiv war, bei niedrigeren Außenlufttemperaturen zugunsten verstärkter Fensterlüftung nur teilweise aktiv oder nicht aktiv war.

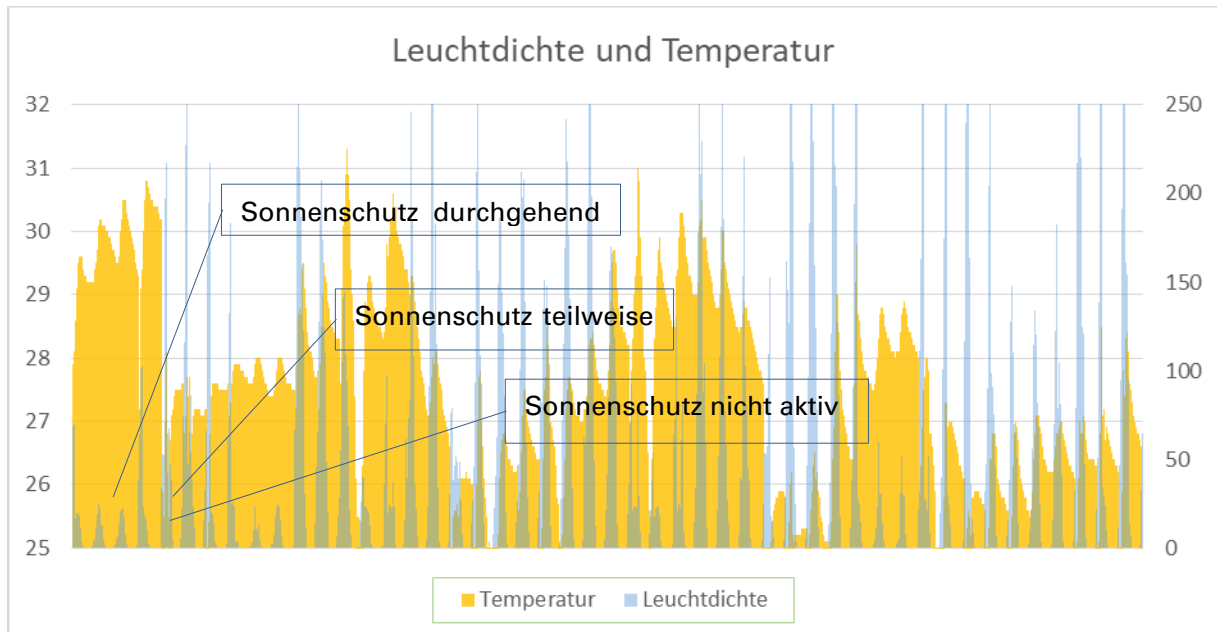


Abbildung 76 Gegenüberstellung Leuchtdichte und Temperatur

Während die gemeinsame Darstellung von Leuchtdichte und Temperatur zur Beurteilung des Verschattungsverhaltens herangezogen werden kann unterstützt die gemeinsame Darstellung von Leuchtdichte und Luftgeschwindigkeit (Abbildung 77) die Beurteilung des Lüftungsverhaltens, insbesondere zur Identifikation von Nachtlüftungsereignissen.

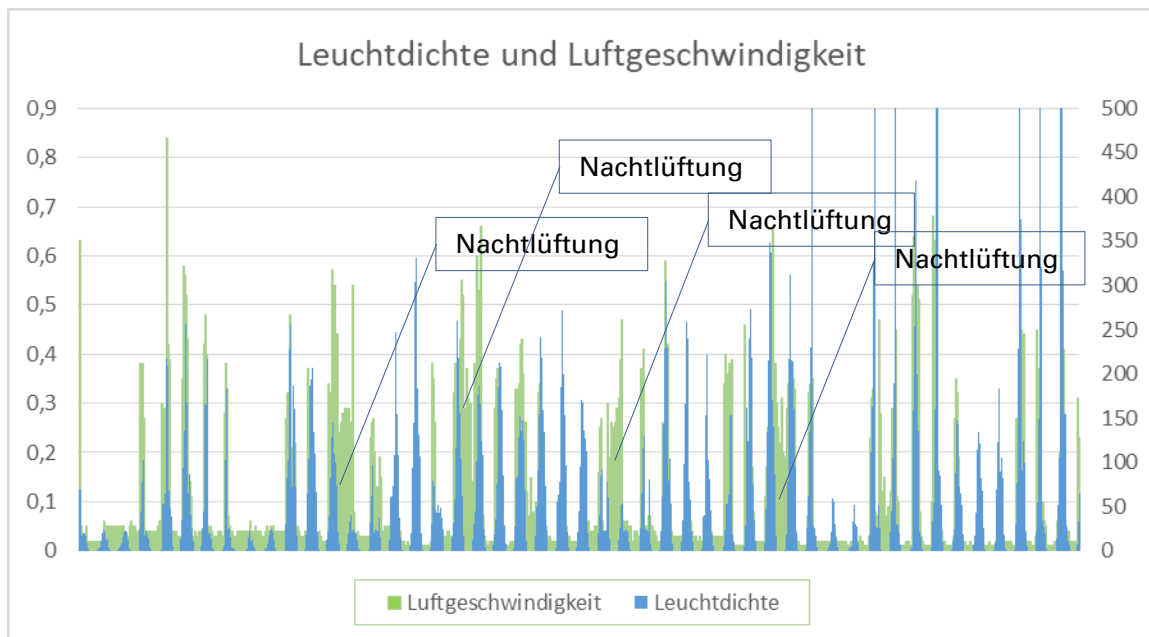


Abbildung 77 Gegenüberstellung Leuchtdichte und Luftgeschwindigkeit zur Identifikation von Nachtlüftung

#### 7.2.4.3 Einfluss Lüftung auf Lärm

Abbildung 78 zeigt, dass mit einer Lüftung in der Regel auch eine Lärmbelastung bedingt durch den Straßenverkehr einhergeht.

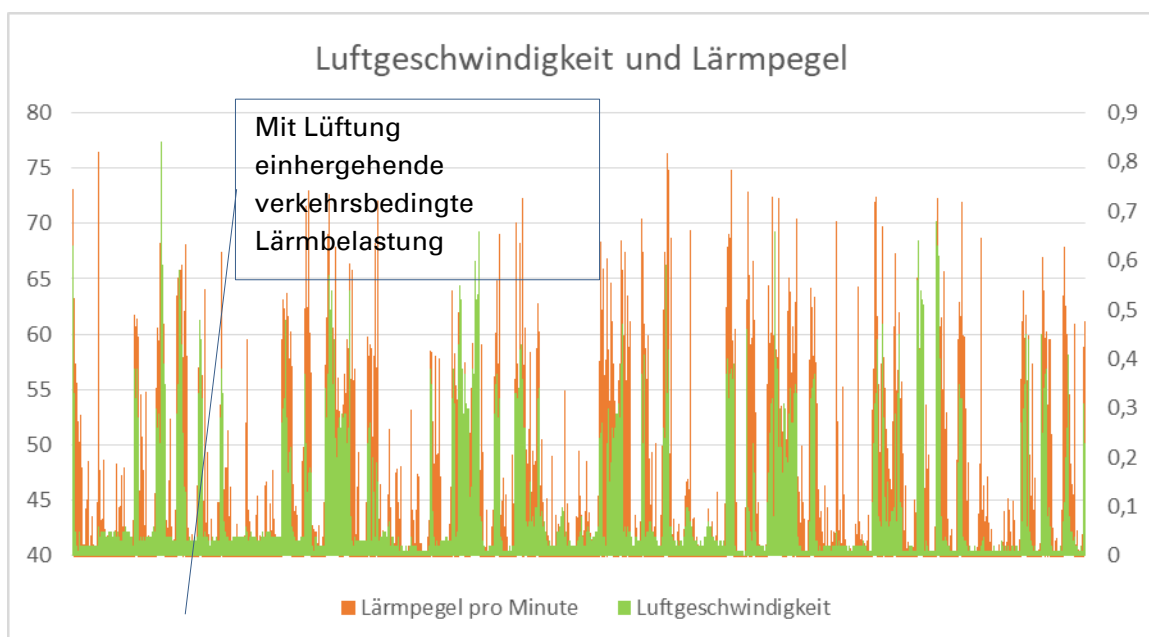


Abbildung 78 Gegenüberstellung Luftgeschwindigkeit und Lärmpegel

#### 7.2.4.4 Einfluss Lüftung auf Temperatur

Die gemeinsame Darstellung von Luftgeschwindigkeit, die größer 0,5 m/s die Fensterlüftung repräsentiert, mit der Temperatur erlaubt eine grobe Abschätzung des Potentials der Nachtlüftung, bzw. auch des lüftungsbedingten Wärmeeintrags tagsüber.

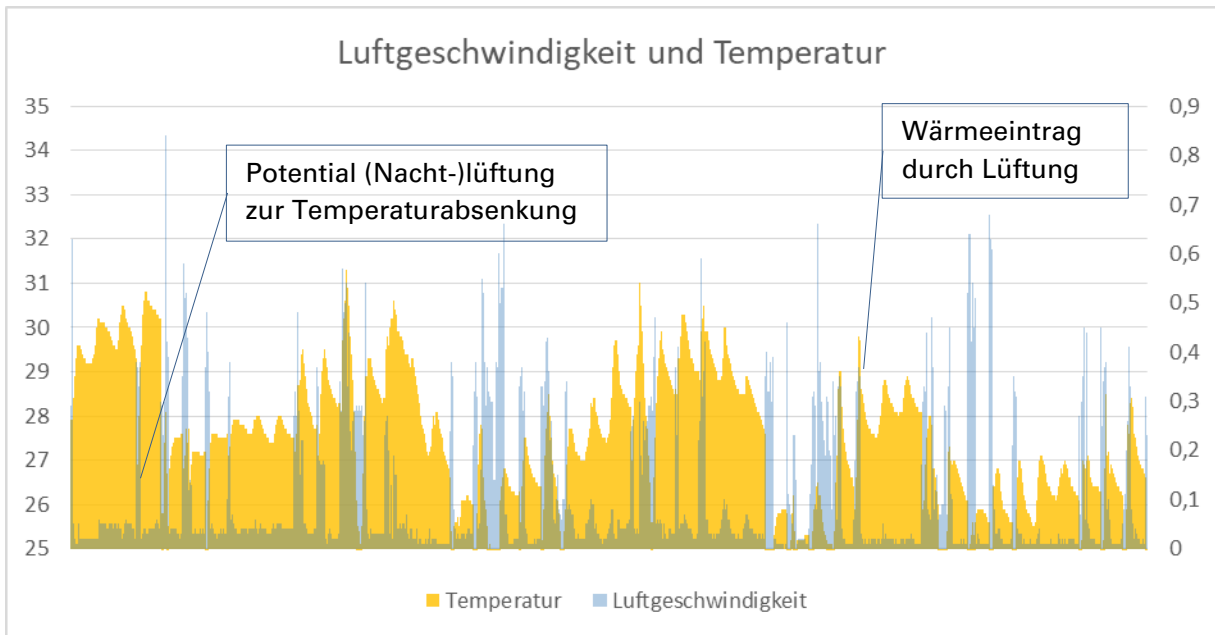


Abbildung 79 Gegenüberstellung Luftgeschwindigkeit und Temperatur

#### 7.2.4.5 Lärm und Temperatur

Bleiben während heißer Sommertage die Fenster zur Vermeidung verstärkter Lüftungsbedingten Wärmeeintrags die überwiegend geschlossen, so ist zu diesen Zeitpunkten zumindest der außeninduzierten Verkehrslärmpegel reduziert. Um hohe Raumtemperaturen nach einer Hitzeperiode wieder abzulüften, müssen die Fenster verstärkt zur Lüftung offengehalten werden, was zwar zu niedrigeren Raumtemperaturen führt, allerdings zu erhöhten Lärmpegeln.

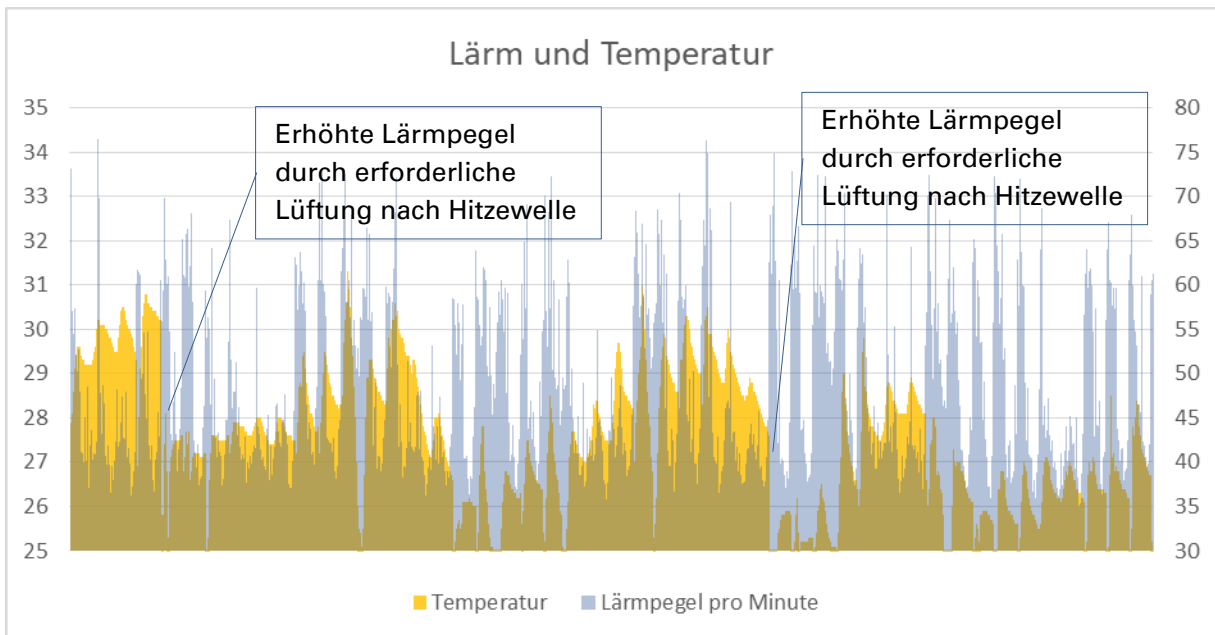


Abbildung 80 Gegenüberstellung Lärmpegel und Temperatur

### 7.2.4.6 Einfluss Lüftung auf die Luftqualität

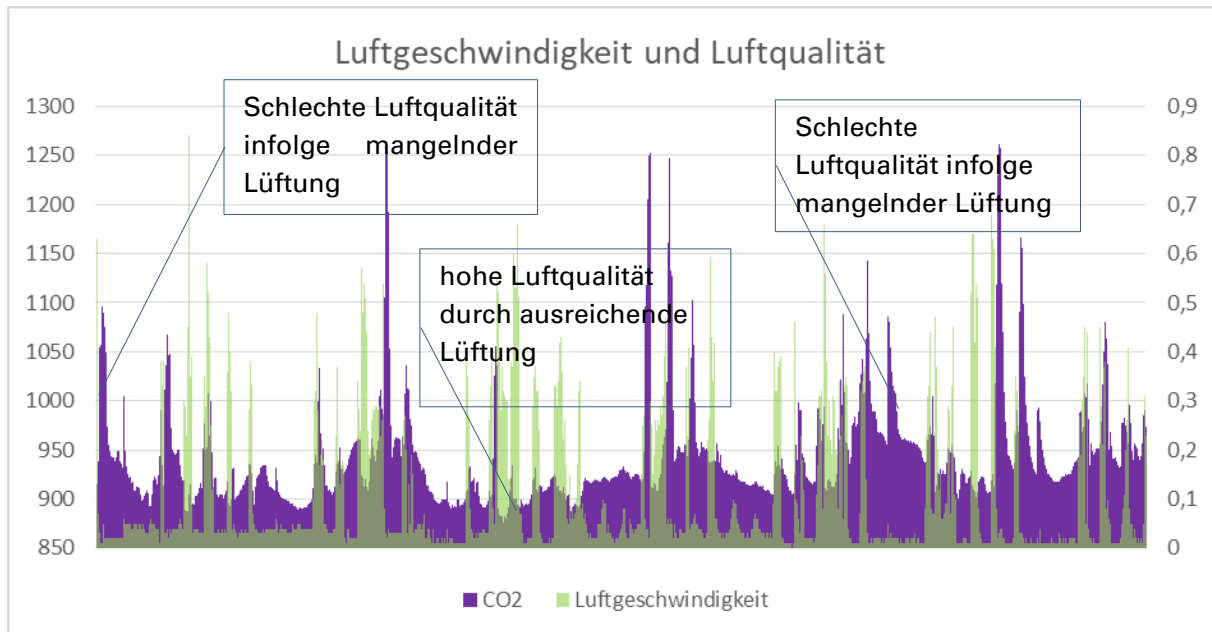


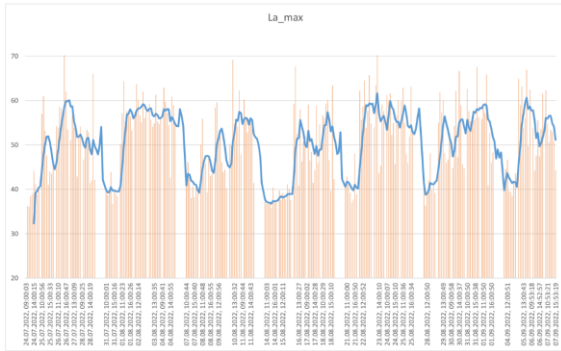
Abbildung 81 Gegenüberstellung Luftgeschwindigkeit und Luftqualität

Abbildung 87 zeigt, dass das Raumklima durchgehend über den gesamten Messzeitraum als zu warm, nicht aber als heiß einzustufen ist, wobei hier berücksichtigt wird, dass der Clothingfaktor, also die Bekleidung in Grenzen angepasst werden darf. Bei der Bewertung ist zu beachten, dass der PMV für den gesamten Messzeitraum ermittelt wird.

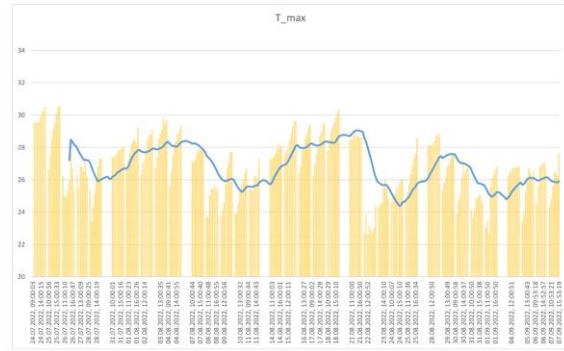
### 7.2.5 Bewertung

Während eine Betrachtung über die Gesamte Messperiode Aufschlüsse über das Raumverhalten liefern sind für die Beurteilung des Komforts selbstverständlich nur jene Zeiten relevant in denen die Nutzer\*innen auch im zu Hause sind.

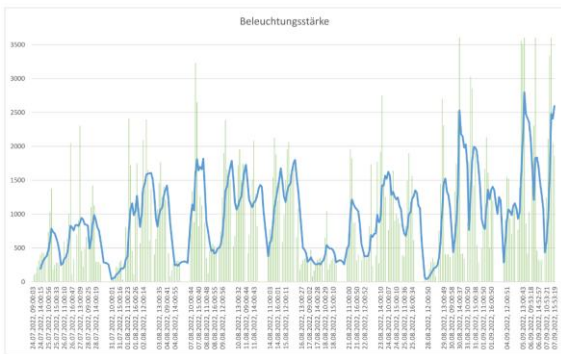
Abbildung 87 zeigt deshalb die Monitoring-Daten beschränkt auf die Nutzungszeit, im konkreten Fall Montag bis Freitag dargestellt (Abbildung 82 bis Abbildung 87). Es werden die zur vollen Stunde gemessenen Größen dargestellt. Zugunsten einer vereinfachten Lesbarkeit wird der gleitende Mittelwert dargestellt.



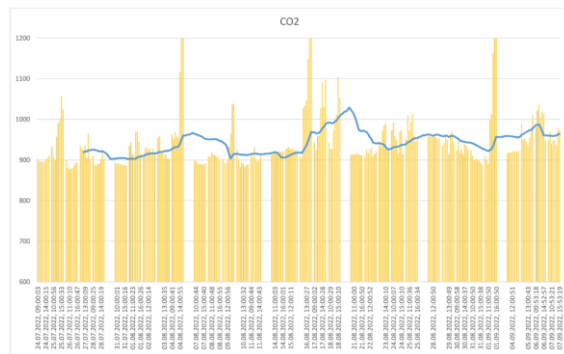
**Abbildung 82 Auswertung Monitoringdaten – Lärmbelastung, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau**



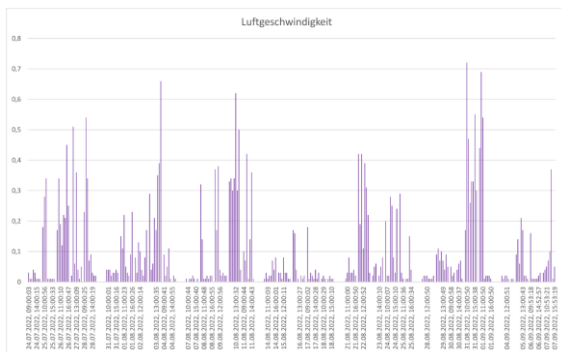
**Abbildung 83 Auswertung Monitoringdaten – operative Temperatur, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau**



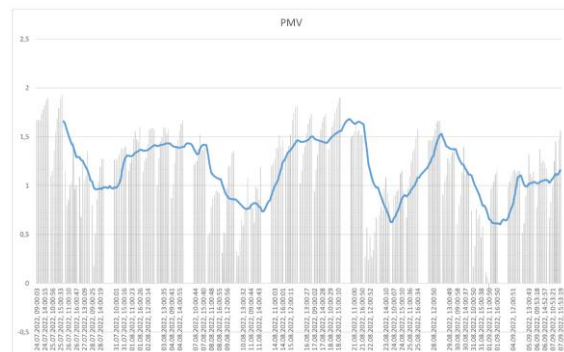
**Abbildung 84 Auswertung Monitoringdaten – Beleuchtungsstärke, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau**



**Abbildung 85 Auswertung Monitoringdaten – CO<sub>2</sub>-Konzentration, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau**



**Abbildung 86 Auswertung Monitoringdaten – Luftgeschwindigkeit, nur Nutzungszeit ausgewertet**



**Abbildung 87 Auswertung Monitoringdaten – PMV, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau**

Abbildung 88 zeigt die Bewertung der Messergebnisse des Sommer-Komfort-Monitorings für die erste Messwoche auf Stundenbasis. Vollständiger bewerteter Messzeitraum (Woche 1 bis Woche 7) im Anhang dargestellt. Die Bewertung wurde anhand der in Abbildung 89 festgelegten Grenzwerte vorgenommen.

Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring						
Datum	Tag	Uhrzeit	Tempmax	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
24.07.2022	1	09:00	erhöht	hoch	gering	leicht erhöht
24.07.2022	1	10:00	erhöht	hoch	gering	leicht erhöht
24.07.2022	1	11:00	erhöht	hoch	gering	leicht erhöht
24.07.2022	1	12:00	erhöht	hoch	mittel	leicht erhöht
24.07.2022	1	13:00	erhöht	hoch	mittel	erhöht
24.07.2022	1	14:00	stark erhöht	hoch	mittel	erhöht
24.07.2022	1	15:00	stark erhöht	hoch	mittel	leicht erhöht
24.07.2022	1	16:00	stark erhöht	hoch	mittel	erhöht
25.07.2022	2	09:00	niedrig	hoch	hoch	extrem hoch
25.07.2022	2	10:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
25.07.2022	2	11:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
25.07.2022	2	12:00	erhöht	hoch	gering	hoch
25.07.2022	2	13:00	erhöht	hoch	gering	erhöht
25.07.2022	2	14:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.07.2022	2	15:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.07.2022	2	16:00	stark erhöht	mittel	gering	hoch
26.07.2022	3	09:00	niedrig	hoch	gering	sehr hoch
26.07.2022	3	10:00	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch
26.07.2022	3	11:00	niedrig	hoch	mittel	extrem hoch
26.07.2022	3	12:00	niedrig	hoch	hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	13:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	14:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	15:00	niedrig	hoch	gering	extrem hoch
26.07.2022	3	16:00	niedrig	hoch	mittel	sehr hoch
27.07.2022	4	09:00	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch
27.07.2022	4	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
27.07.2022	4	12:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
27.07.2022	4	13:00	niedrig	hoch	mittel	sehr hoch
27.07.2022	4	14:00	niedrig	hoch	gering	erhöht
27.07.2022	4	15:00	niedrig	hoch	mittel	sehr hoch
27.07.2022	4	16:00	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	09:00	niedrig	hoch	hoch	hoch
28.07.2022	5	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	11:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	12:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	13:00	niedrig	hoch	gering	erhöht
28.07.2022	5	14:00	niedrig	hoch	gering	erhöht
28.07.2022	5	15:00	niedrig	hoch	gering	extrem hoch
28.07.2022	5	16:00	niedrig	hoch	gering	erhöht

Abbildung 88 Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring Woche 1, im Gründerzeithaus in 1090 Wien

Tempmax		CO2	
niedrig	< 27,5 °C	sehr hoch	< 500 ppm
erhöht	27,5 bis < 30,0 °C	hoch	500 bis 1000 ppm
stark erhöht	30,0 bis < 32,5 °C	mittel	1000 bis 1500 ppm
hoch	32,5 bis < 35,0 °C	mäßig	1500 bis 2000 ppm
sehr hoch	35,0 bis < 37,5 °C	niedrig	2000 bis 2500 ppm
extrem hoch	> 37,5 °C	sehr niedrig	> 2500 ppm

Tageslicht		Schallbelastung	
sehr hoch	> 750 Lux	gering	< 35 dB
hoch	500-750 Lux	leicht erhöht	35 bis < 40 dB
mittel	300 bis 500 Lux	erhöht	40 bis < 45 dB
gering	100 bis 300 Lux	hoch	45 bis < 50 dB
		sehr hoch	50 bis < 55 dB
		extrem hoch	> 55 dB

Abbildung 89 Kategorien für Bewertung

### 7.3 Resümee

Die sich in der Praxis einstellenden Komfortbedingungen im Sommer zeigen die Ergebnisse der messtechnischen Begleitung. Als wesentliche Erkenntnisse aus der messtechnischen Begleitung lassen sich folgende Punkte festhalten:

- Durch die Aktivierung des Sonnenschutzes wird die Leuchtdichte maßgeblich reduziert. Trotz aktiver Verschattung (zwischen den Fensterebenen liegendes Textilrollo) erfolgt ein maßgeblicher solarer Strahlungseintrag, welcher neben den internen Lasten zu einem Anstieg der operativen Raumtemperatur führt.
- Die gemeinsame Darstellung von Leuchtdichte und Temperatur erlaubt eine Einschätzung des Verschattungsverhaltens in Abhängigkeit der Raumtemperatur. Es zeigt sich, dass das Verschattungsverhalten in der Praxis an die Außenklimabedingungen angepasst wird und auch abhängig von der Dauer der Hitzeperiode unterschiedlich gehandhabt wird. Zugunsten verstärkter Fensterlüftung, aber auch nachlassender Motivation oder zugunsten Tageslichtangebot wird teilweise von optimaler Verschattung abgewichen.
- Im Zuge von Fensterlüftung in der Regel auch eine Lärmbelastung bedingt durch den Straßenverkehr einhergeht.
- Die gemeinsame Darstellung von Luftgeschwindigkeit und Temperatur erlaubt eine grobe Abschätzung des Potentials der Nachtlüftung, bzw. auch des lüftungsbedingten Wärmeeintrags tagsüber.
- Durch reduziertes Lüften während heißer Sommertage wird der außeninduzierten Lärmpegel reduziert. Bei kühleren Außenlufttemperaturen werden dann aber nach einer Hitzeperiode die Fenster verstärkt offengehalten, was zwar zu niedrigeren Raumtemperaturen, allerdings zu erhöhten Lärmpegeln führt.
- Das Raumklima ist durchgehend über den gesamten Messzeitraum als zu warm, nicht aber als heiß einzustufen.

- Für die Bewertung des thermischen Komforts, welche für die Messung anhand der operativen Temperatur vorgenommen werden ergeben sich im gesamten Messzeitraum nur 8 h mit einer Bewertung „stark erhöht“ (Abbildung 90), was einer Temperatur zwischen 30,0 und 32,5 °C entspricht. Die anderen Messwerte liegen darunter im Bereich „erhöht (27,5 bis 30 °C“ bzw. im Bereich „gering (<27 °C)“.

Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring						
Datum	Tag	Uhrzeit	Tempmax	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
24.07.2022	1	14:00	stark erhöht	hoch	mittel	erhöht
24.07.2022	1	15:00	stark erhöht	hoch	mittel	leicht erhöht
24.07.2022	1	16:00	stark erhöht	hoch	mittel	erhöht
25.07.2022	2	14:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.07.2022	2	15:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.07.2022	2	16:00	stark erhöht	mittel	gering	hoch
18.08.2022	5	15:00	stark erhöht	mittel	mittel	extrem hoch
18.08.2022	5	16:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht

Abbildung 90 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach Tempmax "stark erhöht"

- Ein Filter der bewerteten Messergebnisse nach sehr hoher und extrem hoher Lärmbelastung zeigt, dass sich hier eine sehr hohe Raumluftqualität und niedrige Temperaturniveaus einstellen. Zur Tageslichtqualität zeigt sich kein direkter Zusammenhang, diese variiert bei den Messungen zwischen gering und sehr hoch.

Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring						
Datum	Tag	Uhrzeit	Tempmax	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
25.07.2022	2	09:00	niedrig	hoch	hoch	extrem hoch
25.07.2022	2	10:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
25.07.2022	2	11:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
26.07.2022	3	09:00	niedrig	hoch	gering	sehr hoch
26.07.2022	3	10:00	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch
26.07.2022	3	11:00	niedrig	hoch	mittel	extrem hoch
26.07.2022	3	12:00	niedrig	hoch	hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	13:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	14:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	15:00	niedrig	hoch	gering	extrem hoch
26.07.2022	3	16:00	niedrig	hoch	mittel	sehr hoch
27.07.2022	4	09:00	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch
27.07.2022	4	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
27.07.2022	4	12:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
27.07.2022	4	13:00	niedrig	hoch	mittel	sehr hoch
27.07.2022	4	15:00	niedrig	hoch	mittel	sehr hoch
27.07.2022	4	16:00	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	11:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	12:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	15:00	niedrig	hoch	gering	extrem hoch
01.08.2022	2	09:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
01.08.2022	2	10:00	niedrig	hoch	mittel	extrem hoch
01.08.2022	2	11:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
01.08.2022	2	12:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch

Abbildung 91 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach sehr hoher und extrem hoher Lärmbelastung

- Werden die bewerteten Ergebnisse nach der schlechtesten sich einstellenden Raumluftqualität – hier ‚mittel‘ mit 1000 bis 1500 ppm CO<sub>2</sub> (Abbildung 92) – zeigt sich,

dass als Konsequenz entsprechend gelüftet wird, was zum einen zu einer hohen Lärmbelastung, aber auch zu erhöhten und stark erhöhten Temperaturen führt.

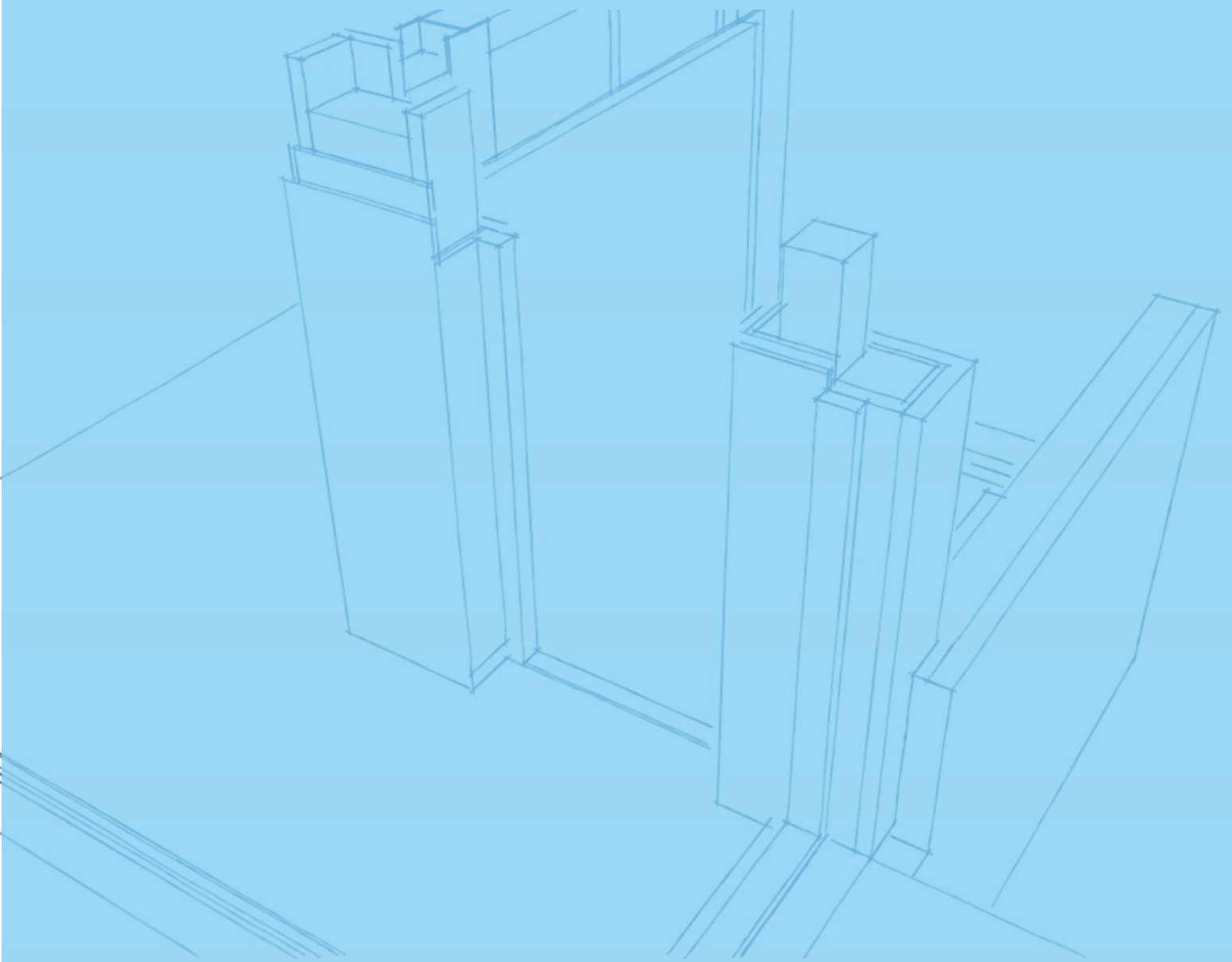
Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring						
Datum	Tag	Uhrzeit	Tempmax	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
25.07.2022	2	14:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.07.2022	2	15:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.07.2022	2	16:00	stark erhöht	mittel	gering	hoch
04.08.2022	5	14:00	erhöht	mittel	mittel	extrem hoch
04.08.2022	5	15:00	erhöht	mittel	mittel	extrem hoch
04.08.2022	5	16:00	erhöht	mittel	gering	sehr hoch
09.08.2022	3	15:00	erhöht	mittel	sehr hoch	erhöht
09.08.2022	3	16:00	erhöht	mittel	sehr hoch	erhöht
16.08.2022	3	11:00	erhöht	mittel	gering	sehr hoch
16.08.2022	3	12:00	erhöht	mittel	gering	erhöht
16.08.2022	3	13:00	erhöht	mittel	mittel	extrem hoch
16.08.2022	3	14:00	erhöht	mittel	mittel	hoch
16.08.2022	3	15:00	erhöht	mittel	mittel	sehr hoch
16.08.2022	3	16:00	erhöht	mittel	mittel	sehr hoch
17.08.2022	4	13:00	erhöht	mittel	mittel	erhöht
17.08.2022	4	14:00	erhöht	mittel	mittel	extrem hoch
17.08.2022	4	15:00	erhöht	mittel	mittel	hoch
17.08.2022	4	16:00	erhöht	mittel	mittel	sehr hoch
18.08.2022	5	13:00	erhöht	mittel	mittel	hoch
18.08.2022	5	14:00	erhöht	mittel	mittel	leicht erhöht
18.08.2022	5	15:00	stark erhöht	mittel	mittel	extrem hoch
18.08.2022	5	16:00	stark erhöht	mittel	gering	erhöht
25.08.2022	5	10:00	niedrig	mittel	mittel	extrem hoch
25.08.2022	5	13:00	niedrig	mittel	sehr hoch	hoch
01.09.2022	5	13:00	niedrig	mittel	sehr hoch	erhöht
01.09.2022	5	14:00	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch
01.09.2022	5	15:00	niedrig	mittel	sehr hoch	hoch
01.09.2022	5	16:00	niedrig	mittel	sehr hoch	hoch
05.09.2022	2	16:00	niedrig	mittel	sehr hoch	extrem hoch
06.09.2022	3	11:00	niedrig	mittel	sehr hoch	erhöht
06.09.2022	3	12:00	niedrig	mittel	sehr hoch	hoch
06.09.2022	3	13:00	niedrig	mittel	mittel	extrem hoch
06.09.2022	3	14:00	niedrig	mittel	mittel	hoch
06.09.2022	3	15:00	niedrig	mittel	mittel	sehr hoch

Abbildung 92 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach der schlechtesten sich einstellenden Raumluftqualität (hier ‚mittel‘ mit 1000 bis 1500 ppm CO<sub>2</sub>)

- Die bewerteten, nach sehr hoher Tageslichtqualität gefilterten, Messergebnisse des Sommer-Komfort-Monitoring zeigen (Abbildung 93), dass hier jeweils eine hohe Lärmbelastung vorliegt, was darauf schließen lässt, dass die Fenster geöffnet sind und kein Sonnenschutz aktiviert ist. Dies resultiert dann zwar auch in einer hohen Raumluftqualität, aber auch in erhöhten Temperaturen.

Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring						
Datum	Tag	Uhrzeit	Tempmax	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
25.07.2022	2	10:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
25.07.2022	2	11:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
26.07.2022	3	13:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
26.07.2022	3	14:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
27.07.2022	4	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
27.07.2022	4	12:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	11:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
28.07.2022	5	12:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
01.08.2022	2	09:00	niedrig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
01.08.2022	2	11:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
01.08.2022	2	12:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
01.08.2022	2	15:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
01.08.2022	2	16:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
02.08.2022	3	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
02.08.2022	3	11:00	niedrig	hoch	sehr hoch	extrem hoch
02.08.2022	3	12:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
02.08.2022	3	13:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
02.08.2022	3	14:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
02.08.2022	3	16:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
03.08.2022	4	11:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
03.08.2022	4	12:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
03.08.2022	4	13:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
03.08.2022	4	14:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
03.08.2022	4	15:00	erhöht	hoch	sehr hoch	sehr hoch
03.08.2022	4	16:00	erhöht	hoch	sehr hoch	extrem hoch
07.08.2022	1	09:00	niedrig	hoch	sehr hoch	erhöht
07.08.2022	1	10:00	niedrig	hoch	sehr hoch	hohe Belastung
07.08.2022	1	11:00	niedrig	hoch	sehr hoch	erhöht

Abbildung 93 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach sehr hoher Tageslichtqualität

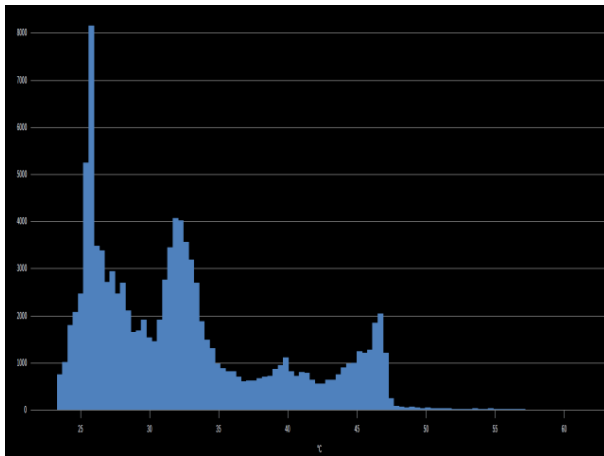


## 8 Thermografie

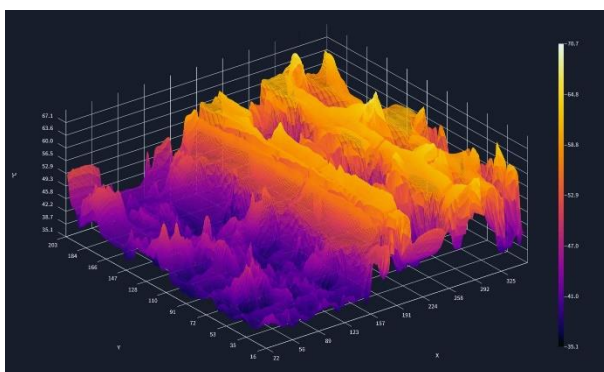
### 8.1 Sommerthermografie

Mittels Thermografie-Aufnahme lassen sich nicht nur im Winter Schwachstellen der thermischen Gebäudehülle identifizieren. Nachfolgend werden anhand von im Sommer durchgeführten Thermografie-Messungen der Einfluss von Materialität, Verschattungen und Farbe für Fassaden und gebäudenaher Umgebung analysiert.

So können die thermischen Fassaden-Eigenschaften von Bestandsgebäuden eindrücklich dargestellt und interpretiert werden. Abbildung 94 zeigt die Temperaturverteilung einer Wärmebildaufnahme von Gebäudefassaden an einem heißen Sommertag in Wien.



**Abbildung 94 Temperaturverteilung auf Gebäudefassaden, an heißem Sommertag, gemessen mittels Thermografie-Kamera im Sommer, Temperaturverteilung und Häufigkeit**



**Abbildung 95 Temperaturverteilung auf Gebäudefassaden an heißem Sommertag, gemessen mittels Thermografie-Kamera im Sommer, Temperaturverteilung (inhaltlich ident mit Darstellung zuvor)**

## 8.2 Fassadenbegrünung

Nachfolgend wird der direkte Vergleich von zwei Fassaden durchgeführt, in der linken Bildhälfte eine Fassadenbegrünung, an der rechten Fassade ohne Fassadenbegrünung, dafür mit kleinen Balkonen. Es werden für die jeweiligen Bildausschnitts Bereiche entsprechend der Histogramme der Temperatur dargestellt, anhand derer sehr deutlich der positive Einfluss der Fassadenbegrünung festgemacht werden kann.

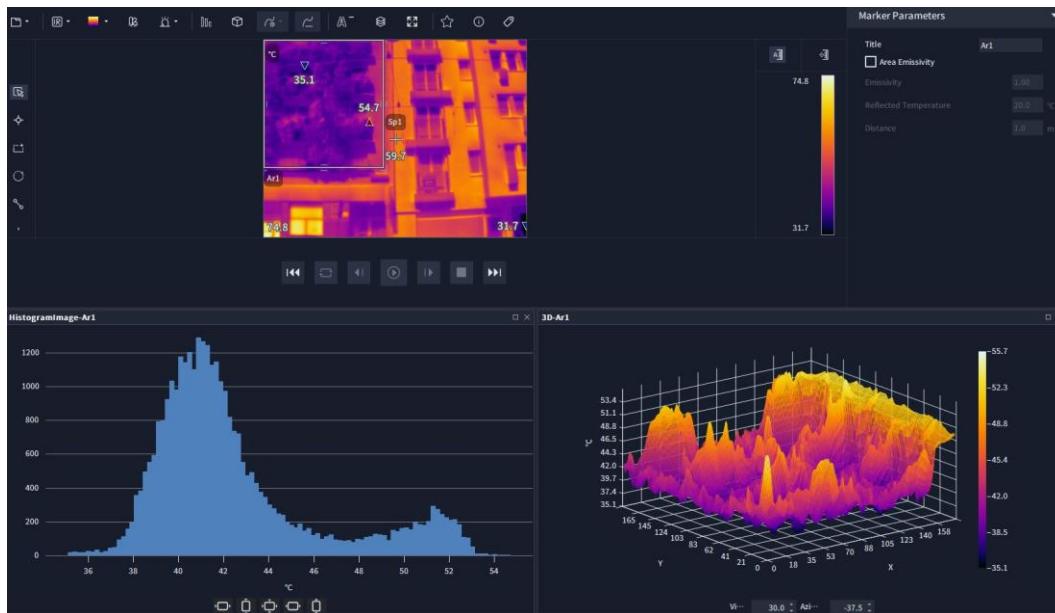


Abbildung 96 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade an heißem Sommertag, Bereich links - mit Fassadenbegrünung, Ottakringer Straße, 16. Bezirk

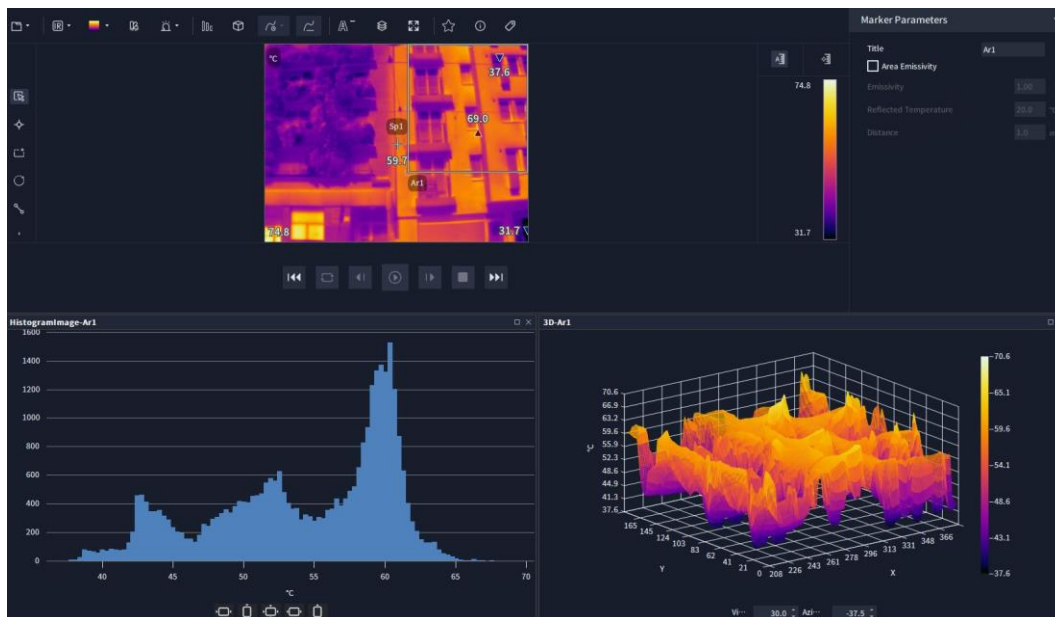


Abbildung 97 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade an heißem Sommertag, Bereich rechts - Wärmedämmverbundsystem mit Balkonen, Ottakringer Straße, 16. Bezirk

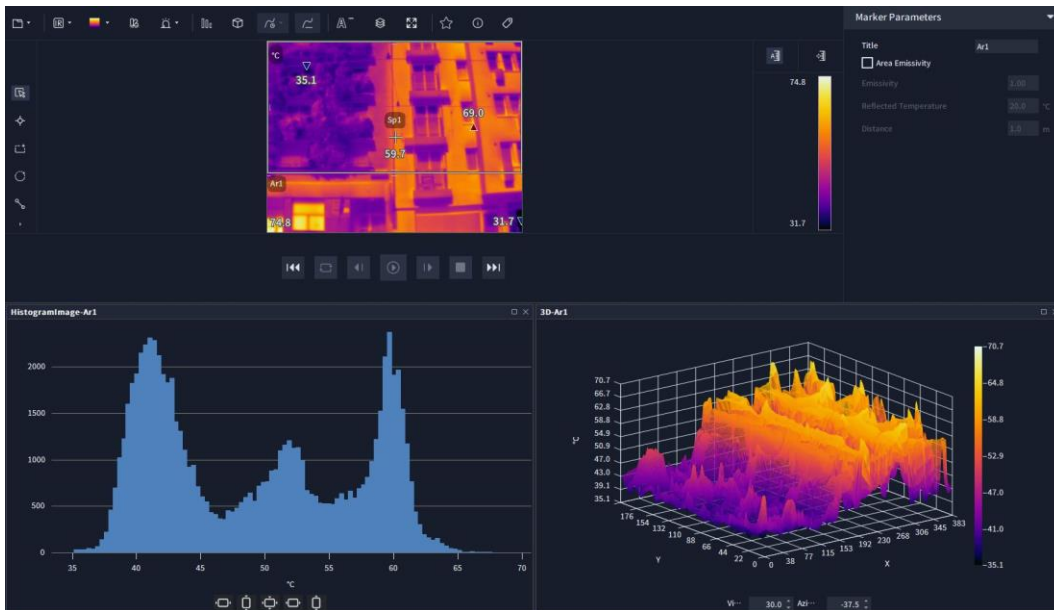


Abbildung 98 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade an heißem Sommertag, mit Fassadenbegrünung links und Wärmedämmverbundsystem mit Balkonen rechts, Ottakringer Straße, 16. Bezirk

### 8.3 Stadtpaziergang

Typische Temperaturverteilungen von Wiener Bestandsgebäuden, Oberflächenbelägen auf Spielplätzen, Fassaden, Eingangsbereichen vor Gebäuden, Balkonen und thermisch sanierten Gebäuden sind nachfolgend dargestellt.

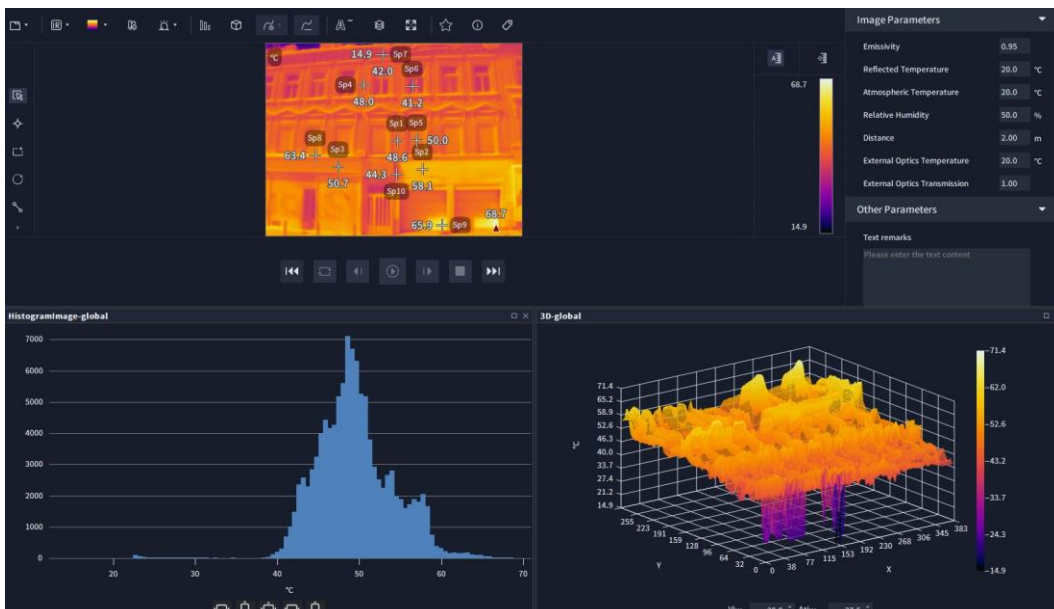
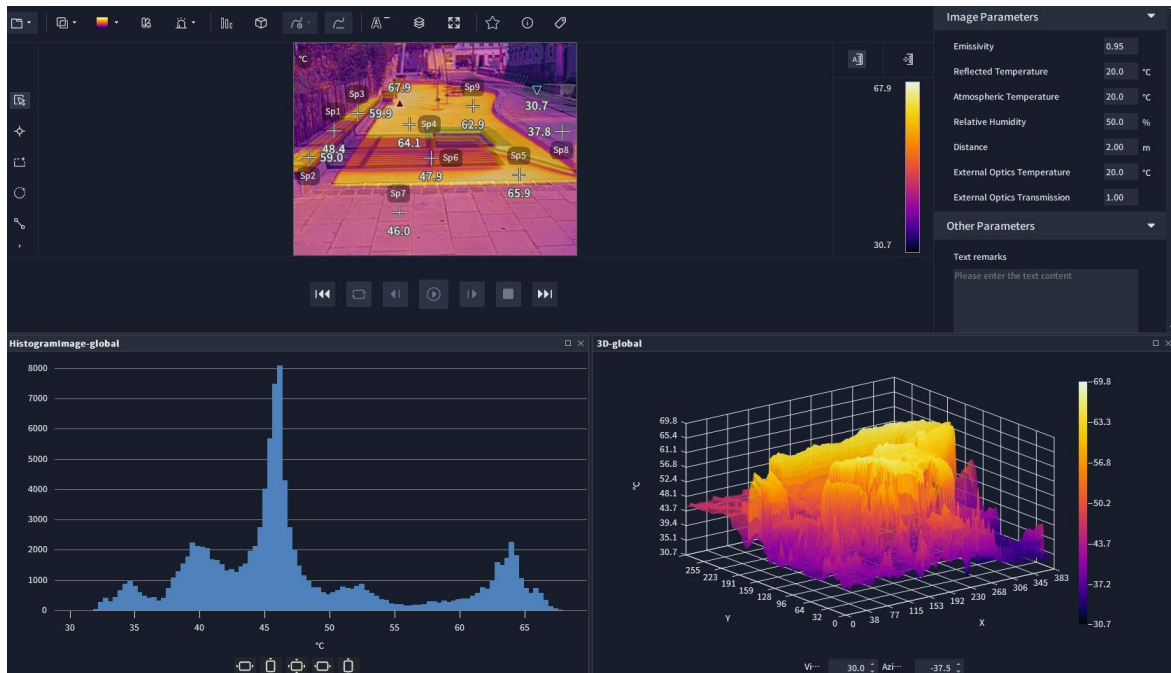
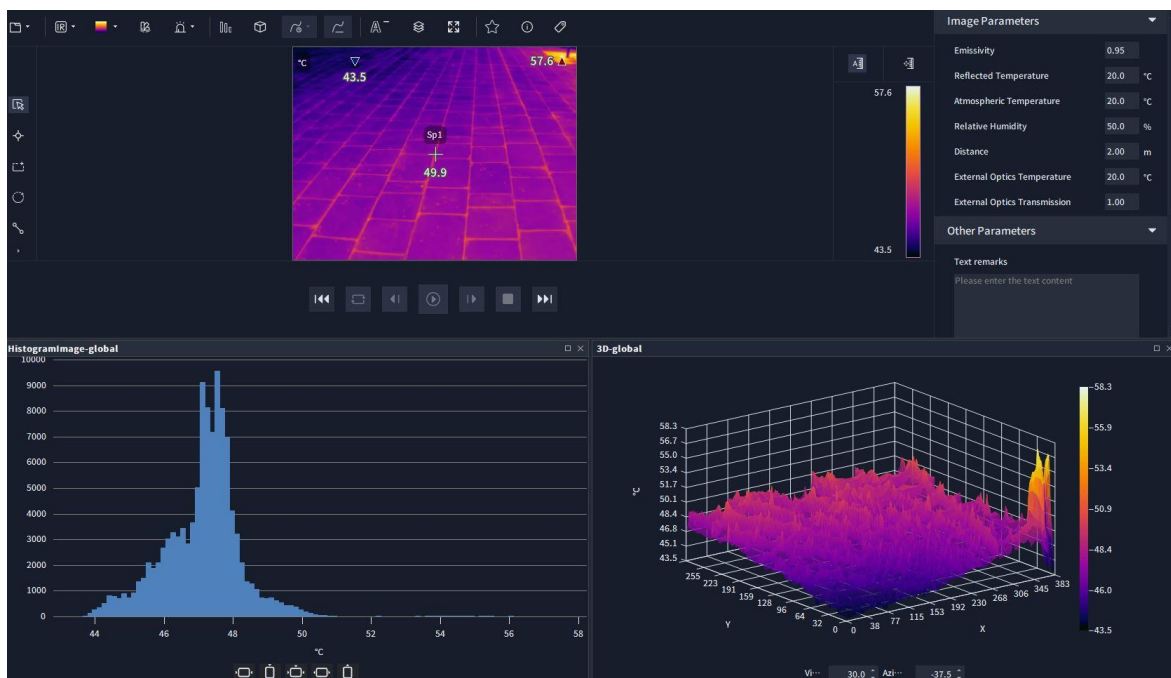


Abbildung 99 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade Bestandsgebäude an heißem Sommertag, ohne Wärmedämmung und ohne Fassadenbegrünung und ohne Balkone, Wohnhaus Dornierplatz, 17. Bezirk



**Abbildung 100 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Spielplatz, Dornerplatz, 17. Bezirk**



**Abbildung 101 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Pflasterung in öffentlichem Park, Dornerplatz, 17. Bezirk**

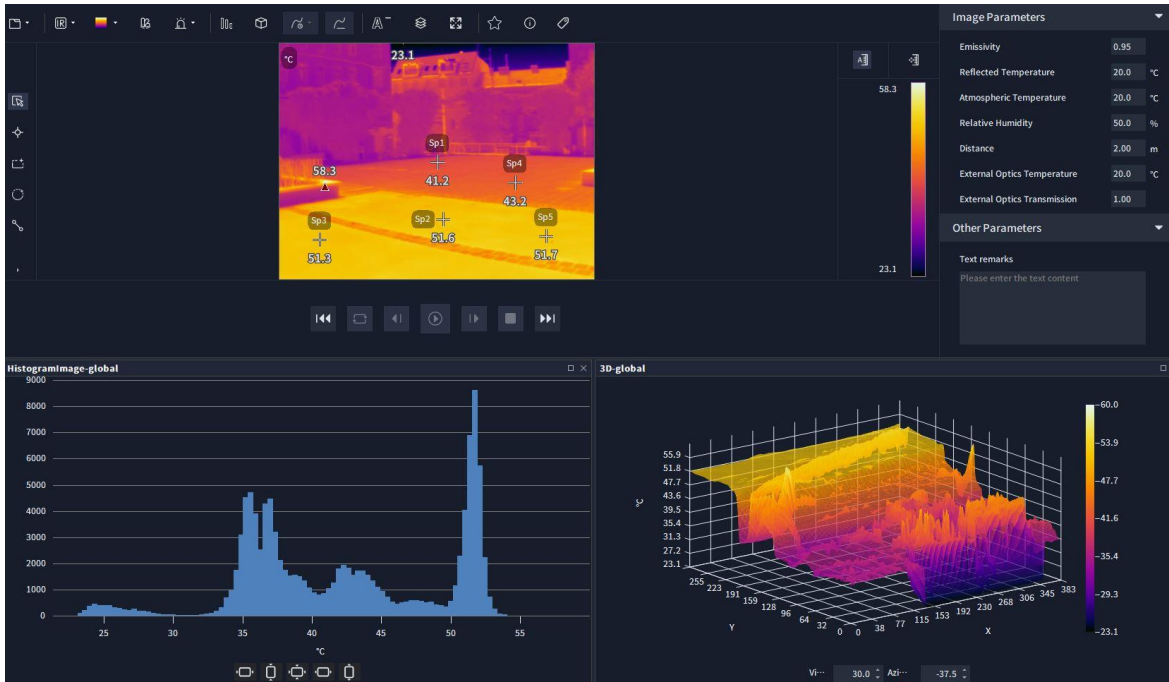


Abbildung 102 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Pflasterung in öffentlichem Park, Dornerplatz, 17. Bezirk

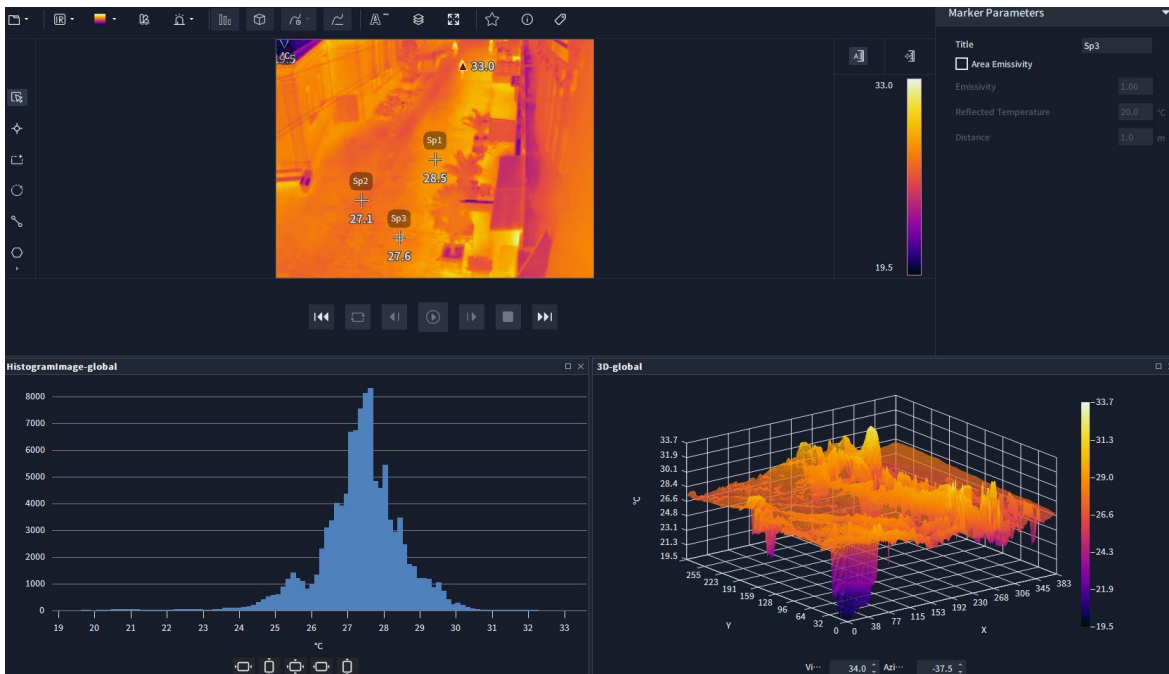
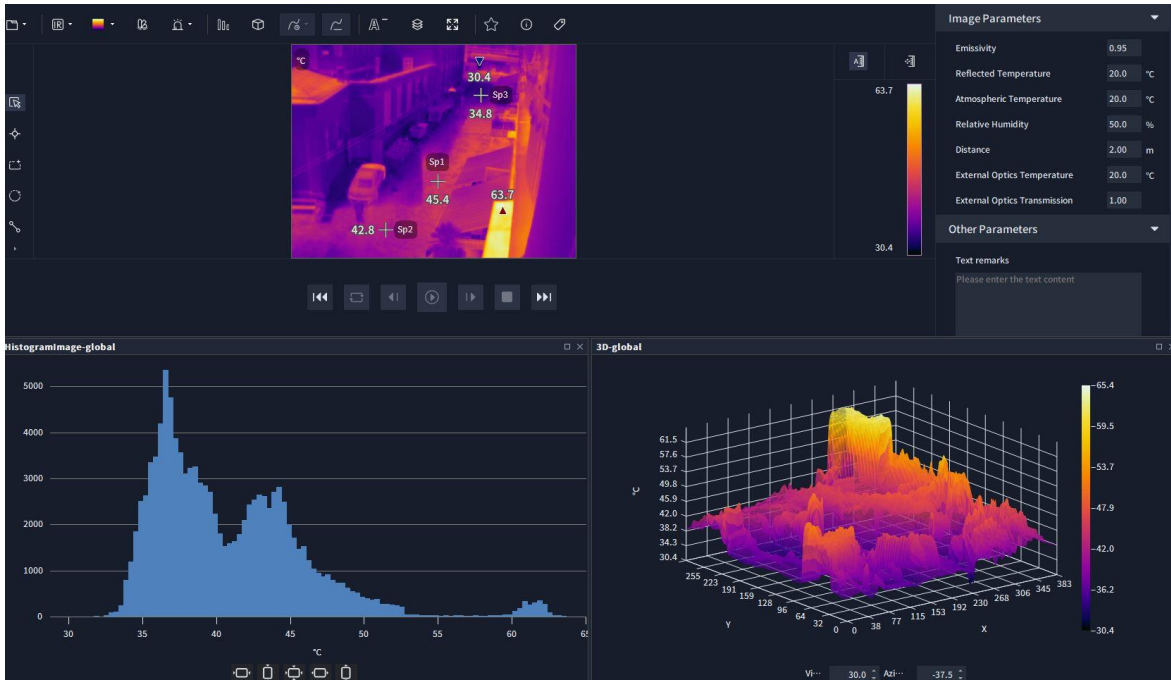
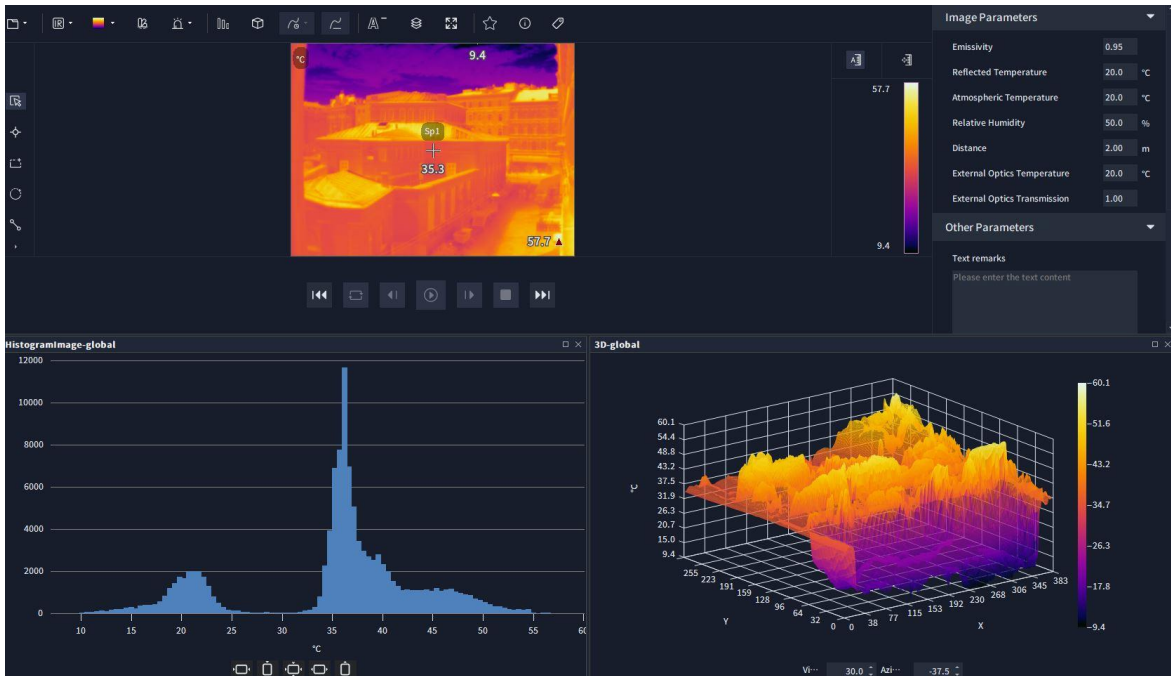


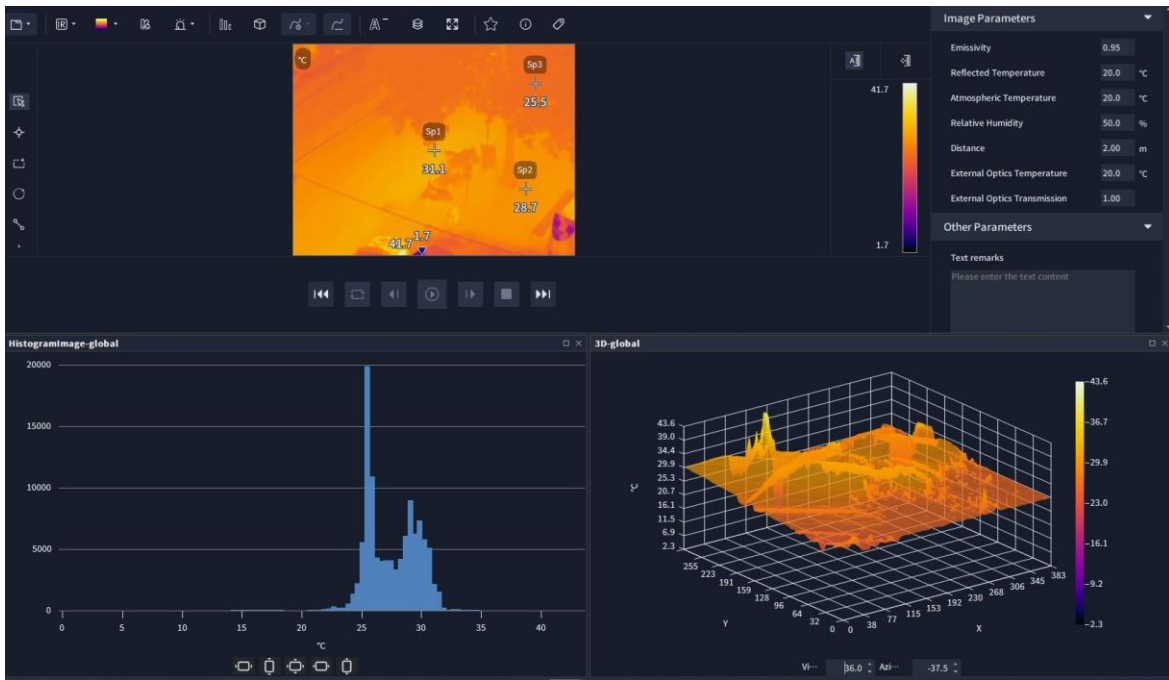
Abbildung 103 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - vormittags, Fußgängerbereich, Alserbachstraße, 9. Bezirk



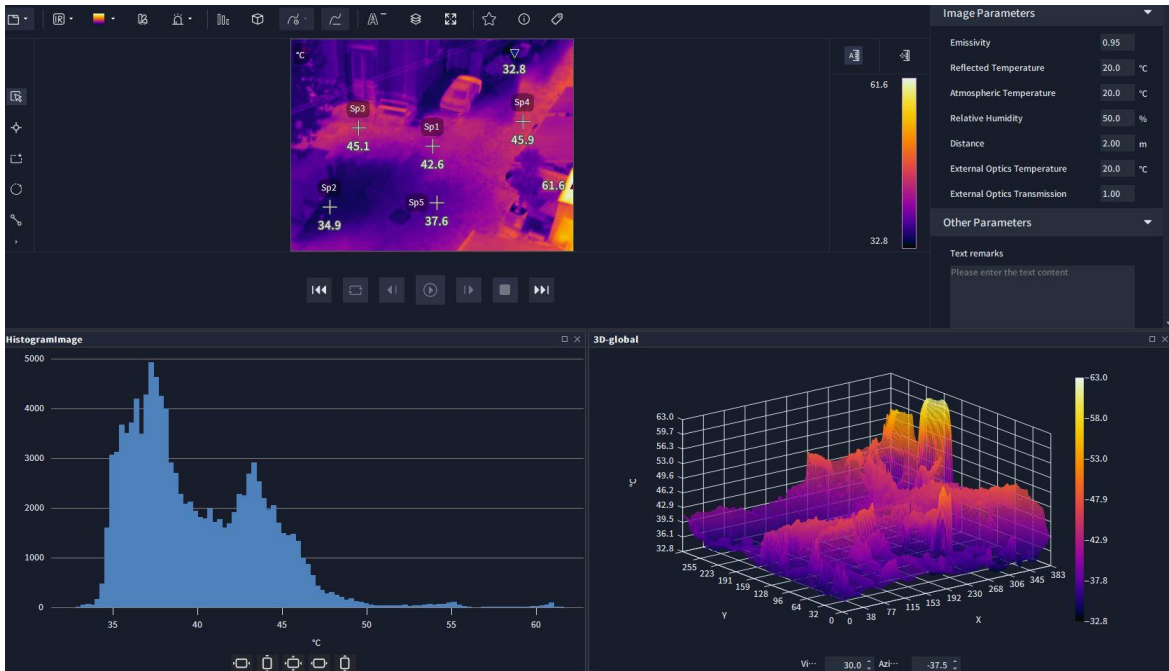
**Abbildung 104 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - mittags, Fußgängerbereich, Alserbachstraße, 9. Bezirk**



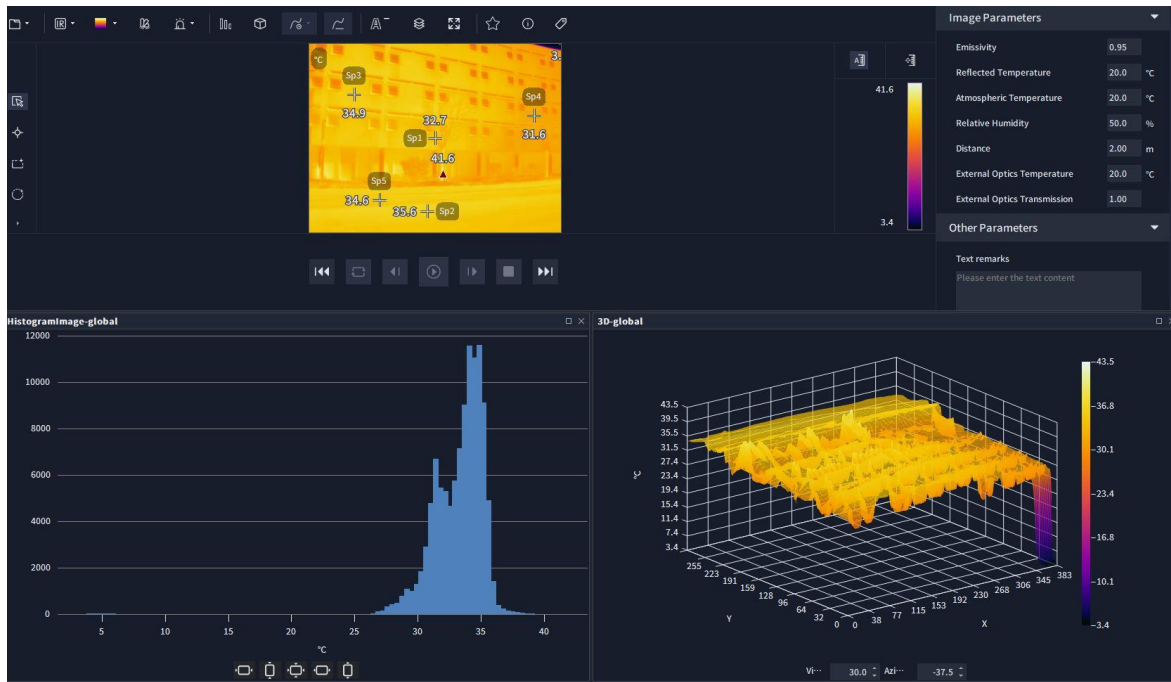
**Abbildung 105 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - mittags, städtischer Raum, Alserbachstraße, 9. Bezirk**



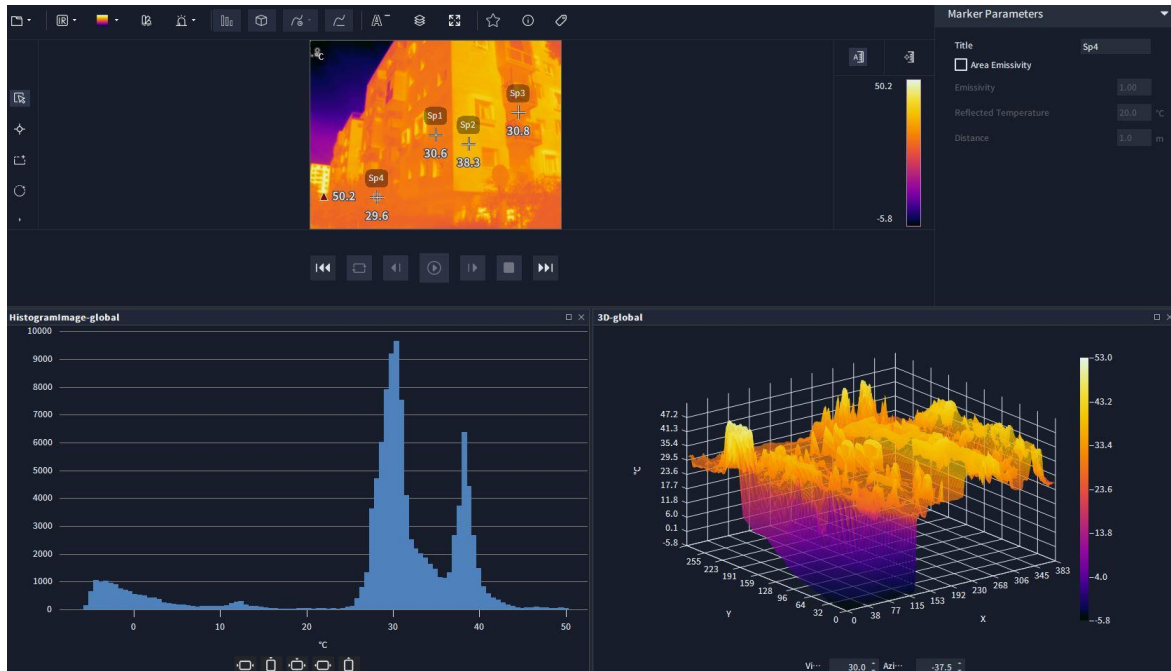
**Abbildung 106 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - vormittags, Straßenraum, Alserbachstraße, 9. Bezirk**



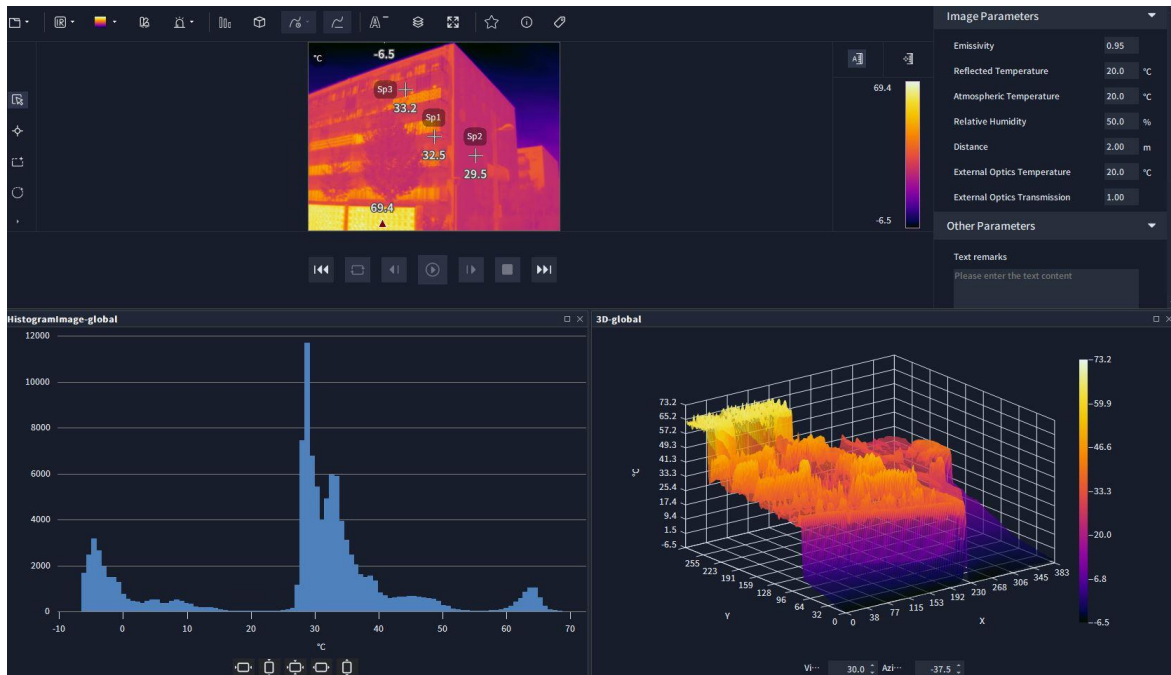
**Abbildung 107 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - mittags, Straßenraum, Alserbachstraße, 9. Bezirk**



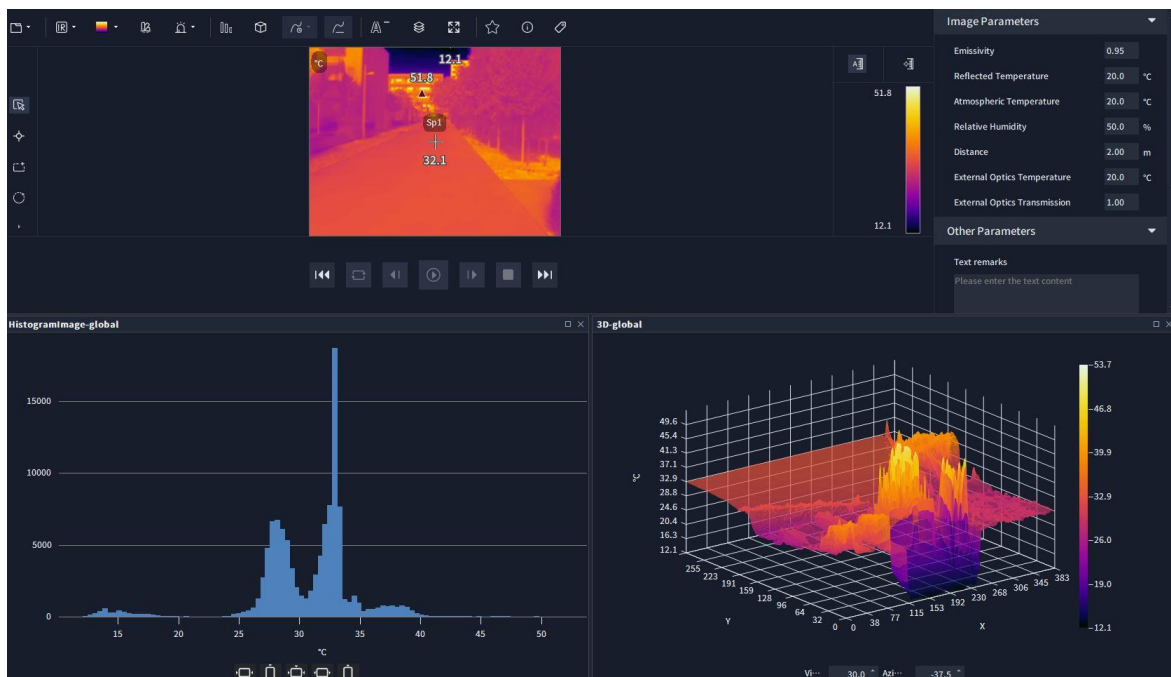
**Abbildung 108** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Neubau WDVS, Straße, besonnte Fassade, Siemensstraße 21. Bezirk



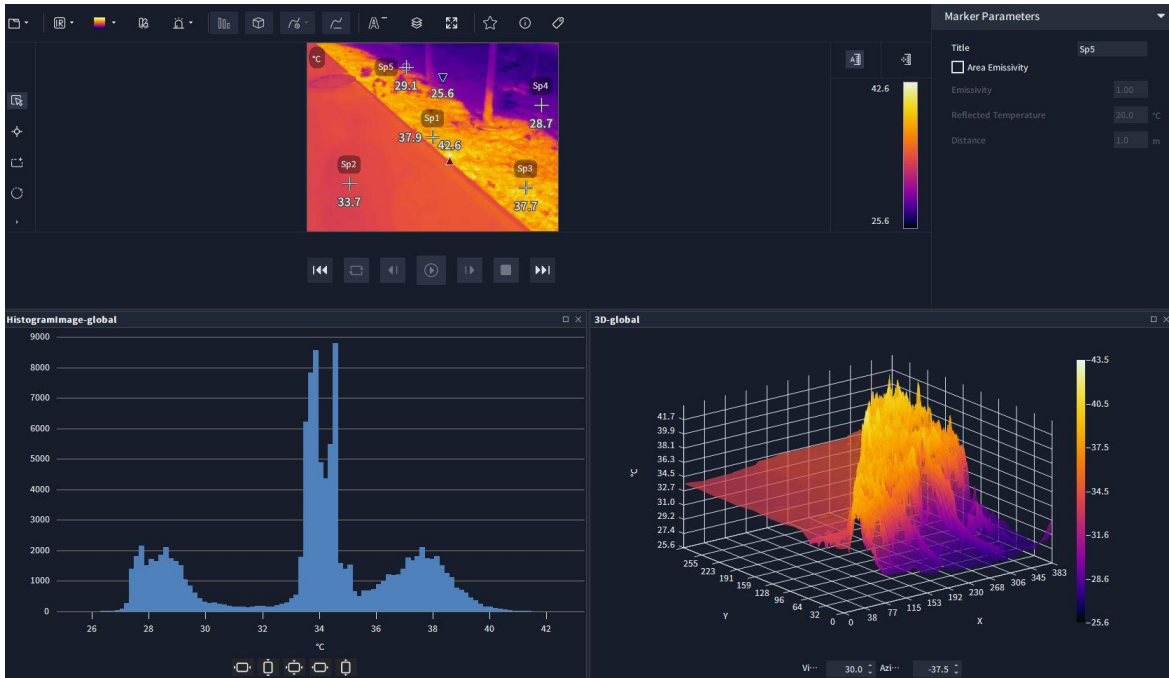
**Abbildung 109** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnte und verschattete Fassade, Hirschstetten 22. Bezirk



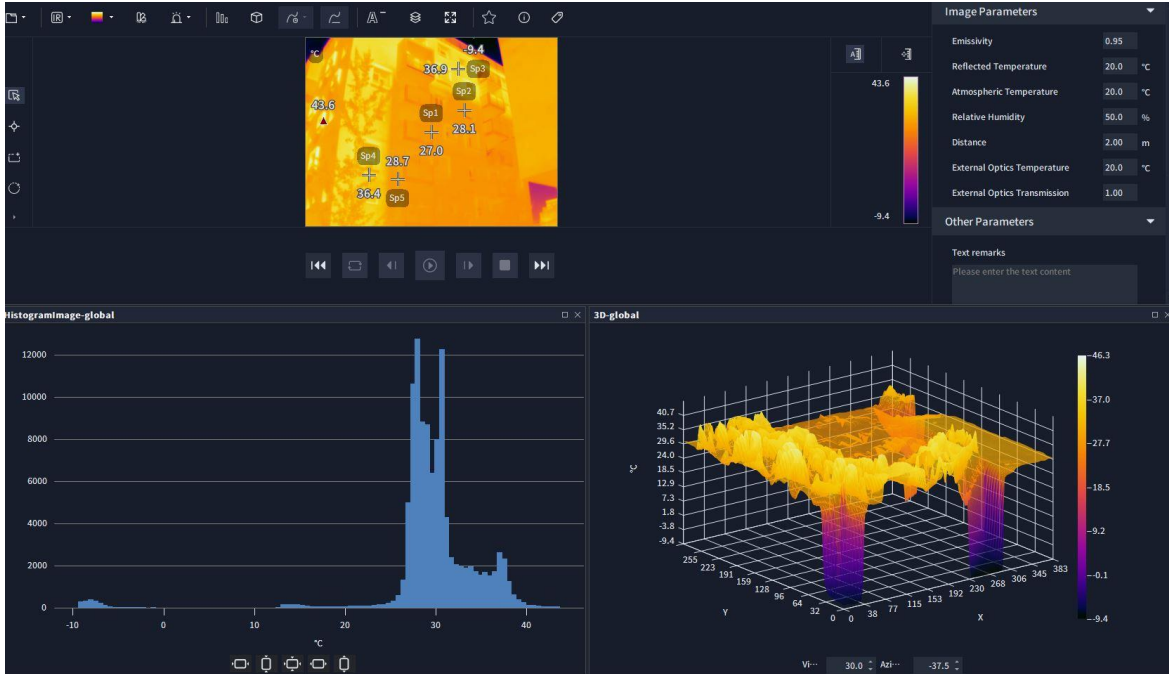
**Abbildung 110 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade mit durchlaufenden auskragenden Balkonen, Hirschstetten 22. Bezirk**



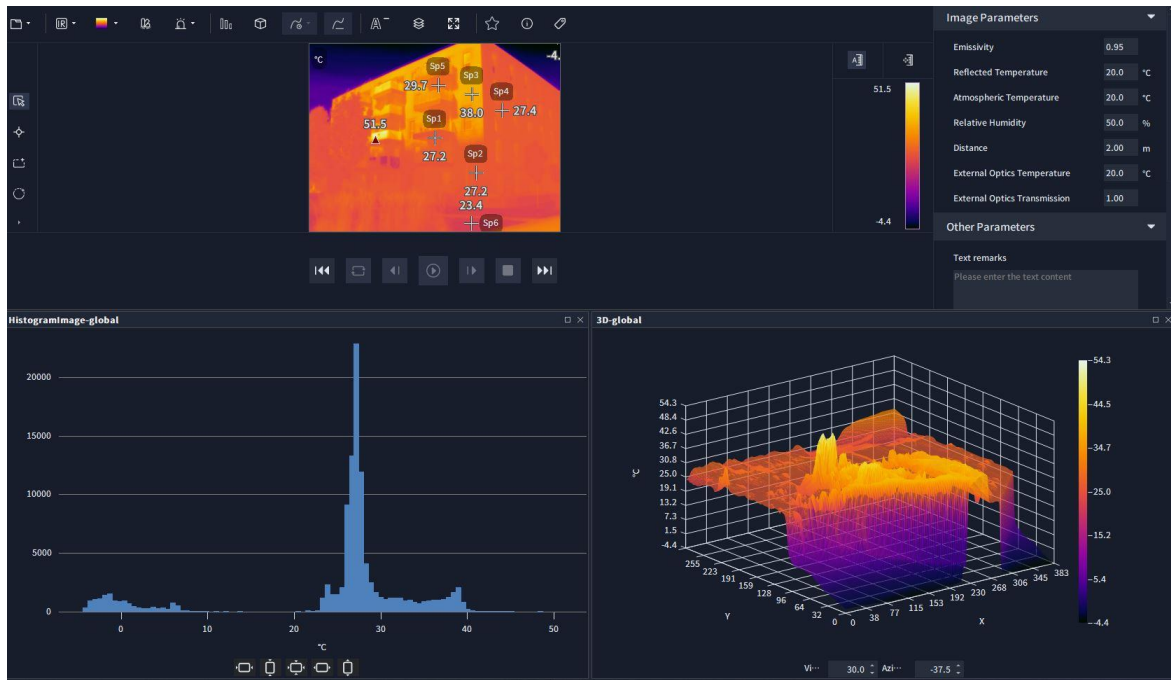
**Abbildung 111 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Gehweg in Wohnhausanlage mit Bäumen, Hirschstetten 22. Bezirk**



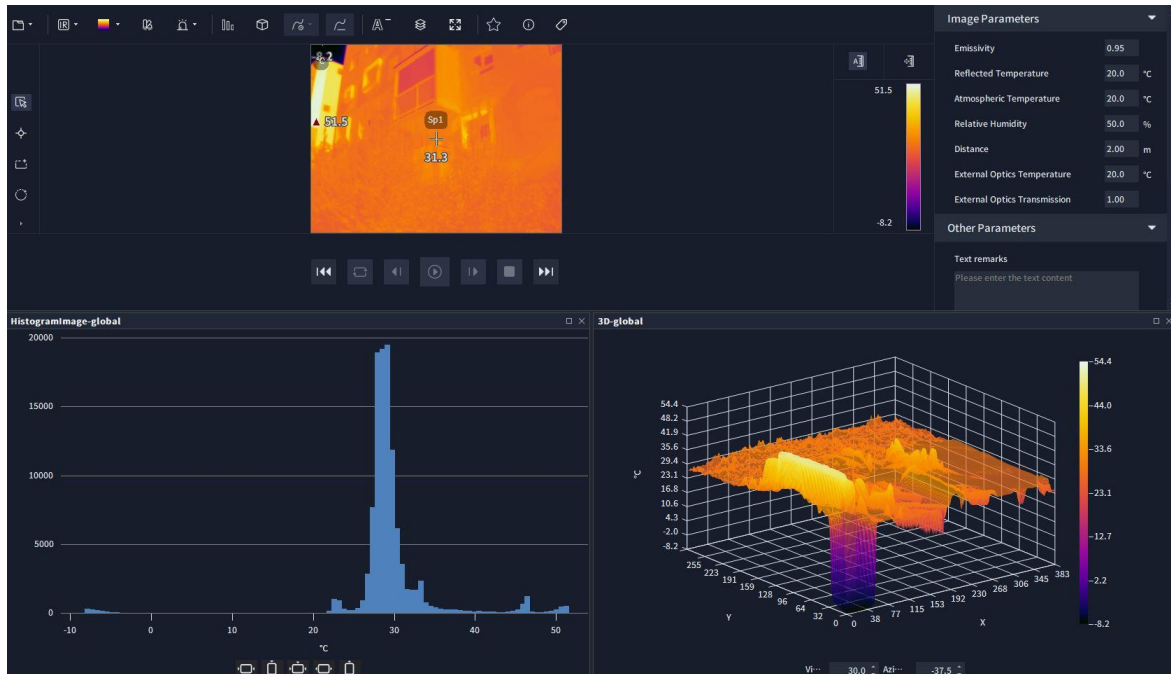
**Abbildung 112 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Gehweg in Wohnhausanlage mit Bäumen, Material und Beschattung, Hirschstetten 22. Bezirk**



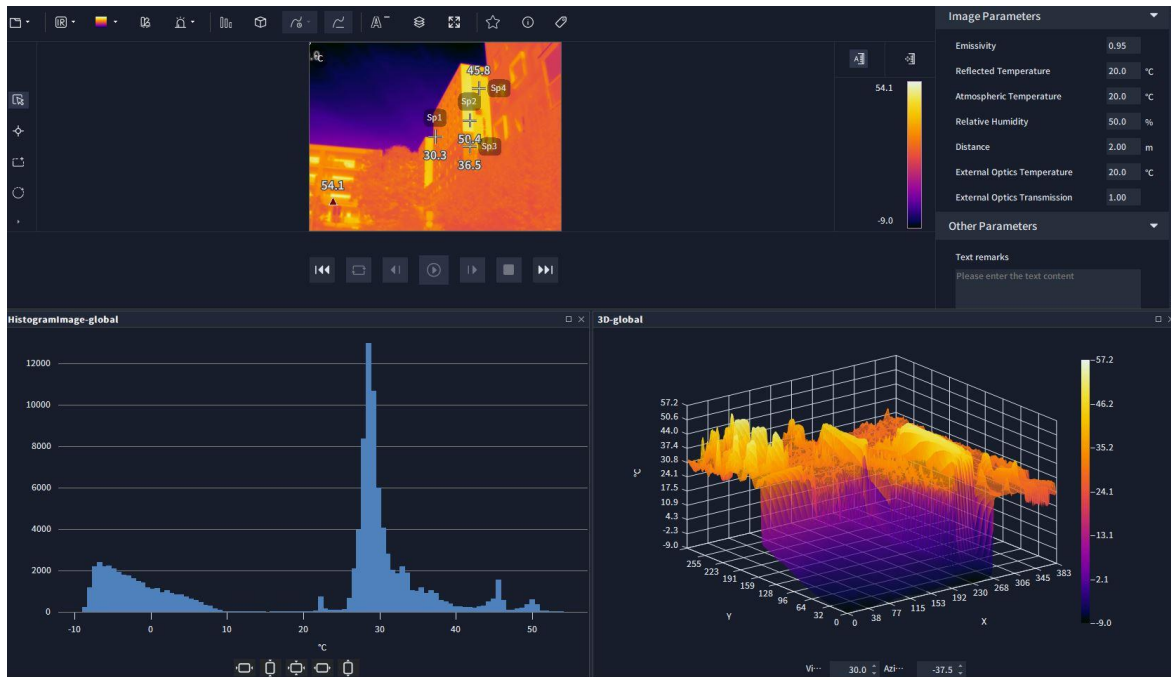
**Abbildung 113 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade durch Nachbarbebauung baulich verschattet, Hirschstetten 22. Bezirk**



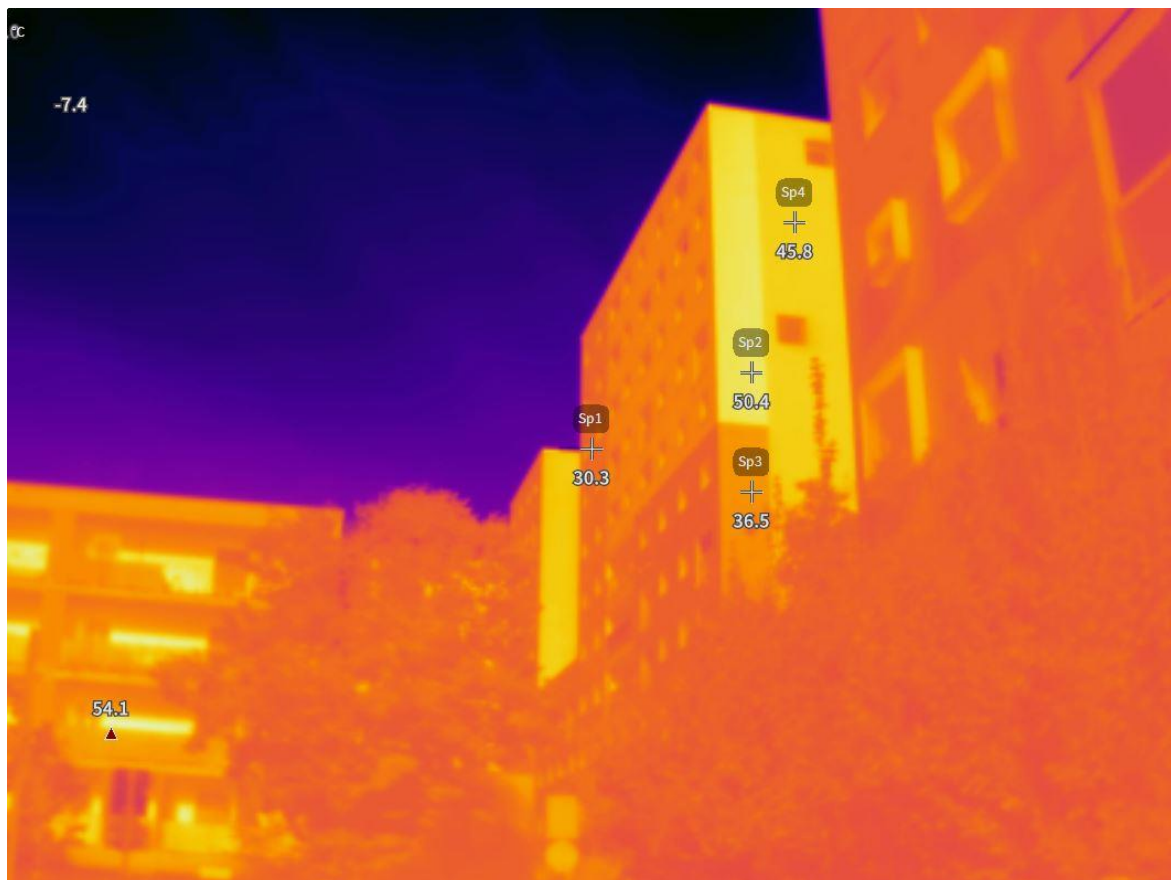
**Abbildung 114 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade durch Bäume verschattet, Hirschstetten 22. Bezirk**



**Abbildung 115 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade noch verschattet, Hirschstetten 22. Bezirk**



**Abbildung 116 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade besonnt, Farbanalyse, Hirschstetten 22. Bezirk**



**Abbildung 117 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse, Hirschstetten 22. Bezirk**

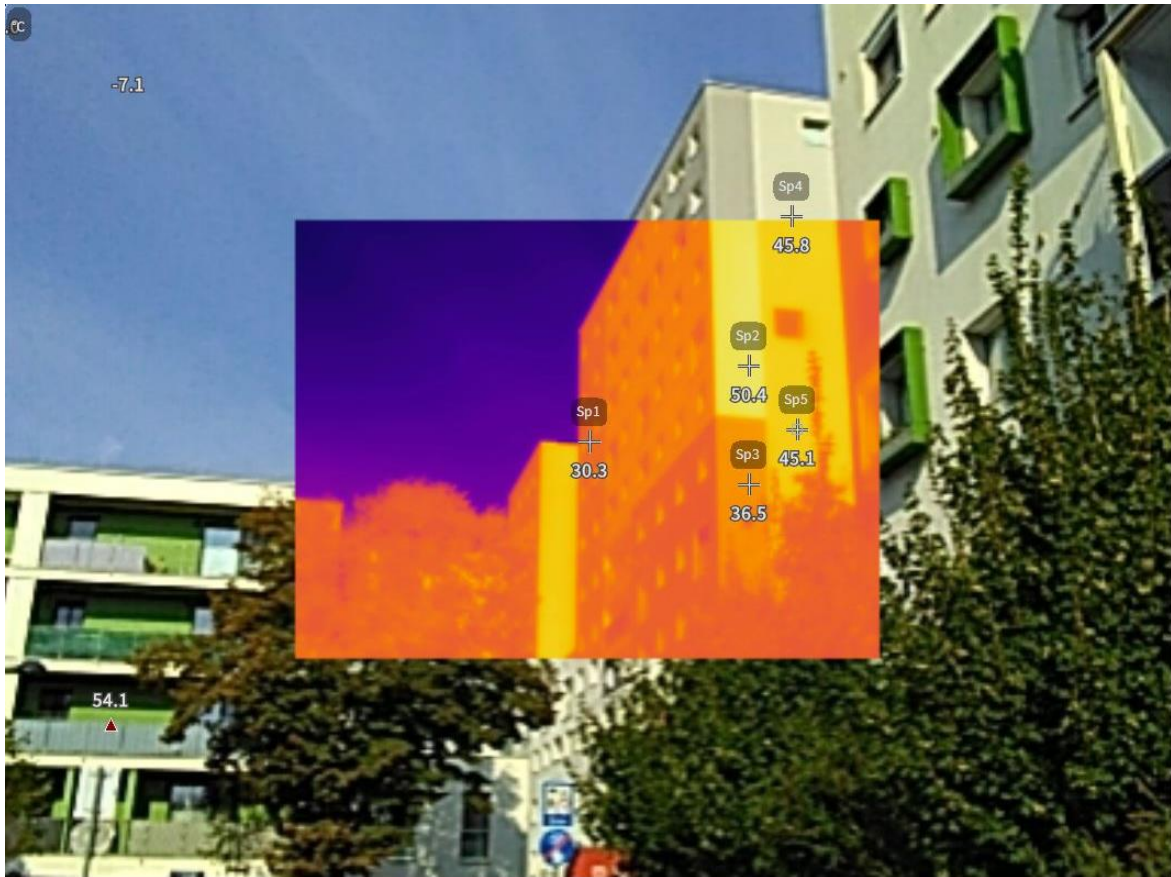


Abbildung 118 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse, Realbild und Wärmebild, Hirschstetten 22. Bezirk

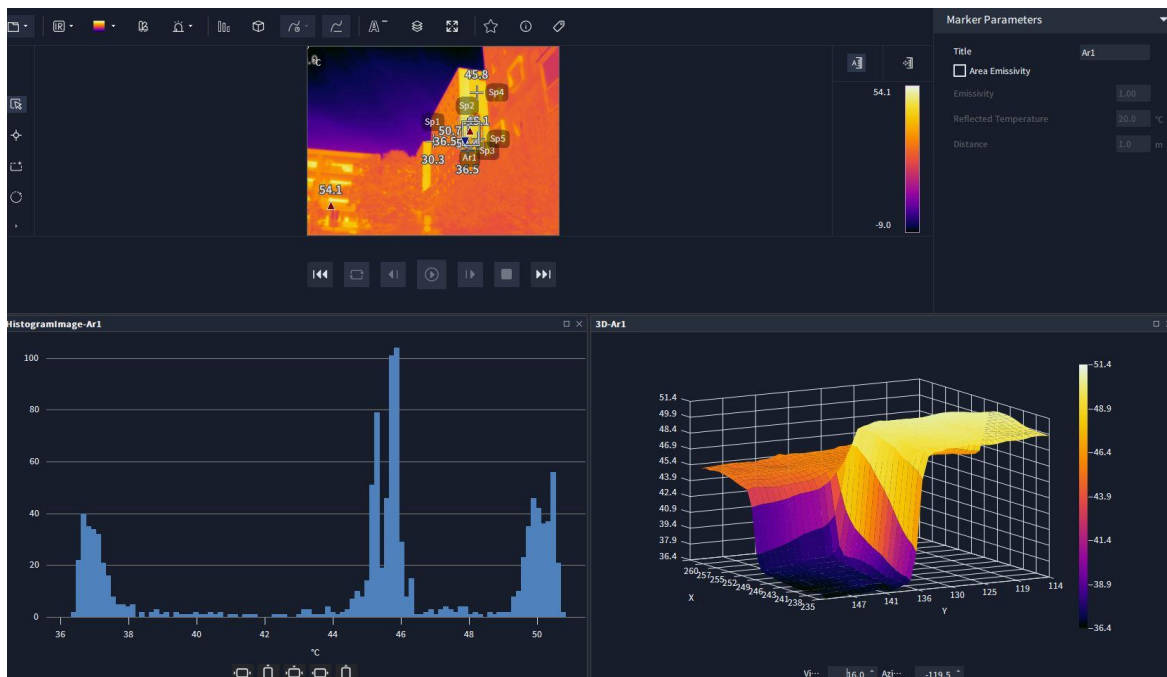


Abbildung 119 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse detailliert, Hirschstetten 22. Bezirk

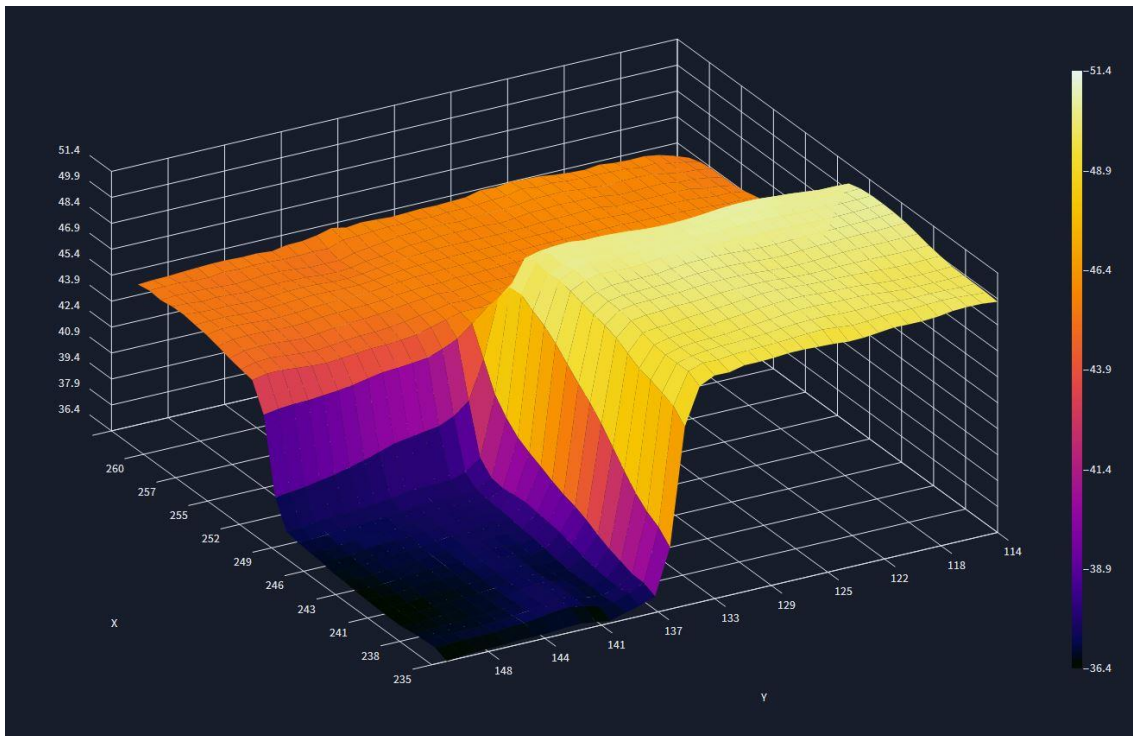


Abbildung 120 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse detailliert

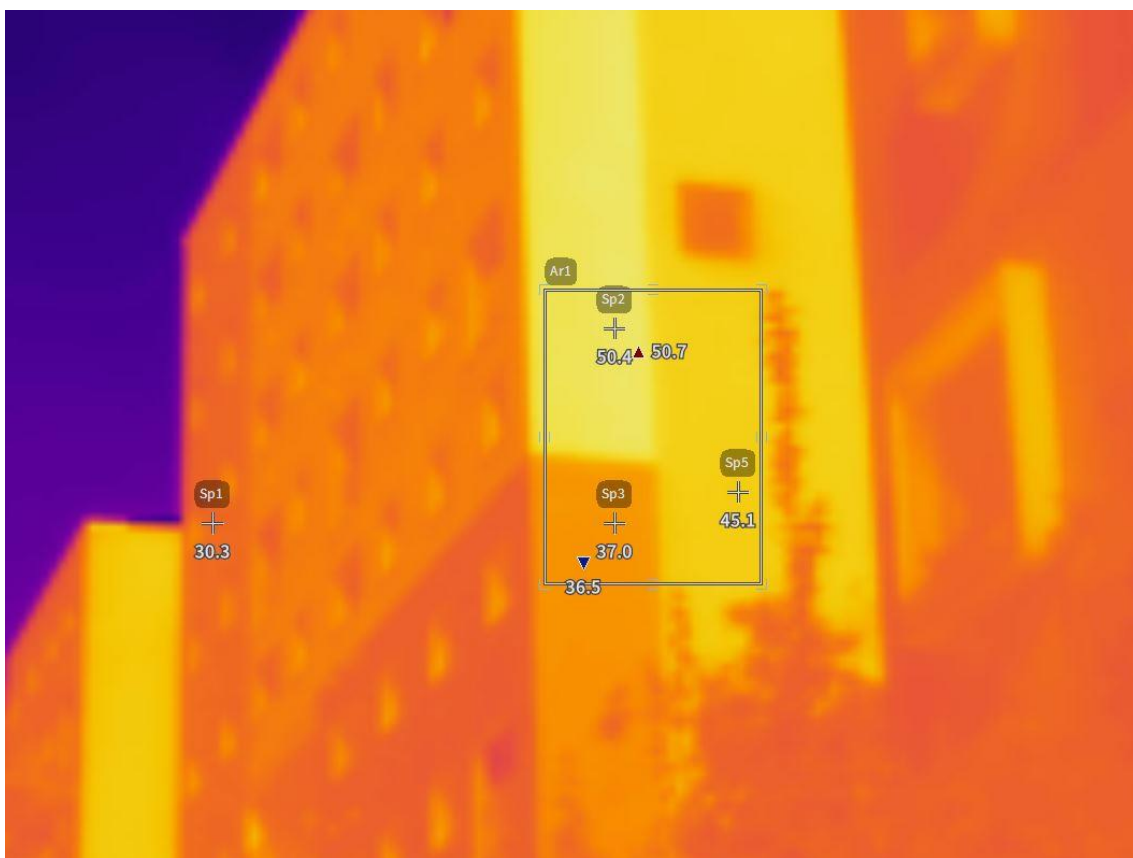


Abbildung 121 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse detailliert, Hirschstetten 22. Bezirk



Abbildung 122 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Bäume teilverschattet, durch auskragende Balkone teilverschattet, Hirschstetten 22. Bezirk

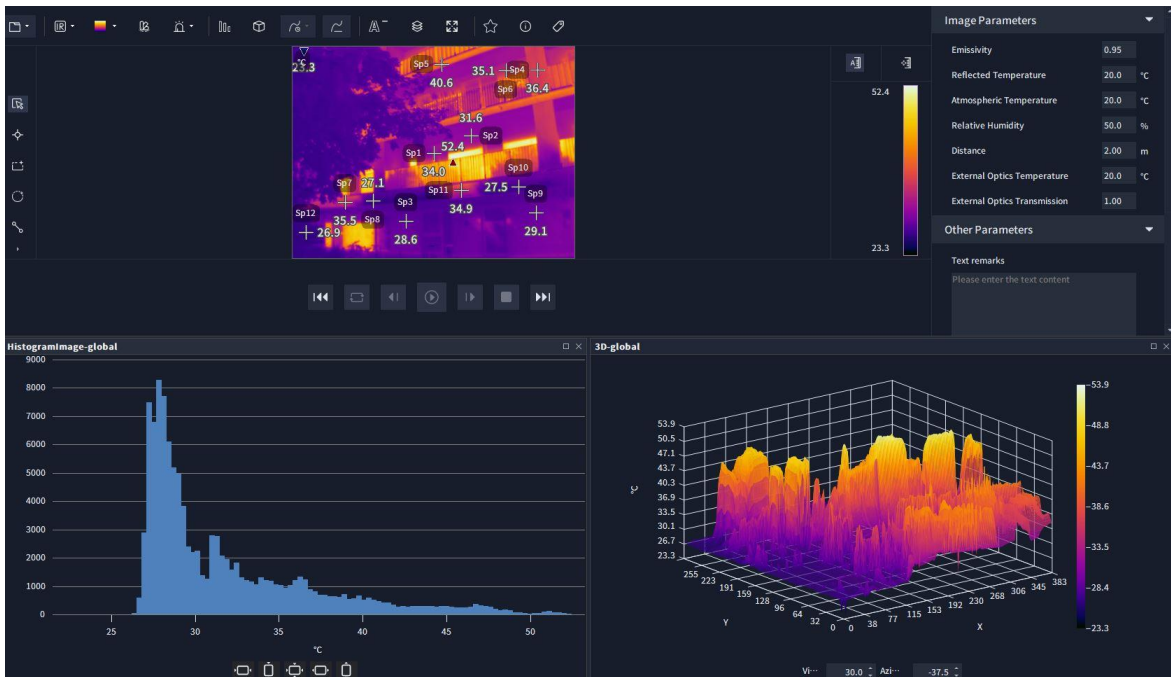


Abbildung 123 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Bäume teilverschattet, durch auskragende Balkone teilverschattet, Hirschstetten 22. Bezirk

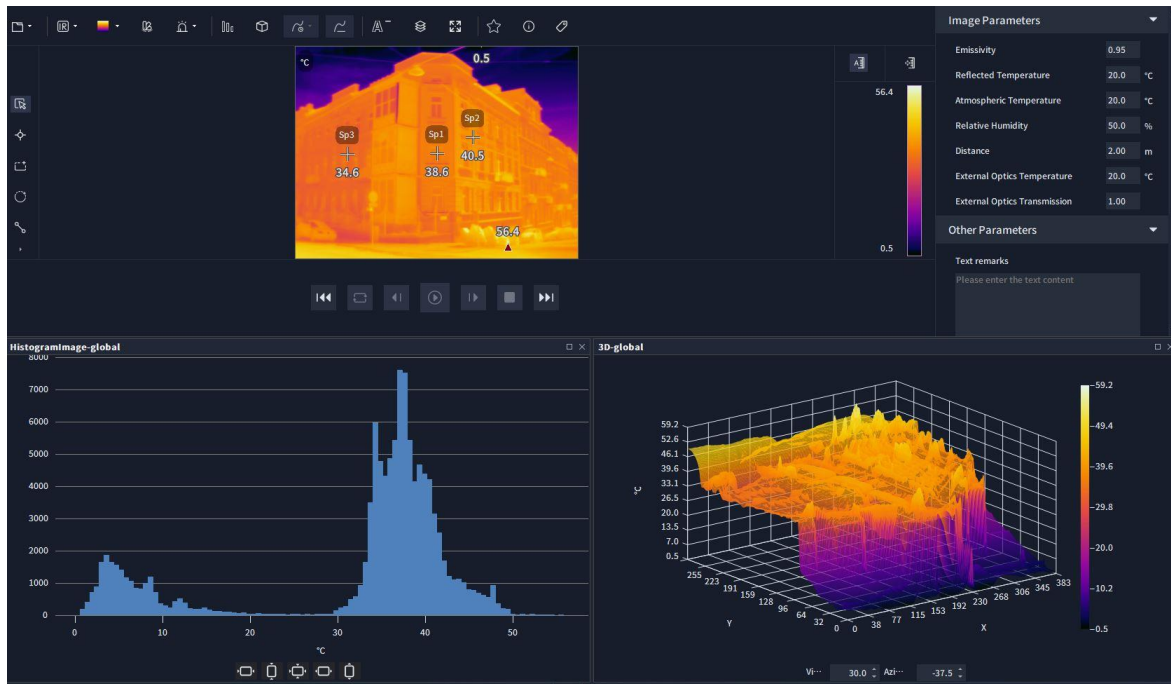


Abbildung 124 Oberflächentemperaturen auf Fassade eines Wiener Gründerzeitgebäudes, Gregor-Mendel-Straße 18. Bezirk

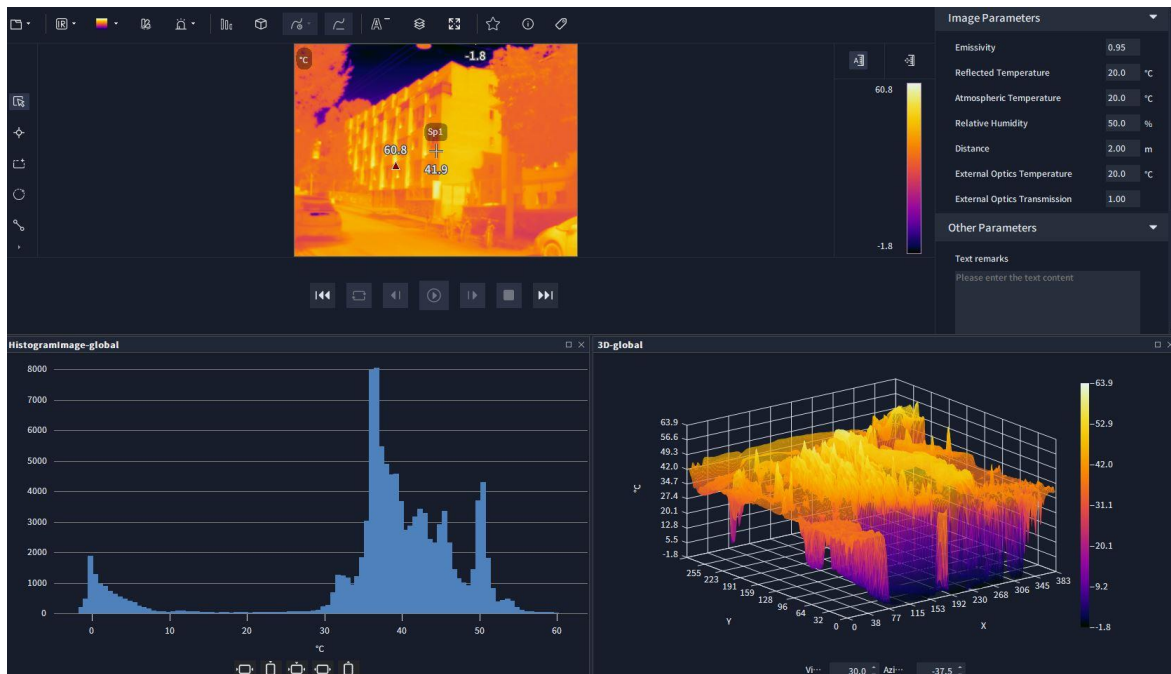
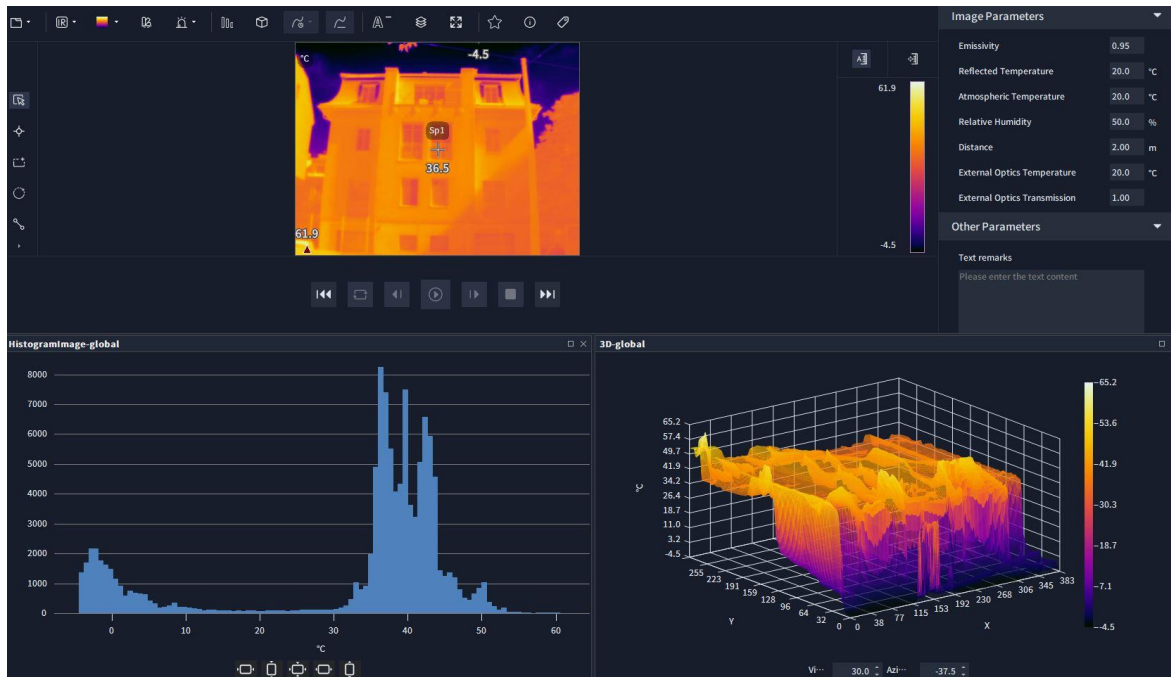
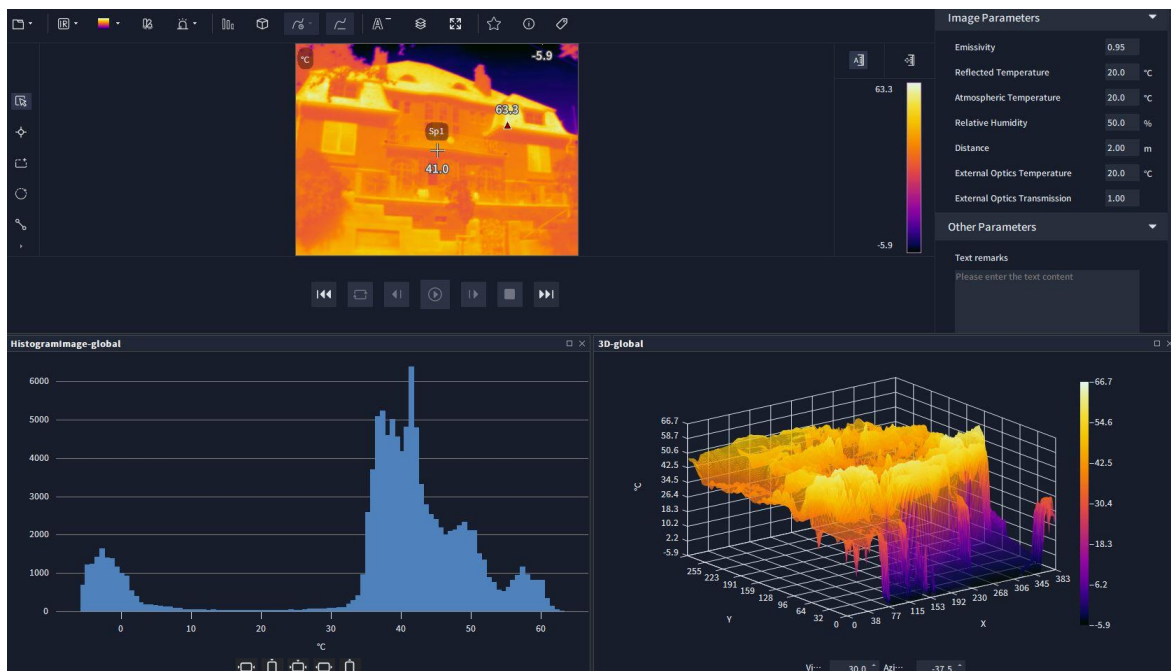


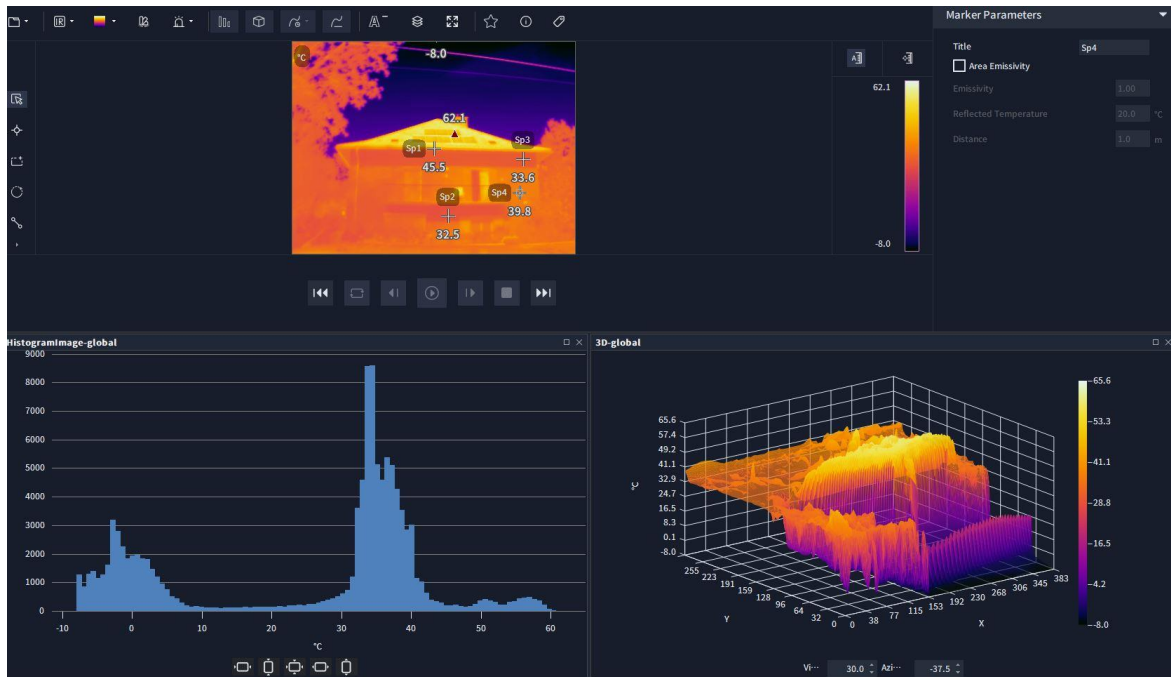
Abbildung 125 Oberflächentemperaturen auf der Fassade eines 60er, 70er Jahre Gebäudes, unverschattet, Gregor-Mendel-Straße 18. Bezirk



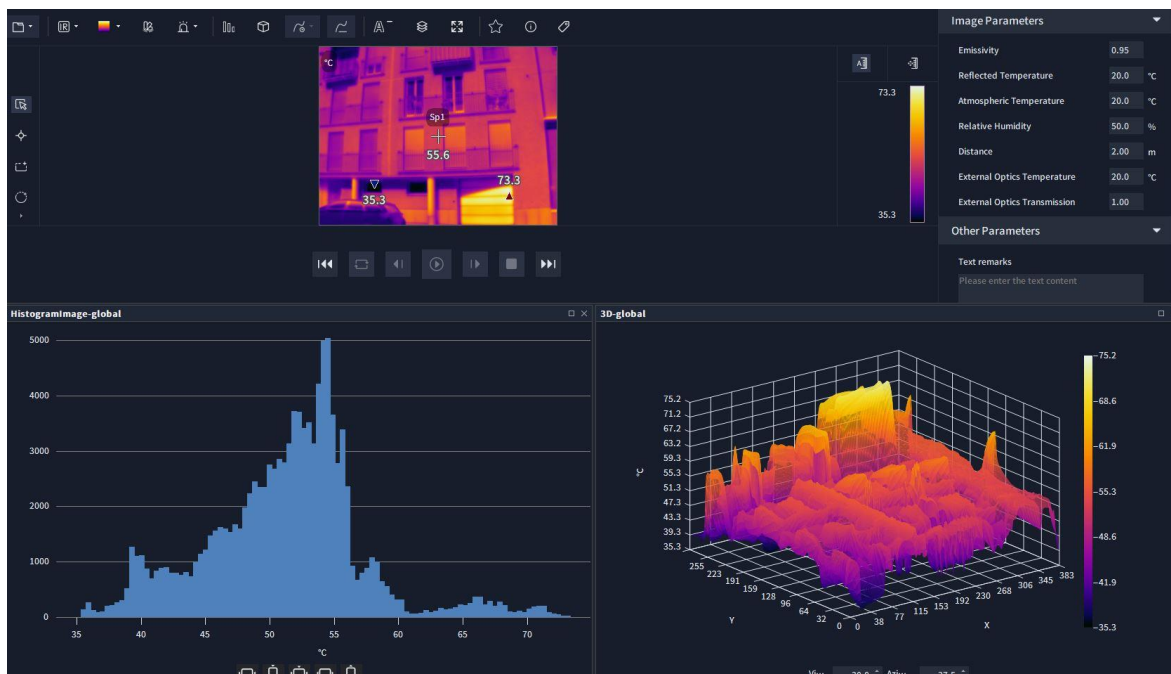
**Abbildung 126** Oberflächentemperaturen auf der Fassade eines Wiener Gründerzeitgebäudes, teilweise durch Baum verschattet, Peter-Jordan-Straße 18. Bezirk



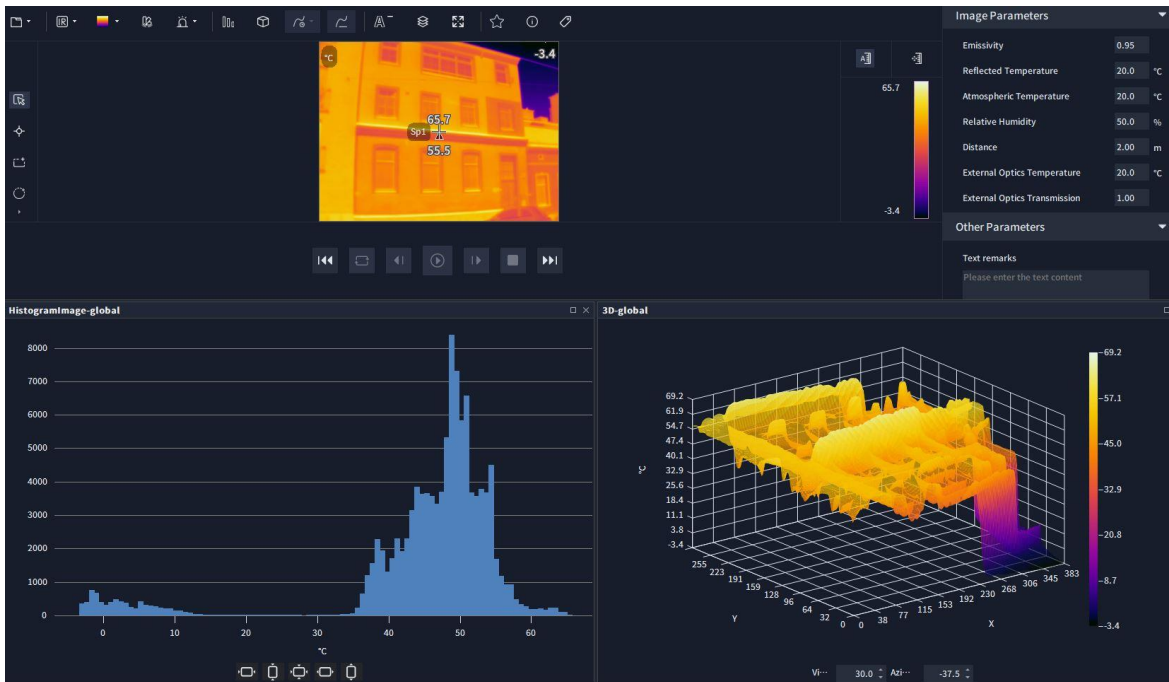
**Abbildung 127** Oberflächentemperaturen auf der Fassade eines Wiener Gründerzeitgebäudes, teilweise Balkone, teilweise Dachüberstand, Peter-Jordan-Straße 18. Bezirk



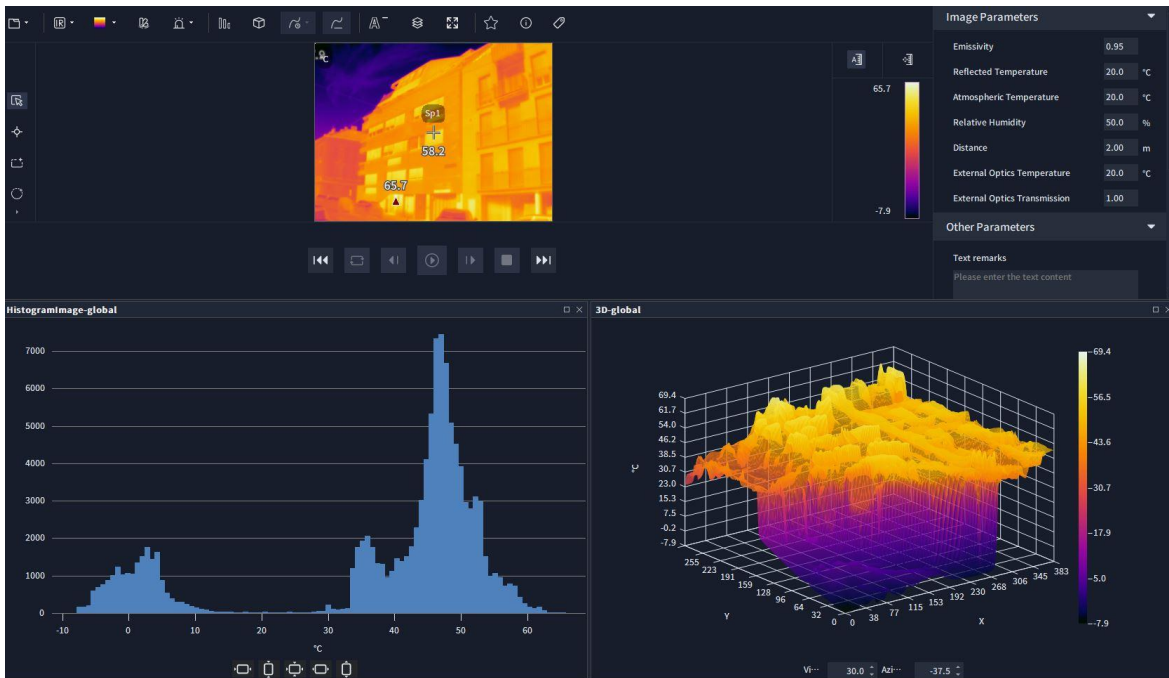
**Abbildung 128** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Dachüberstand teilverschattet, durch auskragenden Balkon teilverschattet, durch Bäume teilverschattet, Peter-Jordan-Straße 18. Bezirk



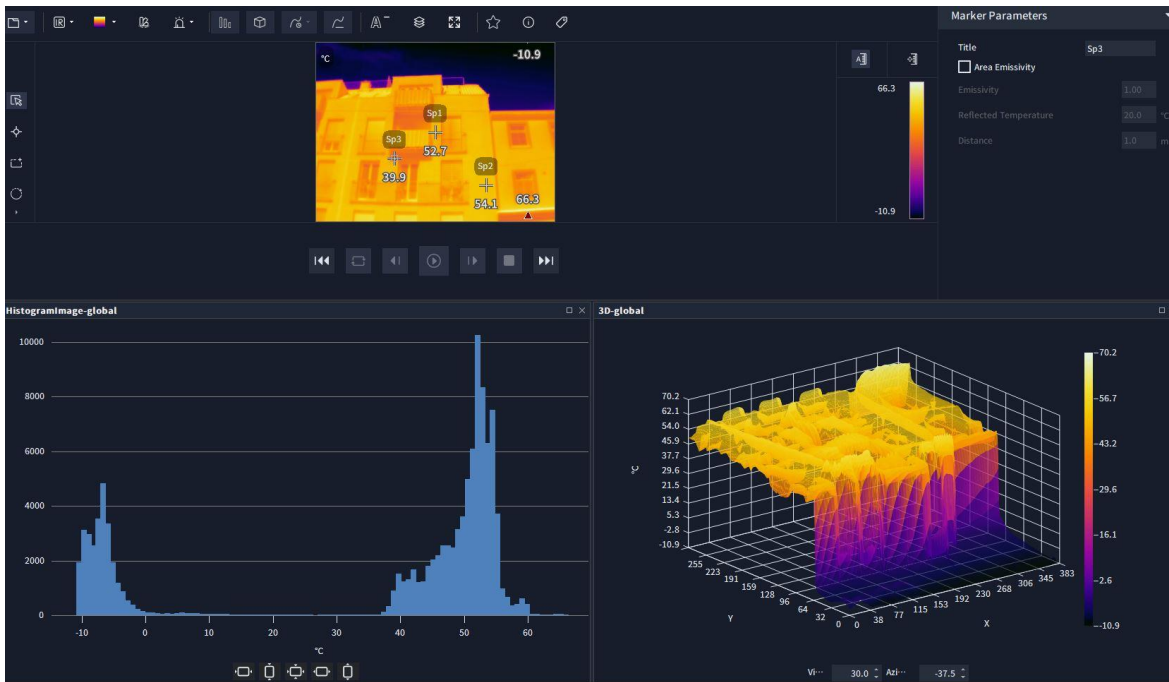
**Abbildung 129** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Neubau, Sternwartestraße 18. Bezirk



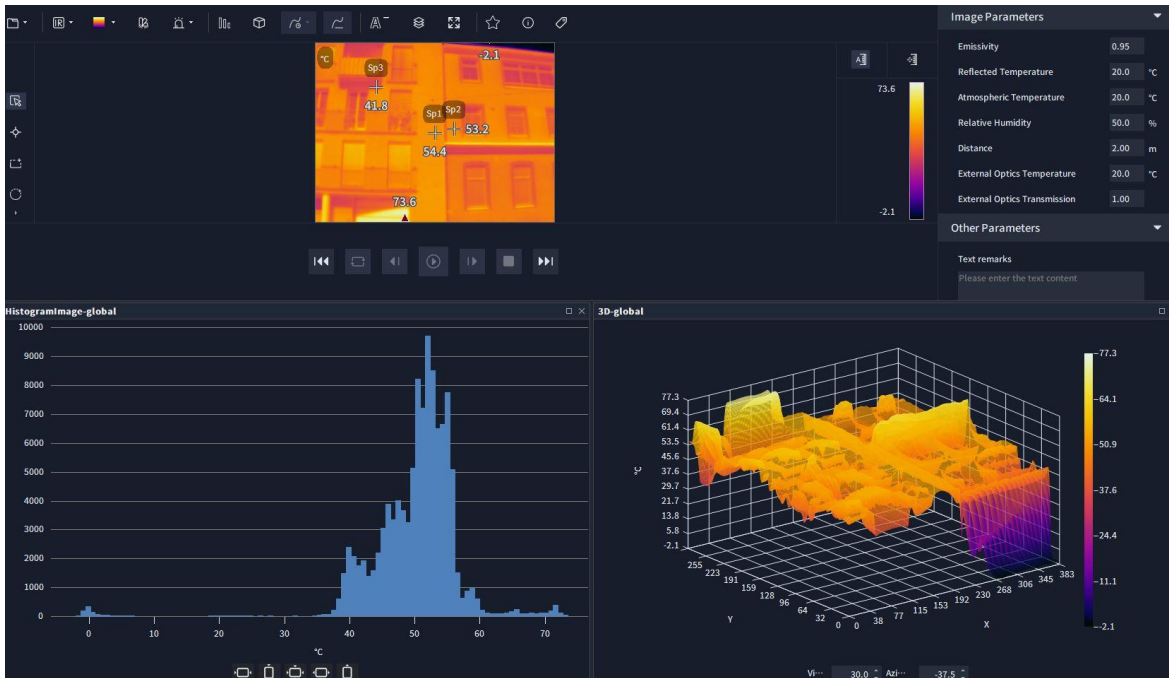
**Abbildung 130 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Sternwartestraße 18. Bezirk**



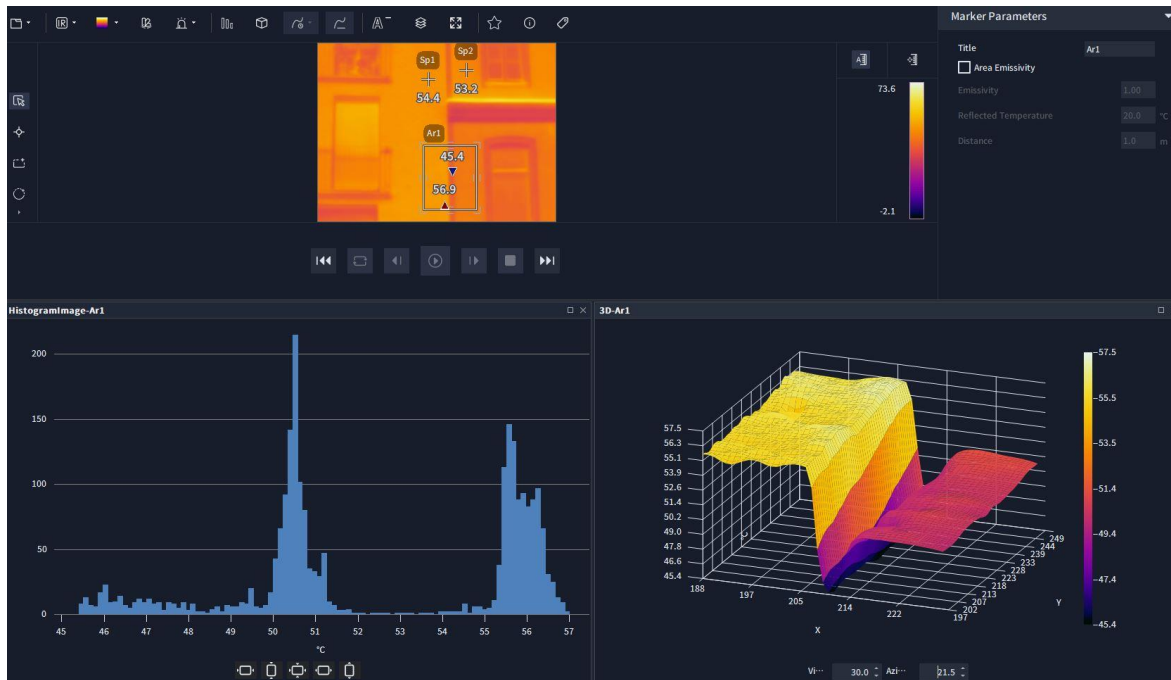
**Abbildung 131 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Sternwartestraße 18. Bezirk**



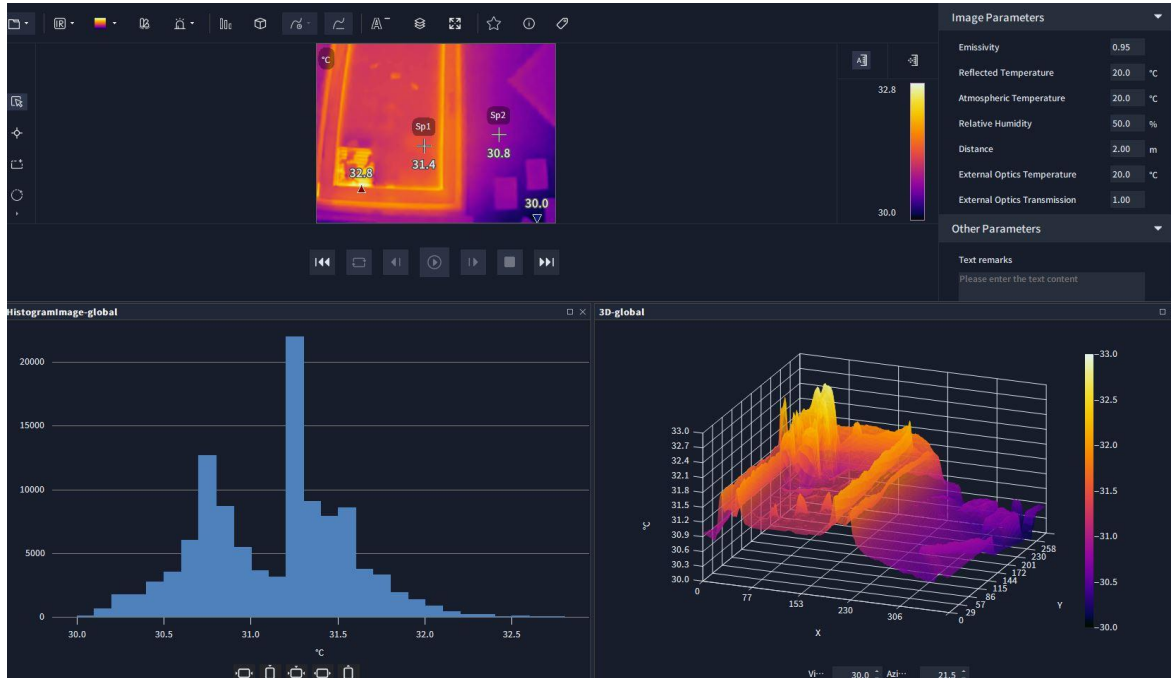
**Abbildung 132** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Balkon teilverschattet, Sternwartestraße 18. Bezirk



**Abbildung 133** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Vergleich von zwei Gebäudefassaden, Sternwartestraße 18. Bezirk



**Abbildung 134** Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besont, Vergleich von zwei Gebäudefassaden, Detail, Sternwartestraße 18. Bezirk



**Abbildung 135** Analyse raumseitiger Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besont, Bereich Fenster (2 Scheiben-Isolierverglasung), Stahlbeton außen wärmedämmt

## 8.4 Resümee

Wie auch im Winter zur Ortung von thermischen Schwachstellen eignet sich die Thermografie auch um im Sommer die sich auf Fassaden einstellenden Temperaturen zu beurteilen. So sind – unter der Kenntnis der Bauweise und des Dämmstandards rasch erste Rückschlüsse auf den thermischen Komfort im Innenraum bzw. zur Hitzetauglichkeit des Gebäudes möglich. Wie anhand der gezeigten Beispiele dargestellt bringt eine Verschattung durch Bäume auf der Fassade eine erhebliche Reduktion der maximalen Temperaturen, auch durch Dachvorsprünge und Balkone, kann ein hoher Verschattungsgrad auf der Fassade realisiert werden. Um die über Fensterflächen in die Wohnräume eindringende Hitze zu reduzieren sind zum einen außenliegende Verschattungen erforderlich. Weiter sollte die Größe der Fenster aus Sicht des Hitzeschutzes auf minimiert werden, bzw. auf die erforderliche freie Querschnittsfläche für eine gute Nachtlüftung abgestimmt werden. Hinsichtlich der Oberflächentemperaturen spielt die Farbwahl und damit die Strahlungseigenschaften des Materials eine ausschlaggebende Rolle wie Abbildung 116 bis Abbildung 121 zeigen.



## 9 Simulation

### 9.1 Einleitung

Auf Basis des Sommer-Komfort-Monitorings (Kapitel 7.2) werden Parameterstudien für die thermischen Raumsimulationen abgeleitet und instationäre Raumsimulationen mit dem Programmpaket IDA ICE 4.8 durchgeführt.

Für definierten Strategien und Szenarien wird der Komfort anhand der operativen Temperatur, der Stunden mit Temperaturen über 27 °C, des thermischen Komforts nach Komfortklassen ermittelt. Um künftige Klimaentwicklung zu berücksichtigen, werden in 9.3 auch Analysen zu Klimaszenarien 2050, 2100 bzw. +1,5 °C und +3,0 °C u.Ä. durchgeführt.

Es wird eine zusammenfassende Bewertung von Maßnahmen hinsichtlich des thermischen Komforts im Sommer durchgeführt, mit denen – trotz Verzicht auf aktive Kühlmaßnahmen – der Komfort maximiert werden kann.

### 9.2 Raummodell

Auf Basis von Planunterlagen und Vorgaben werden Modellräume konzipiert. Bauteilaufbauten und Geometrie sind im Anhang zusammengefasst.

### 9.3 Varianten

Ausgehend von einem Normnutzungsprofil zur Beurteilung sommerlicher Überwärmung nach ÖNorm B 8110-3 mit 80 W/Person und 150 W/Gerät u. Person und intensitätsgesteuerter Verschattung und temperaturgesteuerter Fensteröffnung werden zur Beantwortung der Forschungsfrage weiteren Szenarien entwickelt.

#### 9.3.1 Sonnenschutz

Hinsichtlich Verschattung wird zwischen den Fensterebenen liegendem Sonnenschutz und Außen liegendem Sonnenschutz unterschieden. Bei aktivem Sonnenschutz ist ggf. keine Fensteröffnung möglich. Die Strategien zur Aktivierung des Sonnenschutzes werden als weitere Varianten angelegt. Hinsichtlich Fensteröffnung werden die Varianten, Hauptlüftungsflügel (fensteroffen), Oberlichtflügel (oberlichtoffen) und geschlossenen Fenstern unterschieden.

### 9.3.2 Klimadaten

Grundsätzlich werden die Varianten mit dem Klimadatensatz A2 2020<sup>162</sup> berechnet, da dieser den aktuellen innerstädtischen Klimabedingungen in Wien im Sommer am ehesten entspricht. Darüber hinaus werden die Auswirkung hinsichtlich künftiger Klimabedingungen anhand folgender Klimaszenarien untersucht:

- **A2 2050**<sup>163</sup> Der Klimadatensatz A2 2050 von Meteonorm beschreibt das Klima für das Jahr 2050 unter einem Szenario, bei dem die Treibhausgasemissionen weiterhin auf hohem Niveau steigen.
- **A2 2100**<sup>164</sup> Der Klimadatensatz A2 2100 von Meteonorm beschreibt das Klima für das Jahr 2100 unter einem Szenario, bei dem die Treibhausgasemissionen weiterhin auf hohem Niveau steigen. Es zeigt eine mittlere globale Erwärmung von 5,8 Grad Celsius bis 2100 im Vergleich zu den vorindustriellen Niveaus. Es berücksichtigt auch die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Niederschläge und Windgeschwindigkeiten.
- **RCP 4.5**<sup>165</sup> RCP 4.5 ist ein Klimaszenario, das eine mittlere globale Erwärmung bis 2100 von 2,6 Grad Celsius prognostiziert, bezogen auf das vorindustrielle Niveau. Dieses Szenario basiert auf Annahmen, die eine vollständige Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung von Treibhausgasemissionen umfassen. Es geht davon aus, dass die Emissionen bis 2050 auf etwa die Hälfte des Niveaus, das im Jahr 2000 bestand, zurückgehen.
- **RCP 8.5**<sup>166</sup> ist ein Klimaszenario, das eine mittlere globale Erwärmung bis 2100 von 4,8 Grad Celsius prognostiziert, bezogen auf das vorindustrielle Niveau. Es basiert auf Annahmen hoher Emissionen, die durch ein starkes Wachstum der Treibhausgasemissionen bis 2100 und einer schwachen Umsetzung von Maßnahmen zur Emissions-reduzierung gekennzeichnet sind.

### 9.3.3 Verschattungs- und Lüftungs-Strategien

Die Lüftungsstrategie bzw. Öffnungsdauer und Öffnungszeitpunkt werden als weitere Varianten, als „Strategien“ bezeichnet, angelegt. Diese Strategien werden nachfolgend beschrieben.

Die Berechnung erfolgt für alle Varianten in folgenden Sets:

- V1 ohne Lüftung, ohne Verschattung
- V2 Lüftung (temperaturgeregelt), ohne Verschattung

<sup>162</sup> Klimadatensatz A2 2020 von Meteonorm

<sup>163</sup> Klimadatensatz A2 2050 von Meteonorm

<sup>164</sup> Klimadatensatz A2 2100 von Meteonorm

<sup>165</sup> Klimaszenario RCP 4.5 beschrieben in 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC)

<sup>166</sup> Klimaszenario RCP 8.5 beschrieben in 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC)

- V3 Lüftung (temperaturgeregelt), Verschattung strahlungsgeregelt
- V4 Verschattung (strahlungsgesteuert), ohne Lüftung
- V5 Lüftung zeitplangesteuert und Verschattung zeitplangesteuert (Praxis)

Der vmtl. ungünstigste Fall hinsichtlich maximaler Temperaturen und damit der höchste zu erwartendem Diskomfort wird sich bei geschlossenen Fenstern und inaktivem Sonnenschutz ergeben. Diese Variante – ohne Fensteröffnung, ohne Sonnenschutz wird im Set V1 berechnet.

Mit den Sets V1 bis V4 werden die Grenzbereiche ausgelotet, vom vmtl. ungünstigsten Szenario „ohne Lüftung“, „ohne Verschattung“ bis hin zum vmtl. günstigsten Szenario „Lüftung temperaturgeregelt“, „Verschattung strahlungsgesteuert“. Da im gegenständlichen Projekt davon ausgegangen wird, dass sowohl Lüftung, also das Öffnen des Fensters, wie auch die Betätigung des Sonnenschutzes manuell, also händisch erfolgt werden mit dem Set V5 die realen Bedingungen abgebildet.

Es werden verschiedene Verschattungs- und Lüftungsstrategien festgelegt.

**Strategie 1** Es wird bis 1 h in der Früh gelüftet und dann das Fenster geschlossen. Abends wird das Fenster wieder geöffnet und bleibt über Nacht offen. Die Verschattung ist nur aktiv, wenn die Fenster geschlossen sind.

**Strategie 2** Es wird in der Früh 1 h gelüftet, danach wird das Fenster geschlossen und die Verschattung aktiviert. Abends wird die Verschattung wieder hochgefahren und das Fenster geöffnet.

**Strategie 3** Es wird in der Früh 1/2 h gelüftet, danach wird das Fenster für 1/2 h geschlossen und die Verschattung aktiviert. Dies wiederholt sich

**Strategie 4** Es wird in der Früh 1 h gelüftet und dann das Fenster (großer Fensterflügel) geschlossen. Abends wird das Fenster wieder geöffnet und bleibt über Nacht offen. Die Verschattung ist nur aktiv, wenn die Fenster geschlossen sind. Das Oberlicht bleibt durchgehend geöffnet.

**Strategie 5** Es wird bis 8 Uhr gelüftet und dann das Fenster (großer Fensterflügel) geschlossen. Abends wird das Fenster wieder geöffnet und bleibt über Nacht offen. Die Verschattung ist nur aktiv, wenn die Fenster geschlossen sind. Das Oberlicht wird wochentags geschlossen, wenn der große Fensterflügel geschlossen wird und bleibt sonst durchgehend geöffnet.

Die in dieser Tabelle dargestellten Strategien werden in den Simulationen in Kapitel 9.4.1 berücksichtigt.

**Profile:** Vor dem Hintergrund, dass in einer Vielzahl von Wohngebäuden – nicht zuletzt mit der Zunahme von Home-Office auch Büronutzung stattfindet wurden im Zuge der Untersuchung auch verschiedene Nutzungsprofile für Vollzeit, Teilzeit in den Simulationen berücksichtigt, wodurch über eine normative Worst-Case-Betrachtung mit ständiger Anwesenheit, auch eine differenzierte Betrachtung nach Tageszeiten in denen Personen anwesend sind und beispielsweise ein Fenster zum Lüften öffnen, oder einen Sonnenschutz schließen können, möglich wird.

## 9.4 Ergebnisse

Insgesamt wurden im beispielsweise im Set V5 - Lüftung zeitplangesteuert und Verschattung zeitplangesteuert - 5 Strategien (1 bis 5, siehe zuvor) betrachtet. Wobei in jeder Variante wiederum 5 Räume mit außen liegendem und 5 Räume mit zwischen den Fensterebenen liegendem Sonnenschutz untersucht werden. In den Set V1 bis V4 werden jeweils die Strategie „ohne Lüftung“, „ohne Verschattung“ untersucht. Es werden wesentliche Ergebnisse dieser Variantenstudie dargestellt und bewertet.

### 9.4.1 Simulationen Gebäude (IDA ICE)

#### 9.4.1.1 Thermischer Komfort – $T_{max}$

Nachfolgend werden die bereits aufbereiteten Ergebnisse zur maximalen operativen Temperatur, jeweils nach Strategien (Abbildung 136), wie auch nach Profilen (Abbildung 137) sortiert, ausgegeben und – wie in Abbildung 138 – die Bewertungsgrenzen eingetragen.

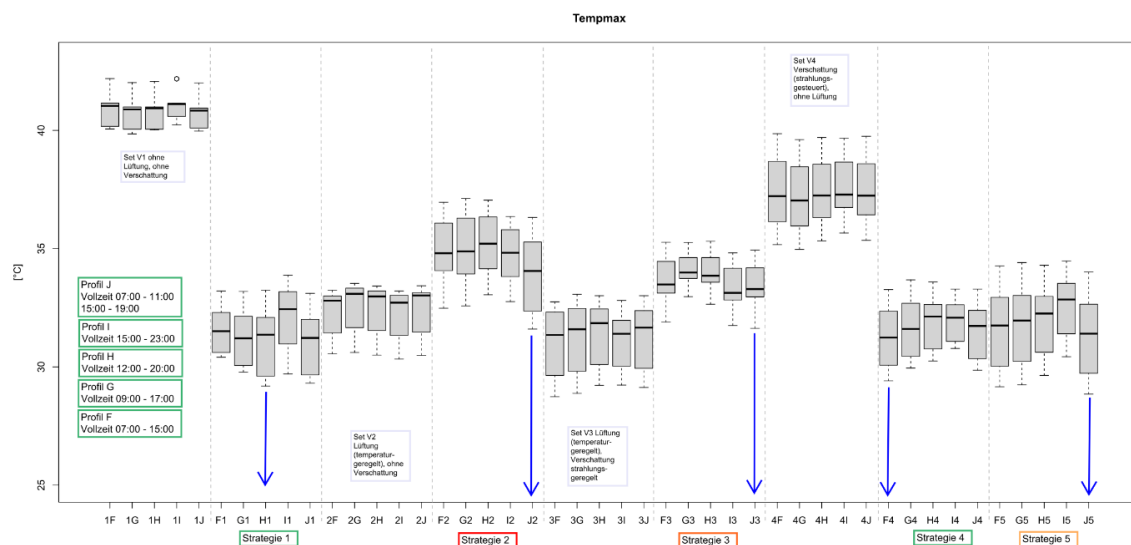


Abbildung 136 Auswertung  $T_{max}$  nach Sets und Strategien<sup>167</sup>

<sup>167</sup> Die verwendeten Strategien werden auf S. 156 dargestellt.

Conclusio:

- Strategie 1, 4 und 5 zeigen die günstigsten Ergebnisse hinsichtlich der maximalen operativen Temperatur.
- Nur geringfügig günstiger zeigt sich das Set V3 „Lüftung temperaturgeregelt, Verschattung strahlungsgeregelt“.
- Strategie 3 liegt mit den maximalen Temperaturen etwas darüber.
- Deutlich ungünstiger hinsichtlich der maximalen operativen Temperaturen verhält sich Strategie 2. Hier werden maximale operative Temperaturen von 37 °C erreicht.
- Ohne Fensterlüftung und ohne Verschattung stellen sich maximale Temperaturen von über 40 °C ein.
- Ohne Fensterlüftung mit Verschattung stellen sich maximale Temperaturen von 35 °C bis 40 °C ein.

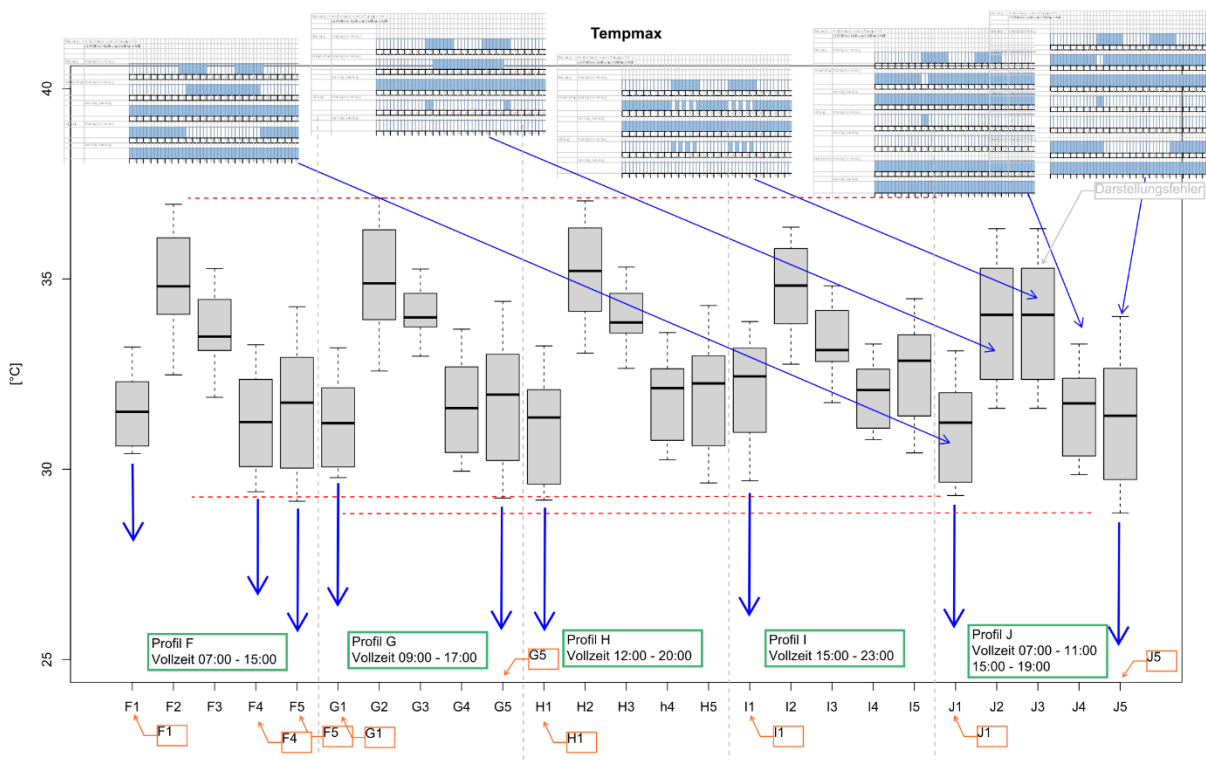


Abbildung 137 Auswertung Maximaltemperatur nach Profilen und Strategien<sup>168</sup>

<sup>168</sup> Die verwendeten Strategien werden auf S. 156 dargestellt.

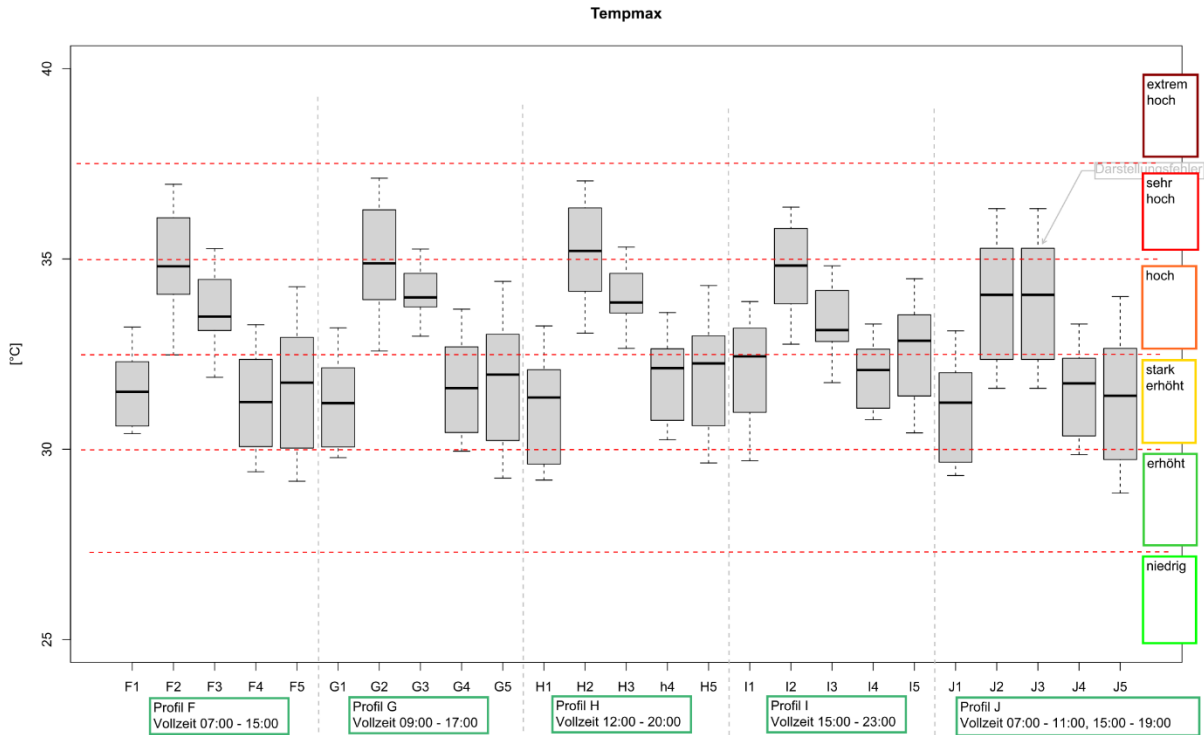


Abbildung 138 Bewertung Maximaltemperatur nach Profilen

### Conclusio

- Strategie 2 führt zu den höchsten maximalen Temperaturen.
- Deutlich besser ist Strategie 3
- Beim Nutzungsprofil F (07:00 bis 15:00) liefern Strategie 1, 4 und 5 gute Ergebnisse.
- Bei den Profilen G, H und I liefert Strategie 1 die günstigsten Ergebnisse.
- Bei Profil J sind Strategie 1 und 5 günstig.
- Kaum Unterschiede ergeben sich hinsichtlich der maximalen operativen Temperaturen zwischen den Profilen, F, G und H. Das heißt hinsichtlich der Spitzentemperaturen macht es keinen Unterschied, ob man die Zeitbereiche ab 7, 9 oder 12:00 betrachtet.

#### 9.4.1.2 Thermischer Komfort – $h > 27\text{ °C}$

Nachfolgend werden die bereits aufbereiteten Ergebnisse zu den Stunden der operativen Temperatur über  $27\text{ °C}$ , jeweils nach Sets und Strategien (Abbildung 139), wie auch nach Profilen sortiert, ausgegeben und die Bewertungsgrenzen eingetragen (Abbildung 140).

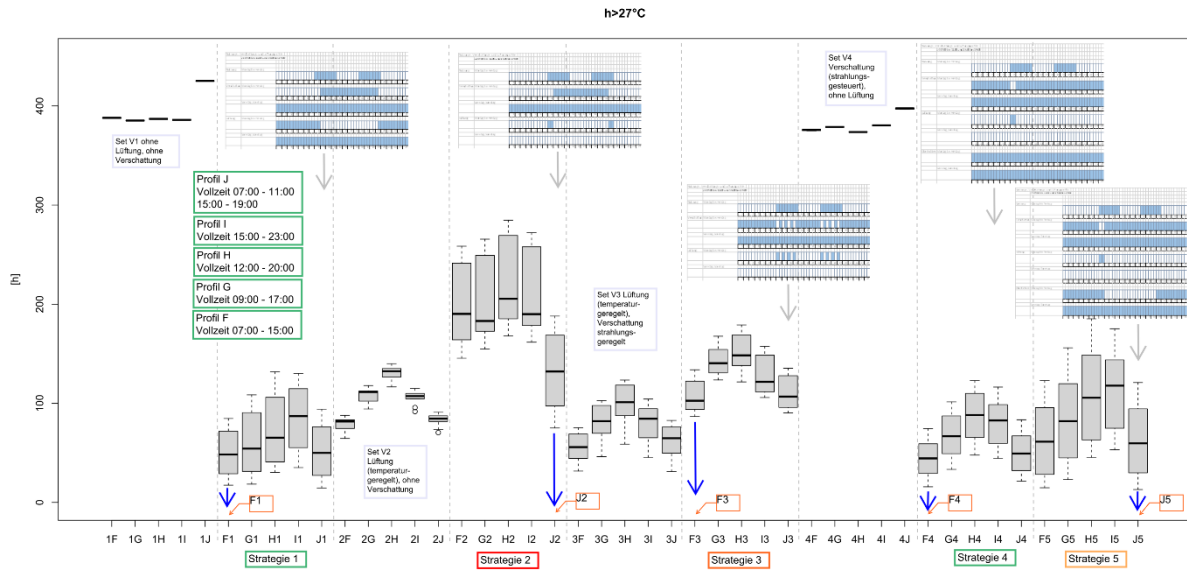
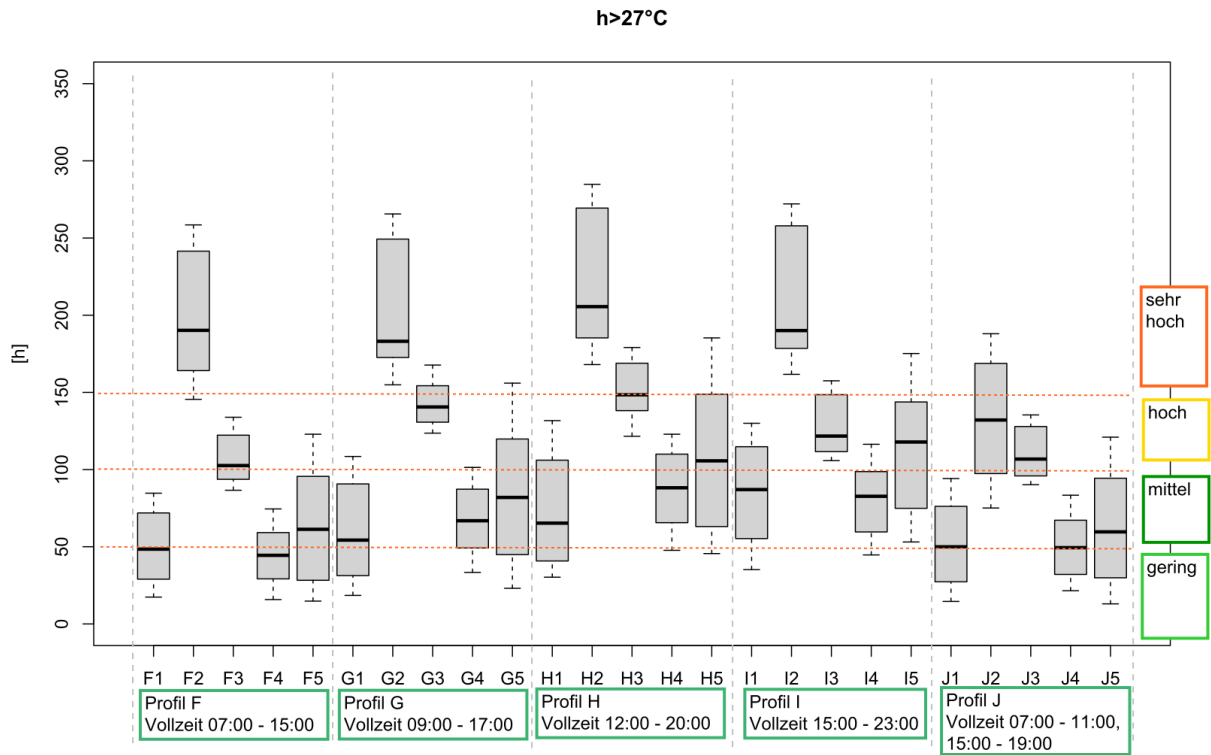


Abbildung 139 Auswertung  $h > 27^\circ\text{C}$  nach Sets und Strategien<sup>169</sup>

## Conclusio

- Strategie 1 liefert ohne Oberlichtöffnung, Strategie 4 liefert mit Oberlichtöffnung die günstigsten Ergebnisse. Diese manuell bedienten Strategien 1 und 4 liefern mit der V3 „Lüftung temperaturgeregelt, Verschattung strahlungsgesteuert“ und V2 „Lüftung temperaturgeregelt, ohne Verschattung“ vergleichbare Übertemperatur-Stunden.
- Am günstigsten ist es auch bei Vollzeit zeitlich zu beginnen (Profil F).
- Aber auch eine Aufteilung der Arbeitszeit (Profil J) ist sinnvoll.
- Am ungünstigsten ist die Arbeitszeit zwischen 12:00 und 20:00 (Nutzungsprofil H)
- Strategie 3 führt zu akzeptablen Ergebnissen.
- Strategie 2 führt zu weniger guten Ergebnissen.
- Das Schließen der Oberlichtflügel während der Nutzungszeit (Strategie 5) führt zu einer deutlichen Verschlechterung im Vergleich zu ständig geöffneten Oberlichtern (Strategie 4).
- Im Vergleich zu Profilen mit Teilzeit ist zu beachten, dass bei diesen ebenfalls nur die Nutzungszeit, also dann 4 h/Tag für die Beurteilung herangezogen werden.

<sup>169</sup> Die verwendeten Strategien werden auf S. 156 dargestellt.



**Abbildung 140 Auswertung h > 27 °C nach Profilen**

### 9.4.1.3 Thermischer Komfort – Kategorien nach EN 15251

Nachfolgend werden die bereits aufbereiteten Ergebnisse zu den vier Komfortklassen nach ÖNorm EN 15251, jeweils nach Sets und Strategien (Abbildung 141), wie auch nach Profilen sortiert ausgegeben. Die Bewertungsgrenzen für Kategorie I – für Vollzeit zeigt (Abbildung 142), die Bewertungsgrenzen für Kategorie IV für Vollzeit zeigt (Abbildung 143).

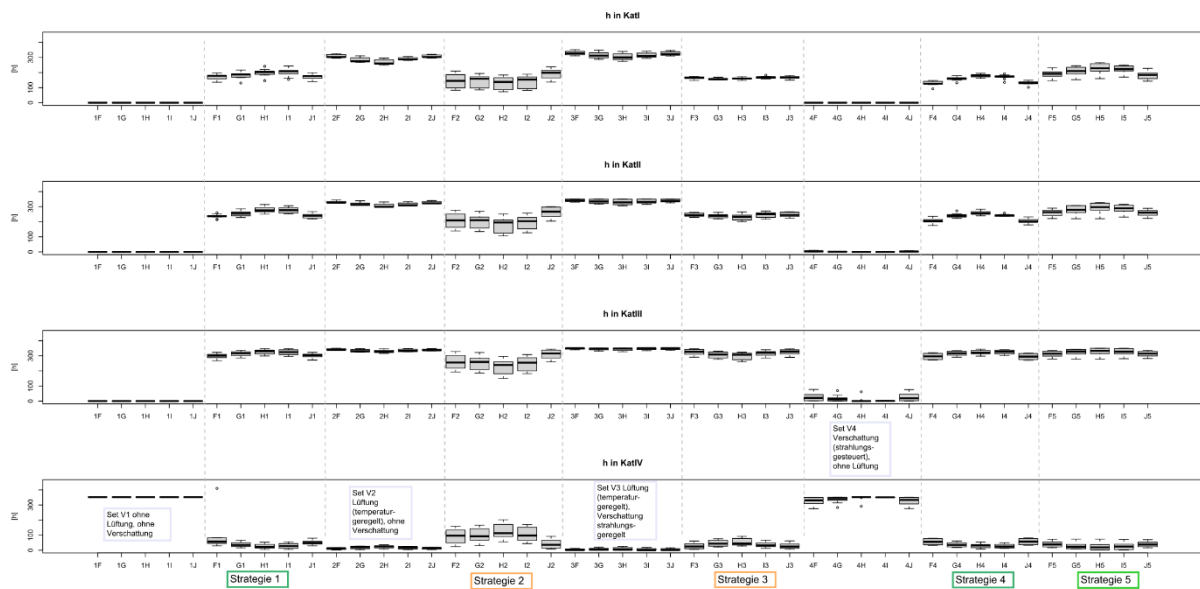


Abbildung 141 Auswertung Komfortklassen nach Sets und Strategien für Vollzeit

### Conclusio

- Der höchste Diskomfort wird erwartungsgemäß bei Set 1 „ohne Lüftung, ohne Verschattung“ erreicht, gefolgt von hohem Diskomfort bei Set 4 „Verschattung strahlungsgesteuert, ohne Lüftung“.
- Der höchste Komfort stellt sich, auch erwartungsgemäß bei Set 3 „Lüftung temperaturgesteuert, Verschattung strahlungsgesteuert“ ein, gefolgt von Set 2 „Lüftung temperaturgesteuert, ohne Verschattung“.
- Einen erhöhten Diskomfort zeigt auch Strategie 2.
- In Komfortklasse I liegen Strategie 1,3 und 5 etwa gleich auf.
- Beim Diskomfort (Komfortklasse IV), aber auch in den anderen Kategorien variieren die Strategien 1,3 und 5 in Abhängigkeit des Nutzungsprofils, wobei der höchste Komfort bei den Profilen G und H identifiziert wird.
- Im Vergleich zu Profilen mit Teilzeit ist zu beachten, dass bei diesen ebenfalls nur die Nutzungszeit, dort also nur 4 h/Tag, während hier 8 h/Tag für die Beurteilung herangezogen werden.

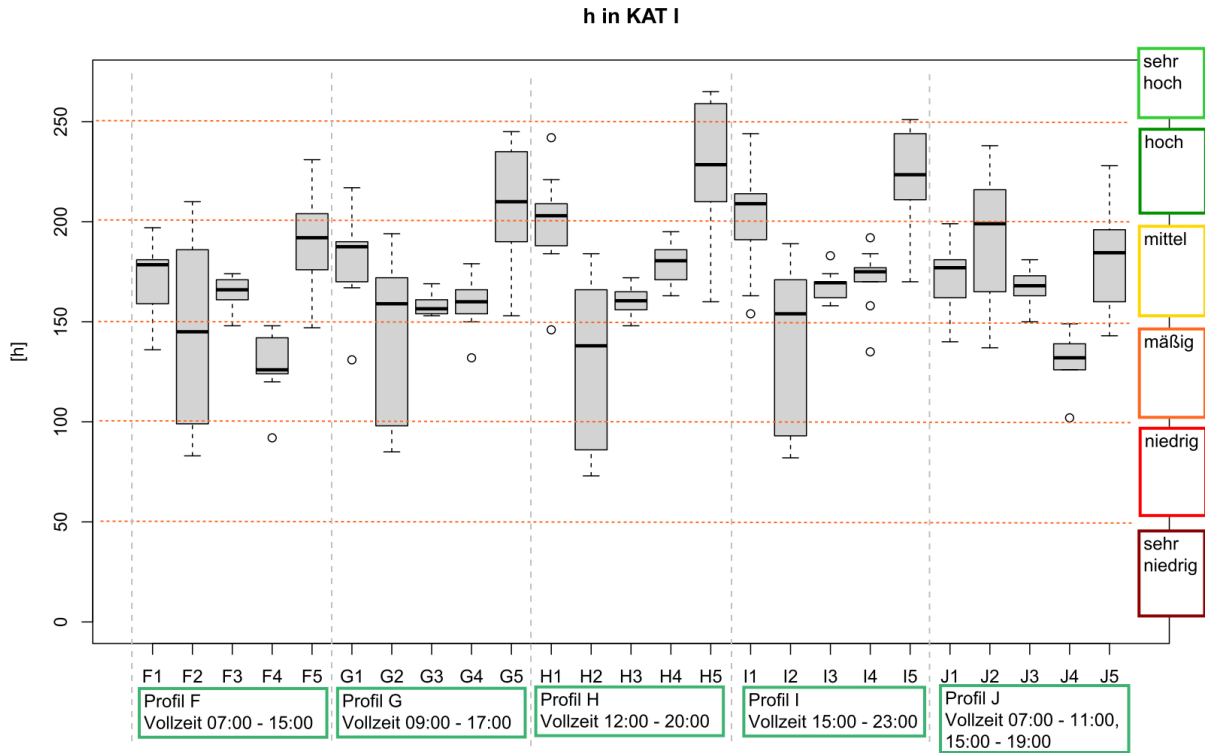


Abbildung 142 Auswertung Komfortklasse I nach Profilen

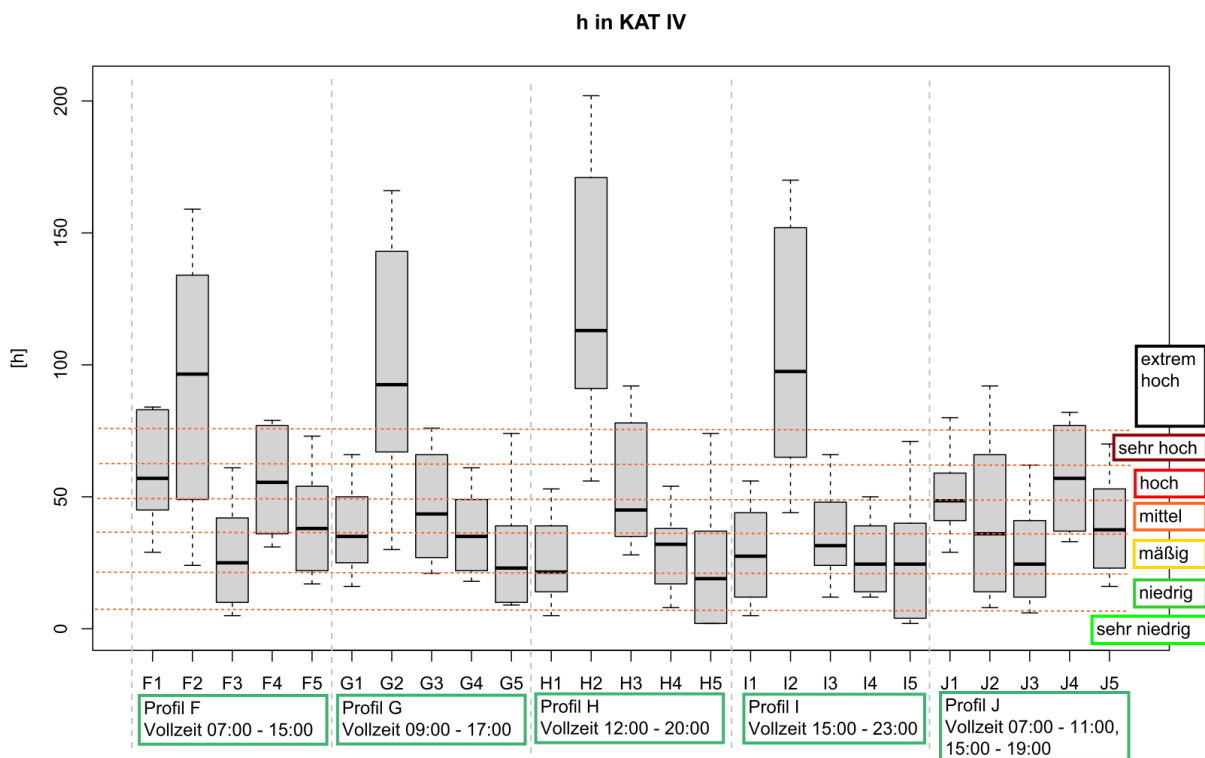


Abbildung 143 Auswertung Komfortklasse IV nach Profilen

### 9.4.1.4 Luftqualität – CO<sub>2</sub>max

Nachfolgend werden die bereits aufbereiteten Ergebnisse zur Raumluftqualität anhand der maximalen CO<sub>2</sub>-Konzentration, jeweils nach Sets und Strategien (Abbildung 144), wie auch nach Profilen sortiert, ausgegeben und die Bewertungsgrenzen eingetragen (Abbildung 145).

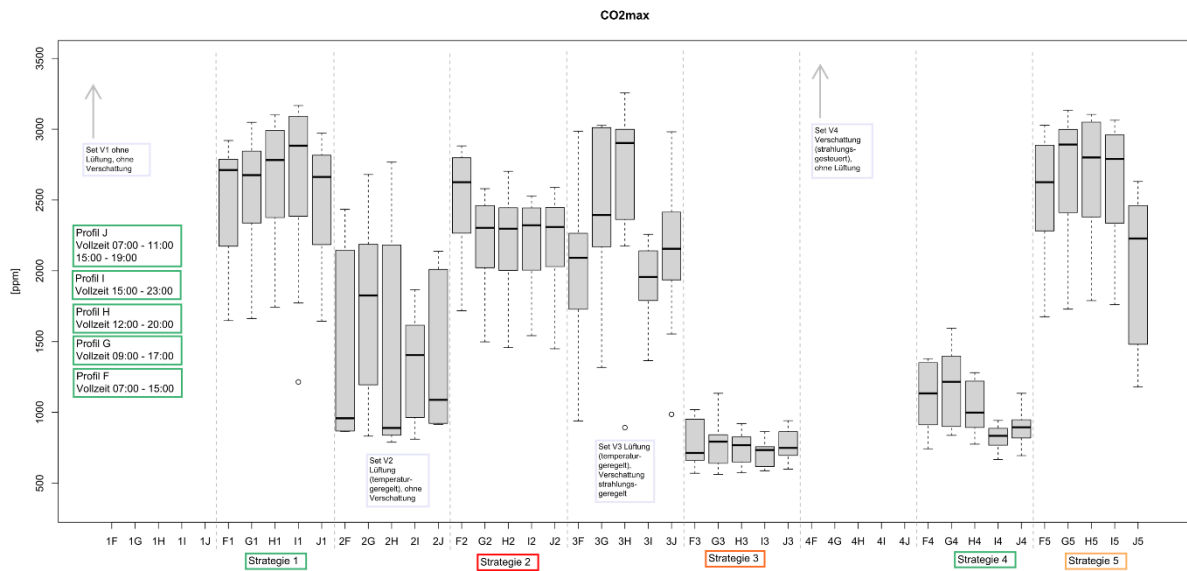


Abbildung 144 Auswertung maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration nach Sets und Strategien<sup>170</sup>

### Conclusio

- Strategie 3 und 4 zeigen akzeptable maximale CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, wobei Strategie 4 deutlich günstigere Ergebnisse als Strategie 4 zeigt.
- Strategie 1,2 und 5 führt hingegen zu sehr hohen maximalen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, bedingt durch lange Perioden in denen nicht gelüftet wird.
- Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der hinsichtlich Temperatur optimierten Lüftungs- und Verschattungsstrategien (V2 und V3) liegen im Bereich der manuell verschattet und gelüfteten Strategien 1, 2 und 5 und damit deutlich über den manuellen Lüftungs- und Verschattungsstrategien 3 und 4.

<sup>170</sup> Die verwendeten Strategien werden auf S. 156 dargestellt.

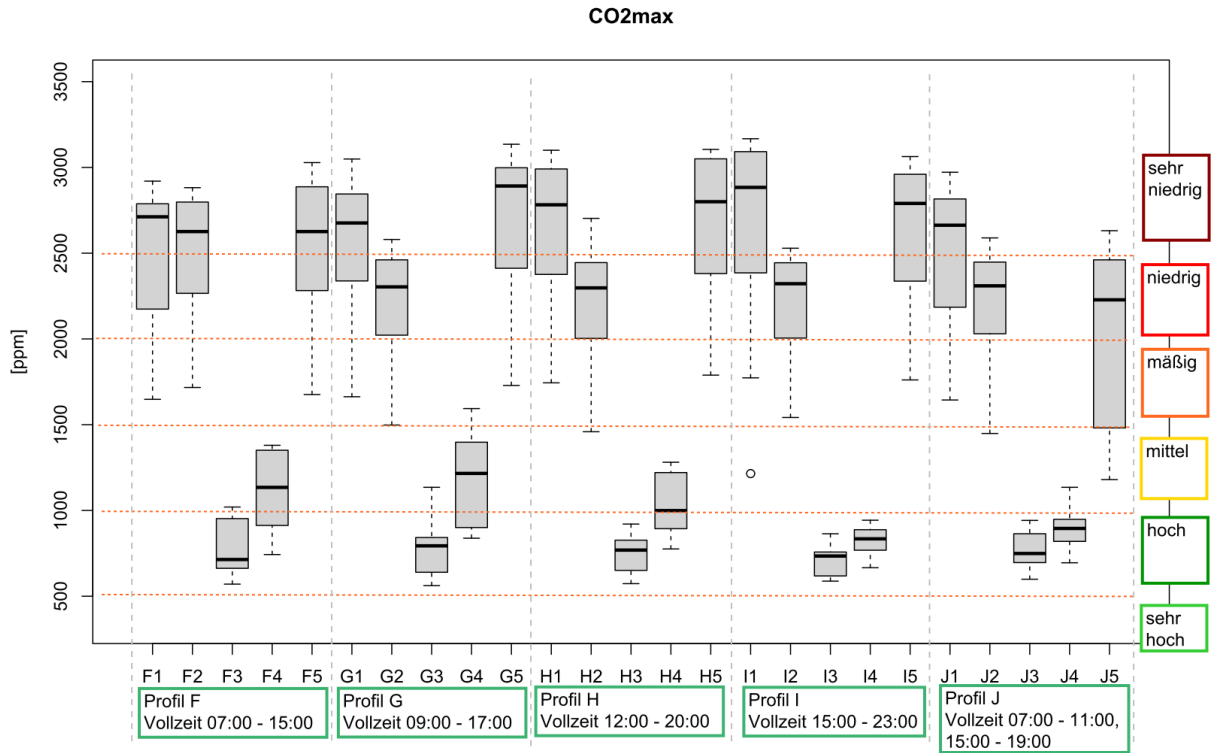


Abbildung 145 Auswertung maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration nach Profilen

9.4.1.5 Tageslichtqualität – Lux

Nachfolgend werden die bereits aufbereiteten Ergebnisse zum Tageslichtangebot als Kriterium für die Beurteilung des visuellen Komforts, jeweils nach Sets und Strategien (Abbildung 146), wie auch nach Profilen sortiert, ausgegeben und die Bewertungsgrenzen eingetragen (Abbildung 147).

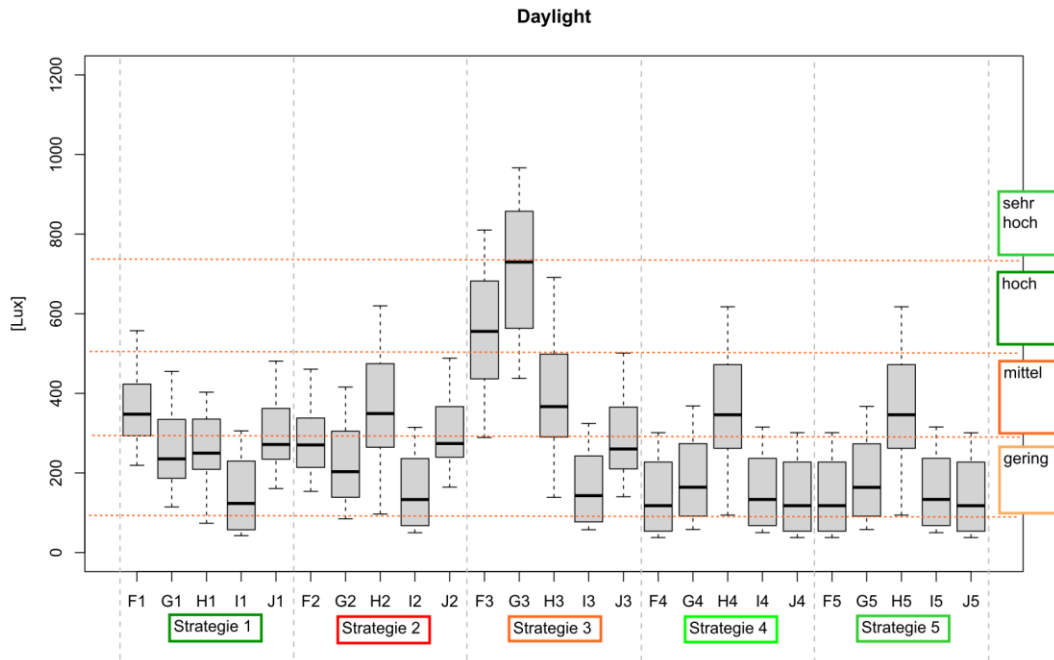


Abbildung 146 Auswertung Tageslicht nach Strategien

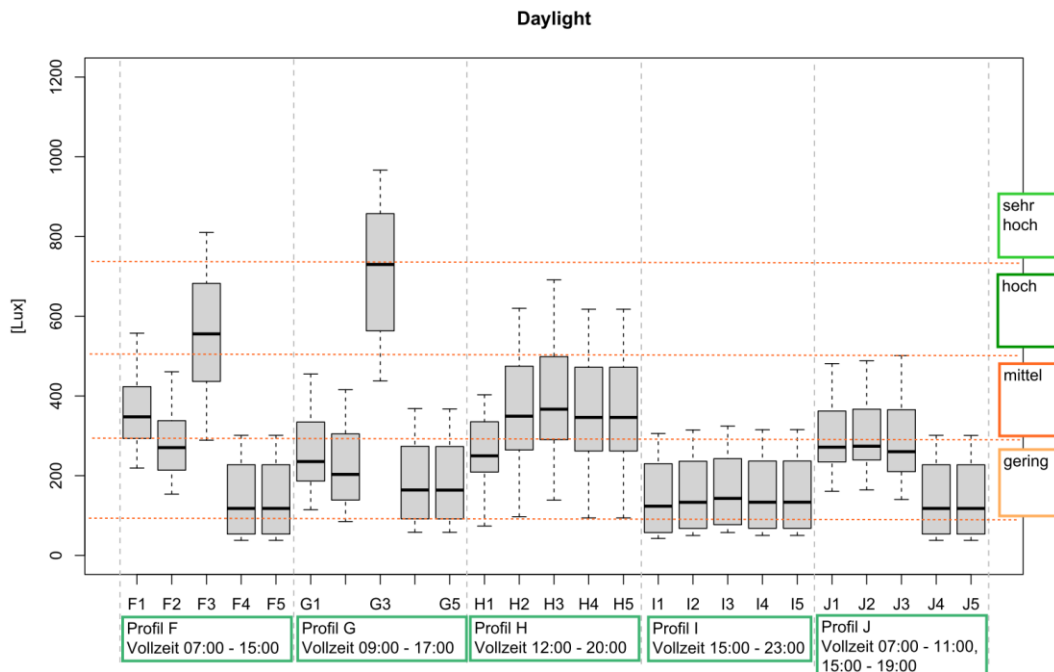
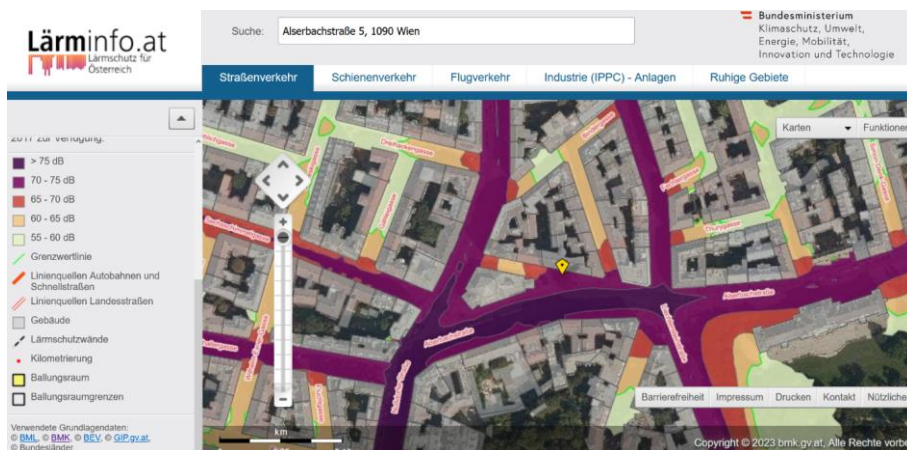


Abbildung 147 Auswertung Tageslicht nach Profilen

## 9.4.2 Beurteilungen Lärmbelastung (Lärmkarte)

Die schalltechnische Situation kann nicht über das Simulationsprogramm zur thermischen Gebäudesimulation ausgegeben oder ermittelt werden. Es wird deshalb, Bezug nehmend zu den Messergebnissen des Sommer-Komfort-Monitorings (Kapitel 7.2), zur Bewertung des auditiven Komforts, die sich durch die Öffnung der Fenster einstellende Lärmbelastung für die Beurteilung herangezogen.

Das bedeutet, in einem ersten Schritt wird für jedes Nutzungsprofil die Dauer der Fensteröffnung in Bezug auf die Gesamtnutzungszeit ermittelt (Abbildung 149). Die Öffnung von Oberlichtflügel wird mit einem Faktor von 0,75 berücksichtigt. Um die tatsächliche standortbezogene Situation zu berücksichtigen ist dieser Wert in einem zweiten Schritt mit einem Faktor für den Außenlärmpegel zu multiplizieren. Hierzu können die in ÖNorm B 8115-2 bzw. die OIB Richtlinie 5 definierten Klassen herangezogen werden. Es wird für Außenlärmklassen, A, B und C der Faktor 1 angesetzt. Für die Außenlärmpegelklasse (Tag) von D ist der Faktor 1.25, für Klasse E der Faktor 1.5, für Klasse F der Faktor 1.75, für Klasse G der Faktor 2.0 und für Klasse H der Faktor 2.25 zu verwenden (Abbildung 151). Der Außenlärmpegel kann, wie hier erfolgt in aus den strategischen Lärmkarten entnommen werden <sup>171</sup> (Abbildung 148). Die Bewertung erfolgt dann entsprechend den in Abbildung 150 dargestellten Grenzen bzw. Kategorien.



**Abbildung 148 Außenlärmpegel als Einflussgröße für die Bewertung der Lärmbelastung, [https://maps.laerminfo.at/?g\\_card=landesstrasse\\_22\\_24h#](https://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_22_24h#), abgerufen am 19.07.2023, 21:41**

<sup>171</sup> Bundesministerium, "Strategische Lärmkarten" (2023). [https://maps.laerminfo.at/?g\\_card=landesstrasse\\_22\\_24h](https://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_22_24h).

Profil	h Lüftung während Belegung				Schallpegelklasse lt. ÖNorm B 8115-2	
	h Belegung pro Tag	Hauptflügel	Oberlicht	Summe Fensteröffnung	1	A, B, C
A1	4	1		1	0,25	leicht erhöhte Belastung
A2	4	2		2	0,50	erhöhte Belastung
A3	4	2		2	0,50	erhöhte Belastung
A4	4	1	2,25	3,25	0,81	sehr hohe Belastung
A5	4	1		1	0,25	leicht erhöhte Belastung
I1	8	1		1	0,13	geringe Belastung
I2	8	2		2	0,25	leicht erhöhte Belastung
I3	8	4		4	0,50	erhöhte Belastung
I4	8	1	5,25	6,25	0,78	sehr hohe Belastung
I5	8	1		1	0,13	geringe Belastung

**Bewertung**

0	keine Belastung
0,125	geringe Belastung
0,25	leicht erhöhte Belastung
0,5	erhöhte Belastung
0,75	hohe Belastung
1	sehr hohe Belastung
1,25	extrem hohe Belastung

**Abbildung 150 Festgelegte Bewertungsgrenzen für die Beurteilung der Lärmbelastung.**

Erläuterung: Für die Bewertung wird die im Nutzungsprofil festgelegte Dauer der Öffnung einzelner Fensterflügel gewichtet aufsummiert und anhand der Außenlärmpegelstufe eine Bewertung von ‚keine‘ bis ‚extrem hohe Belastung‘ abgeleitet.

**Abbildung 149 Bewertung Lärmbelastung durch auf die Gesamtarbeitszeitbezogene Dauer der Lärmbelastung, geöffnete Oberlichtflügel mit Faktor 0,75 berücksichtigt, dargestellt für Außenlärmpegelstufe A, B und C nach ÖNorm B 8115-2**

Profil	h Lüftung während Belegung				Schallpegelklasse lt. ÖNorm B 8115-2						
	h Belegung pro Tag	Hauptflügel	Oberlicht	Summe Fensteröffnung	A, B, C	D	E	F	G	H	
					1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	
A1	4	1		1	0,25 leicht erhöhte Belastung	0,31 erhöhte Belastung	0,38 erhöhte Belastung	0,44 erhöhte Belastung	0,50 erhöhte Belastung	0,56 hohe Belastung	
A2	4	2		2	0,50 erhöhte Belastung	0,63 hohe Belastung	0,75 hohe Belastung	0,88 sehr hohe Belastung	1,00 sehr hohe Belastung	1,13 sehr hohe Belastung	
A3	4	2		2	0,50 erhöhte Belastung	0,63 hohe Belastung	0,75 hohe Belastung	0,88 sehr hohe Belastung	1,00 sehr hohe Belastung	1,13 sehr hohe Belastung	
A4	4	1	2,25	3,25	0,81 sehr hohe Belastung	1,02 extrem hohe Belastung	1,22 extrem hohe Belastung	1,42 extrem hohe Belastung	1,63 extrem hohe Belastung	1,83 extrem hohe Belastung	
A5	4	1		1	0,25 leicht erhöhte Belastung	0,31 erhöhte Belastung	0,38 erhöhte Belastung	0,44 erhöhte Belastung	0,50 erhöhte Belastung	0,56 hohe Belastung	

**Abbildung 151 Berücksichtigung des Außenlärmpegels für die Schalltechnische Bewertung der Lärmbelastung, es ist für Außenlärmklasse D der Faktor 1.25, für Klasse E der Faktor 1.5, für Klasse F der Faktor 1.75, für Klasse G der Faktor 2.0 und für Klasse H der Faktor 2.25**

### **9.4.3 Simulationen Konstruktion**

#### **9.4.3.1 Einfluss der Farbe auf die ins Mauerwerk eingebrachte Wärme**

Den Einfluss der Farbe, also ob die Oberfläche der Fassade dunkel oder hell ist, zeigt die nachfolgende Abbildung 152, anhand eines geputzten Ziegelmauerwerks eines Bestandsgebäudes ohne Dämmung. Es wird eine nach Westen orientierte Fassade dargestellt. Betrachtet wird eine heiße Sommerwoche Anfang August. Die Darstellung erfolgt in Tagesritten, jeweils um 0 Uhr. Jeweils die linke Oberfläche in der Darstellung ist die Außenwandoberfläche, die rechte Oberfläche, jeweils die Wandinnenoberfläche. Es wurde ein adaptives Innenraumklima 32/28°C angenommen.

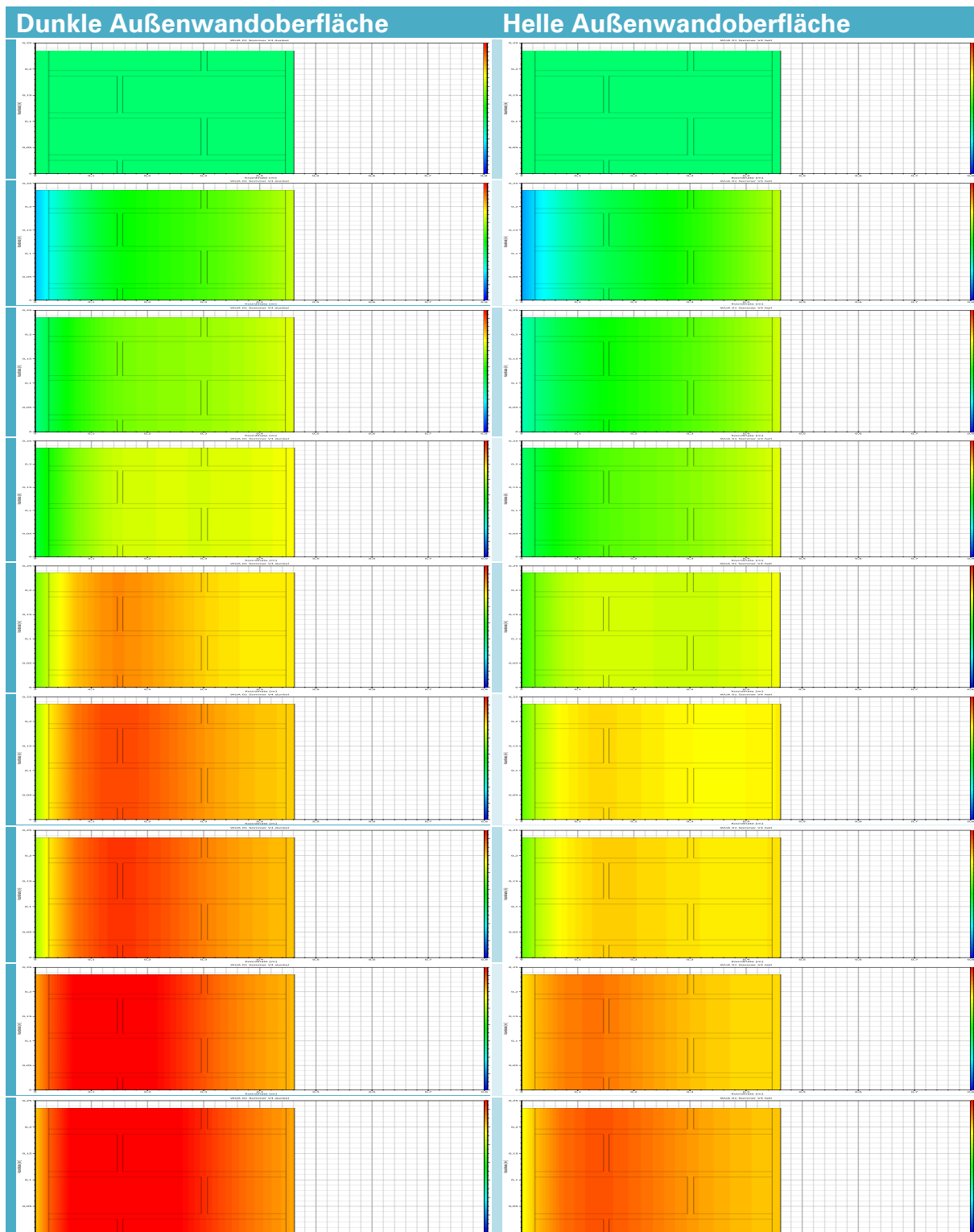


Abbildung 152 Temperaturverteilung bei dunkler (links) und heller (rechts) Oberfläche des Bestandsmauerwerks, links jeweils Außenoberfläche, rechts jeweils Innenwandoberfläche, Schrittweite in Tage, jeweils 24:00, innerhalb einer Woche

Ausgehend von einer gleichen Temperaturverteilung im Wandquerschnitt zu Beginn der Betrachtung (Tag 0), zeigt sich bei der dunklen Fassade (linke Spalte der Abbildungen) ein deutlich rascheres Aufheizverhalten des Wandquerschnitts. Die Helle Fassade erreicht eine Temperaturverteilung nach 8 Tagen, wie sie jener der dunklen Fassade bereits nach 4 heißen Tagen entspricht. Es wird bei der dunklen Fassade also etwa doppelt so viel Wärme in das Bestandsmauerwerk eingebracht.

In Zahlen gefasst lassen sich die Unterschiede zwischen heller und dunkler Fassadenoberfläche neben der Oberflächentemperatur (Abbildung 156) anhand des direkten (Abbildung 153) und diffusen, deren Summe, dem Globalen Strahlungseintrag (Abbildung 154), oder dem langwelligen Strahlungsaustausch (Abbildung 155) festhalten. Aber auch anhand der Energiedichte im Wandquerschnitt (Abbildung 158), bzw. dessen äquivalent der über den Wandquerschnitt gemittelten Temperatur (Abbildung 157).

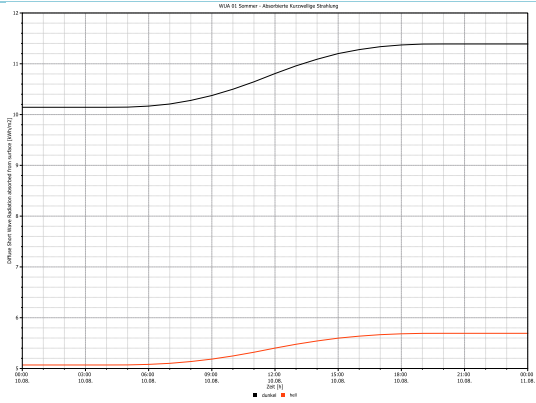


Abbildung 153 Kurzwellige Strahlungsaufnahme der Fassade

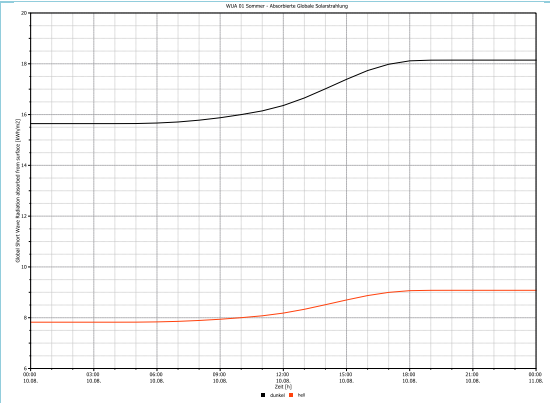


Abbildung 154 Globale Strahlungsbilanz der Fassade

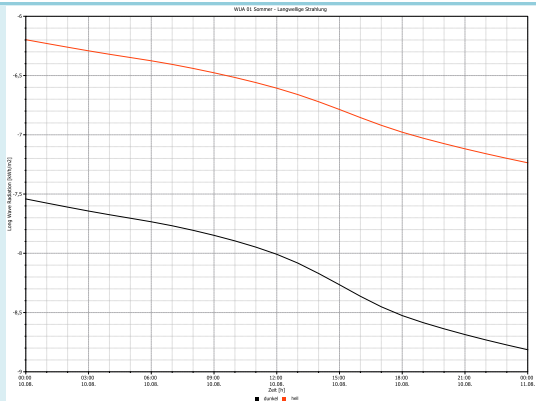


Abbildung 155 Langwellige Abstrahlung der Fassade

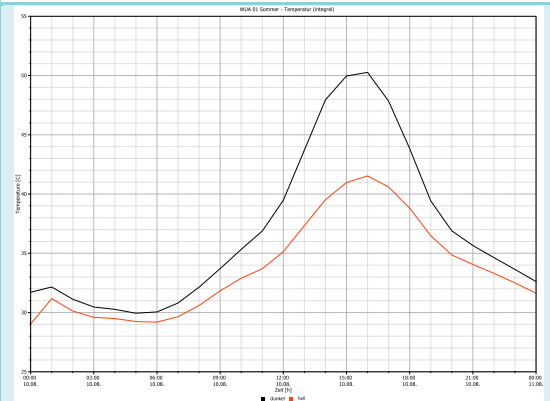


Abbildung 156 Temperatur an der Außenwandoberfläche

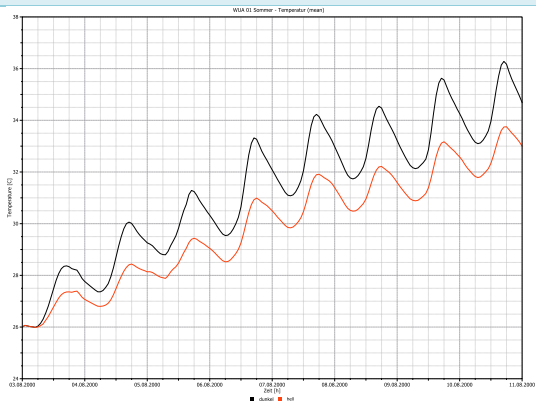


Abbildung 157 Im Wandquerschnitt gemittelte Temperatur

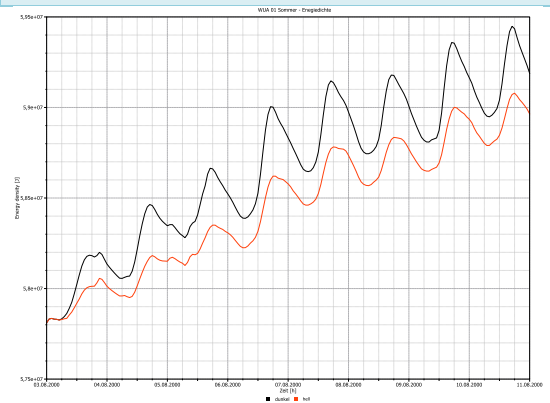


Abbildung 158 Im Wandquerschnitt vorhandene Energiedichte

### 9.4.3.2 Einfluss der Orientierung auf die Energiedichte im Wandquerschnitt

Neben Material und Farbe spielt die Orientierung für die Strahlungs- und Wärmebilanz eine wesentliche Rolle. Abbildung 159 zeigt die Temperaturen an der Außenwandoberfläche für ein Bestandsziegelmauerwerk, geputzt mit dunkler Außenoberfläche. Die nach Süden orientierte Wand zeigt ihren Spitzenwert um 13:00, während die nach Westen orientierte Wand erwartungsgemäß später, hier 3 Stunden später ihre Maximaltemperatur an der Oberfläche erreicht.

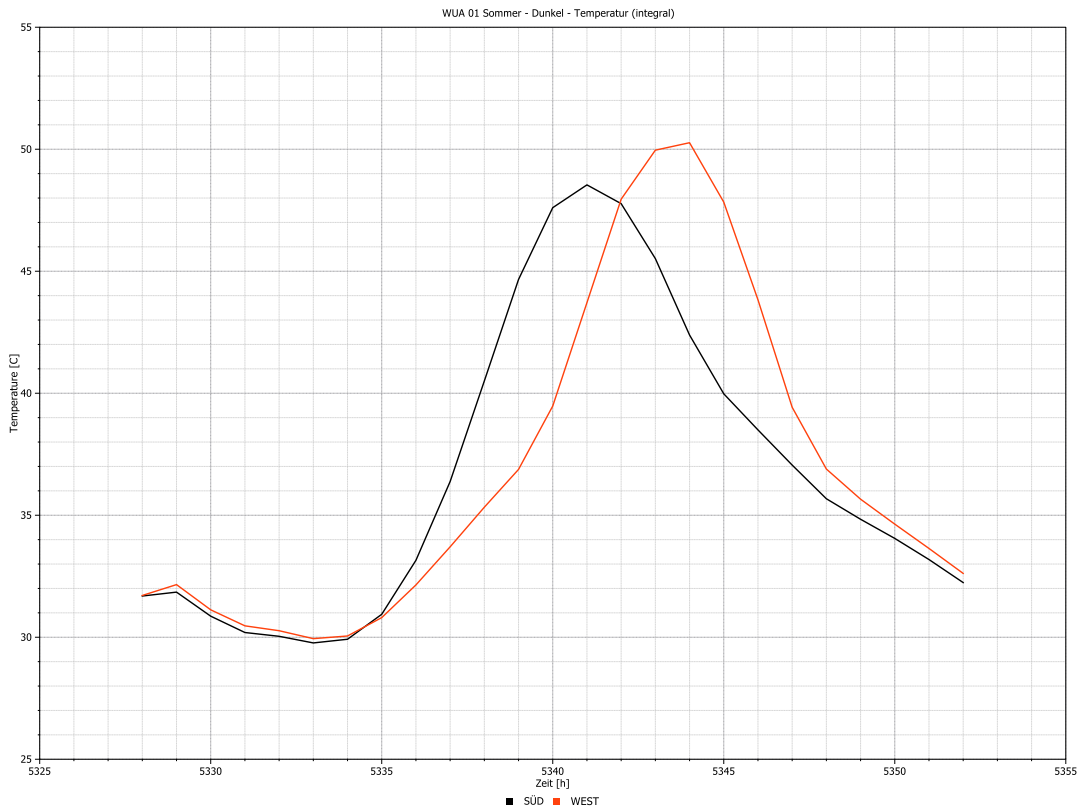
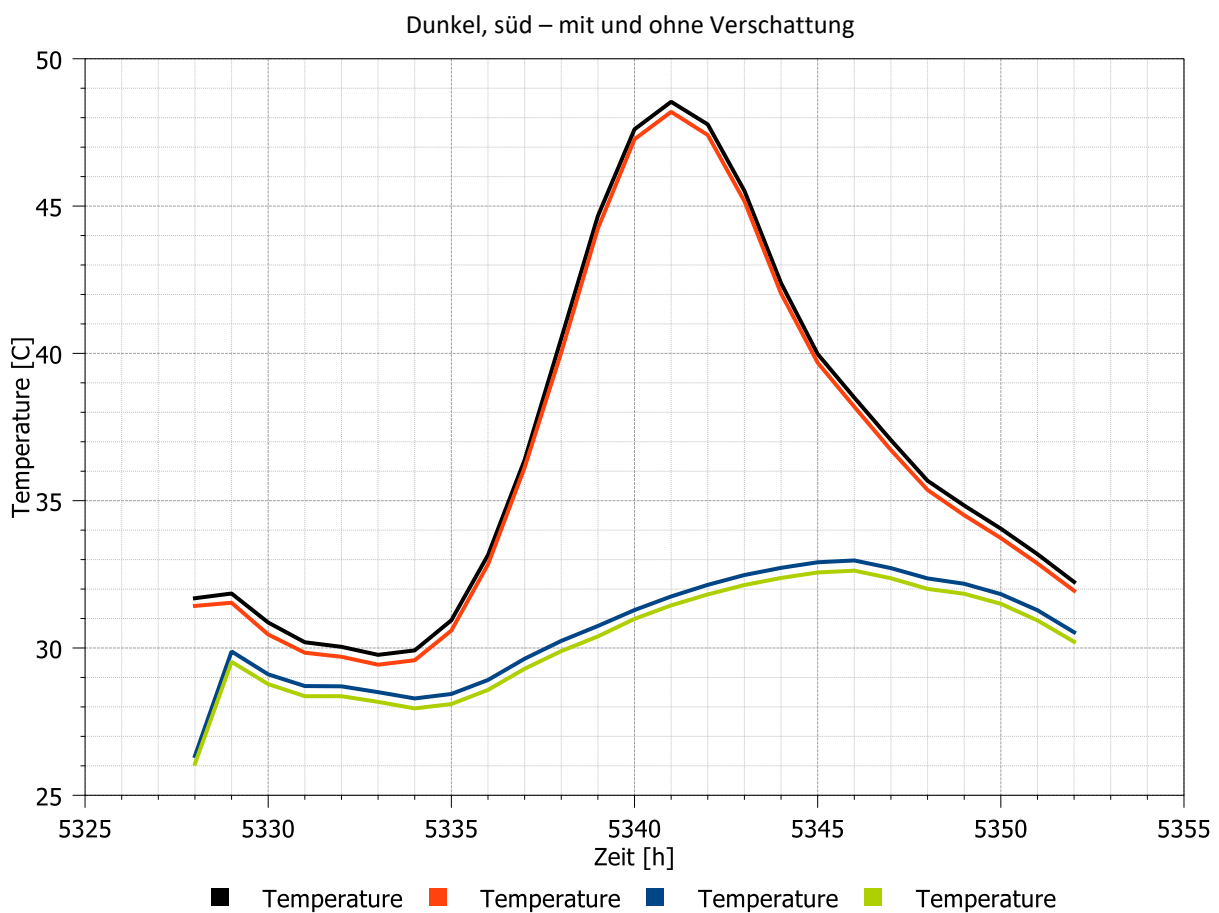


Abbildung 159 Oberflächentemperatur am 10.August, bei dunkler Außenoberfläche, nach Orientierung West, Süd

**9.4.3.3 Einfluss der Verschattung auf die Oberflächentemperaturen der Fassade**

Den Einfluss der Verschattung auf die Temperaturen an der opaken Außenwand zeigt die oberhalb angeführter Abbildung 159. Während bei direkter solarer Einstrahlung an einem heißen Sommertag die Oberflächentemperaturen bis zu 50 °C betragen, bleiben die Oberflächentemperaturen der nach Westen orientierten Fassade im Falle einer Beschattung, z.B. durch umliegende Gebäude, bei moderaten 33 °C und liegen damit etwa 15 °C tiefer. Der Zeitpunkt des Maximums ist etwa 4 Stunden verzögert im Vergleich zur unverschatteten Fassade. Außenwandoberfläche. In Abbildung 160 für dunkle Außenwandoberfläche. In Abbildung 161 für helle Außenwandoberfläche.



**Abbildung 160 Einfluss der Verschattung auf die Oberflächentemperaturen der Fassade, dunkel, süd**

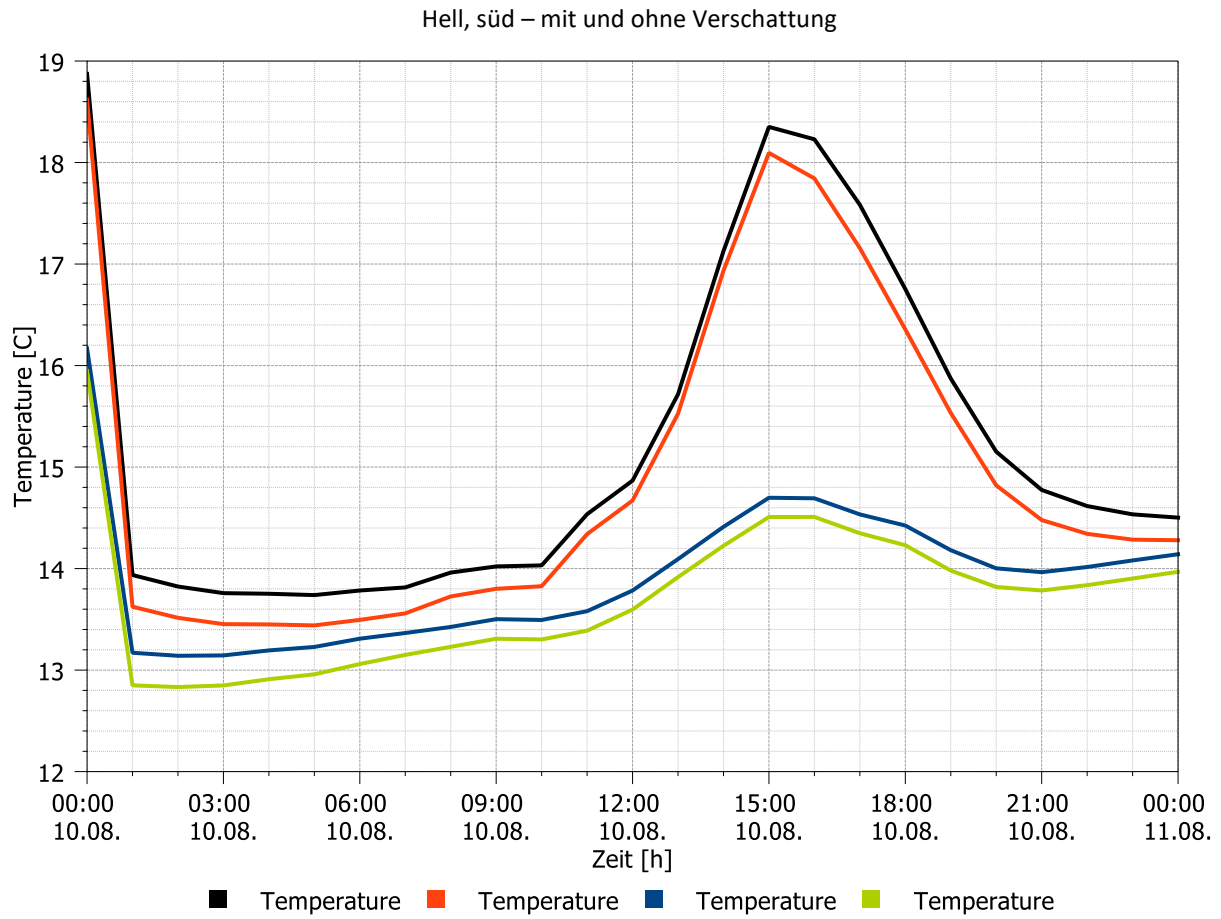
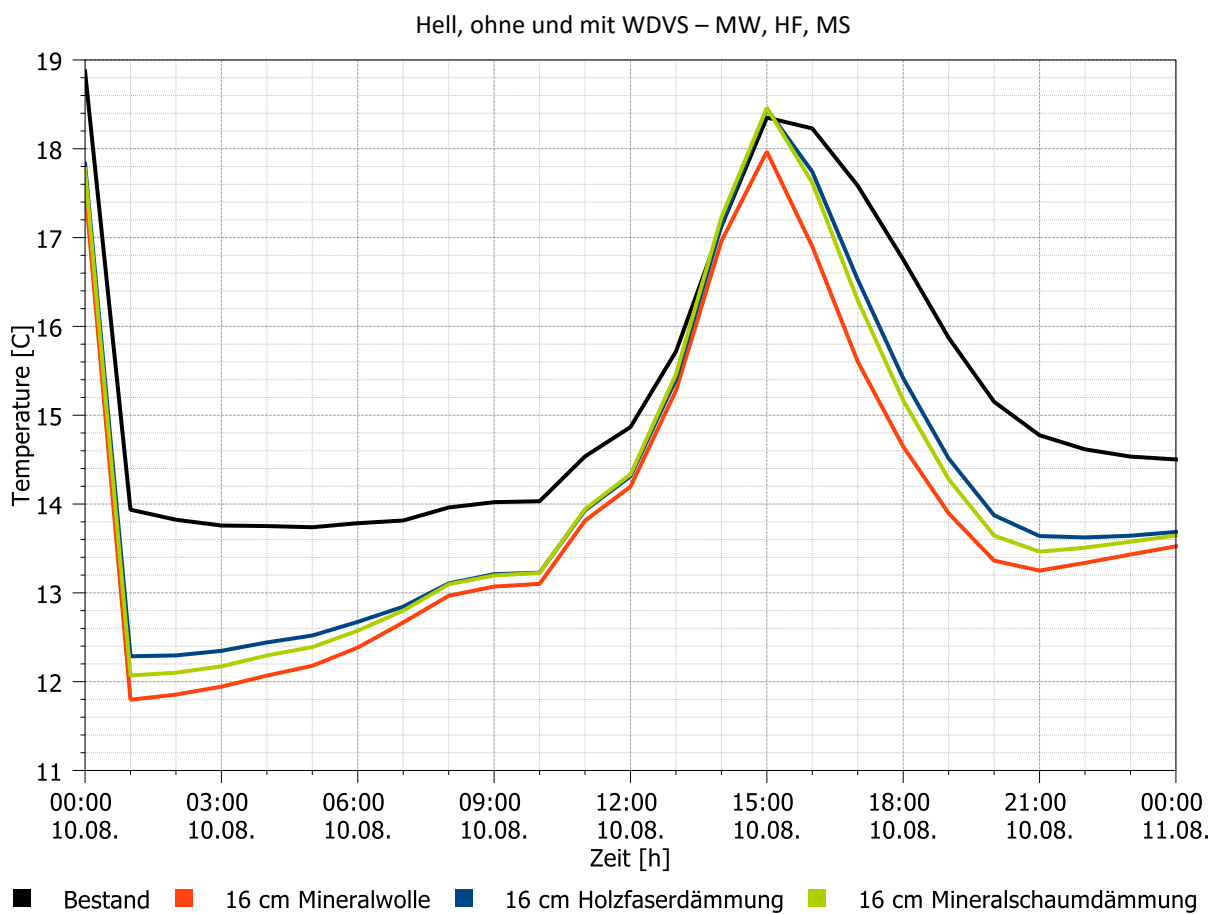


Abbildung 161 Einfluss der Verschattung auf die Oberflächentemperaturen der Fassade, hell, süd

**9.4.3.4 Einfluss Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf Oberflächentemperatur**

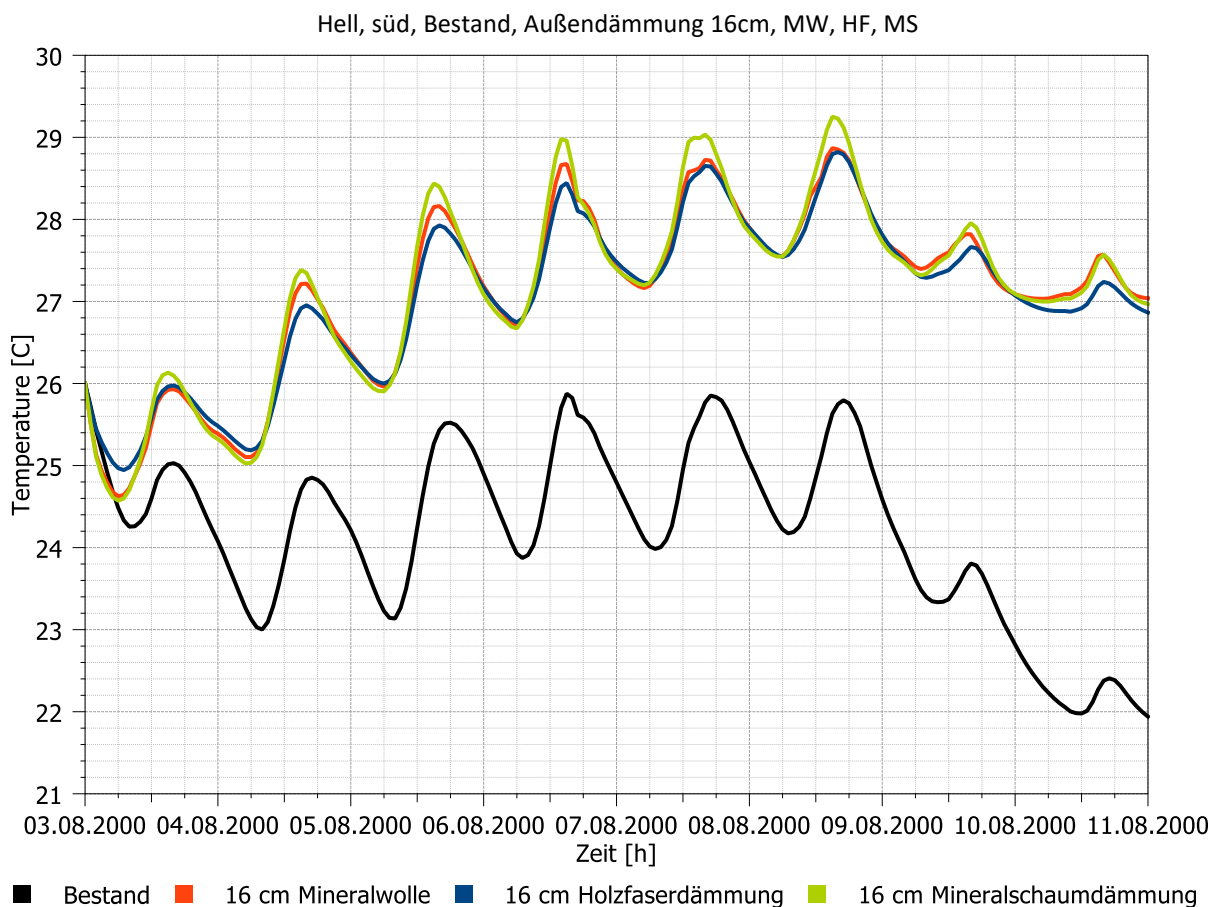
Bei niedrigen Außenlufttemperaturen zeigt das ungedämmte Bestandsmauerwerk erwartungsgemäß auf Grund der höheren Transmissionswärmeverluste höhere Temperaturen an der äußeren Oberfläche, welche um 3:00 morgens, bei etwa 14 °C liegen. Das applizierte Wärmedämmverbundsystem zeigt zur selben Zeit um 3 °C tiefere Oberflächentemperaturen. Um 15:00, zum Zeitpunkt des Maximums der Oberflächentemperaturen an der Außenwandoberfläche entsprechen diese, mit 18 °C jener des ungedämmten Bestands. Fallen aber bei den Varianten mit WDVS rascher wieder ab (Abbildung 162).



**Abbildung 162 Einfluss WDVS auf Außenwand-Oberflächentemperatur**

### 9.4.3.5 Einfluss einer Außendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Wandtemperatur

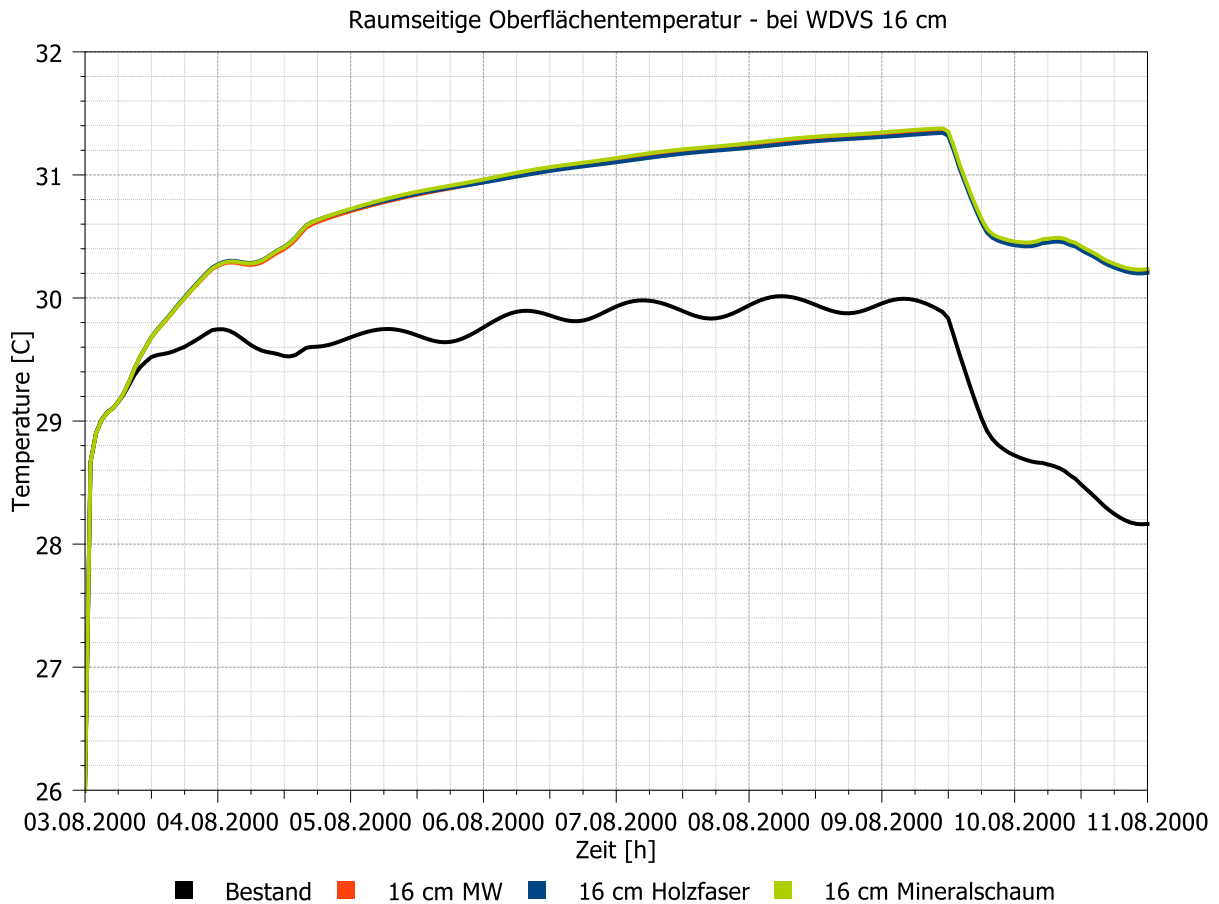
Den Einfluss einer auf die nach Süden orientierte 48 cm dicke Bestandswand applizierten Außendämmung zeigt die nachfolgende Abbildung 163 Einfluss einer Außendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Wandtemperatur. Unabhängig vom Material der Dämmung zeigt sich, dass die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur im Verlauf einer heißen Woche, im Vergleich zur ungedämmten Wand, welche Maximalwerte von 26 °C aufweist, mit Maximalwerten von etwa 29 °C deutlich höher liegt, was auf die durch die Dämmung reduzierte Wärmeabgabe zurückzuführen ist. Zu beachten ist an dieser Stelle, dass der Wärmeeintrag ins Mauerwerk nicht allein von Außen erfolgt, sondern über den Luftwechsel auch von Innen. Das Innenraumklima ist hier vereinfacht als adaptives Innenraumklima 28 °C bis 32 °C nach EN 15026 abgebildet. Detailliert wird der Einfluss des Lüftungsverhaltens in dem thermischen Raum, bzw. Gebäudesimulation berücksichtigt (Abbildung 163).



**Abbildung 163 Einfluss einer Außendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Wandtemperatur**

**9.4.3.6 Einfluss einer Außendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen**

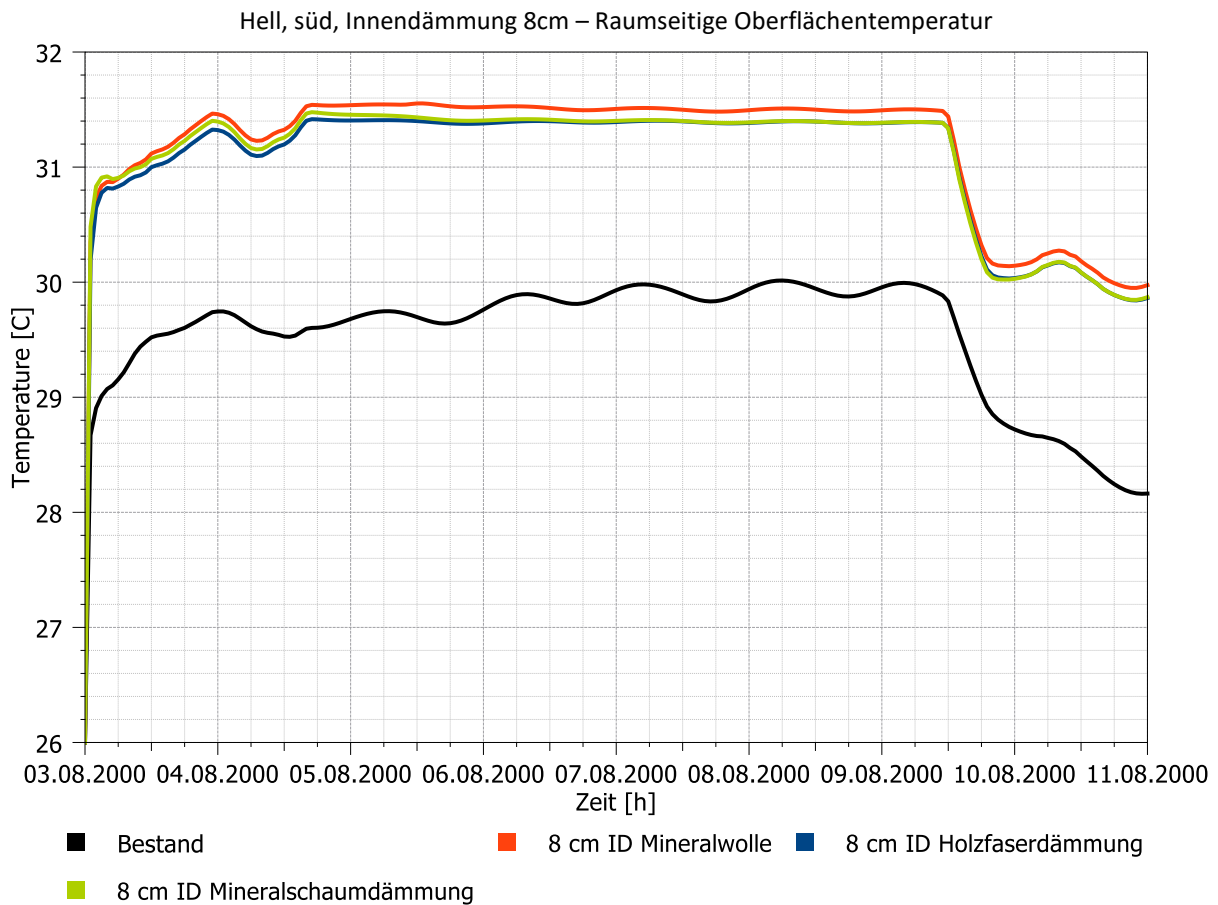
Den Einfluss einer auf das Bestandsmauerwerk applizierten 16 cm dicken Außendämmung mit hellem Finish auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen in einer heißen Sommerwoche zeigt die nachfolgende Abbildung. Während die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur nach einer heißen Sommerwoche etwa 30 °C beträgt, liegen die raumseitigen Oberflächentemperaturen am Ende der heißen Woche bei knapp über 31 °C (Abbildung 164).



**Abbildung 164 Einfluss einer Außendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen**

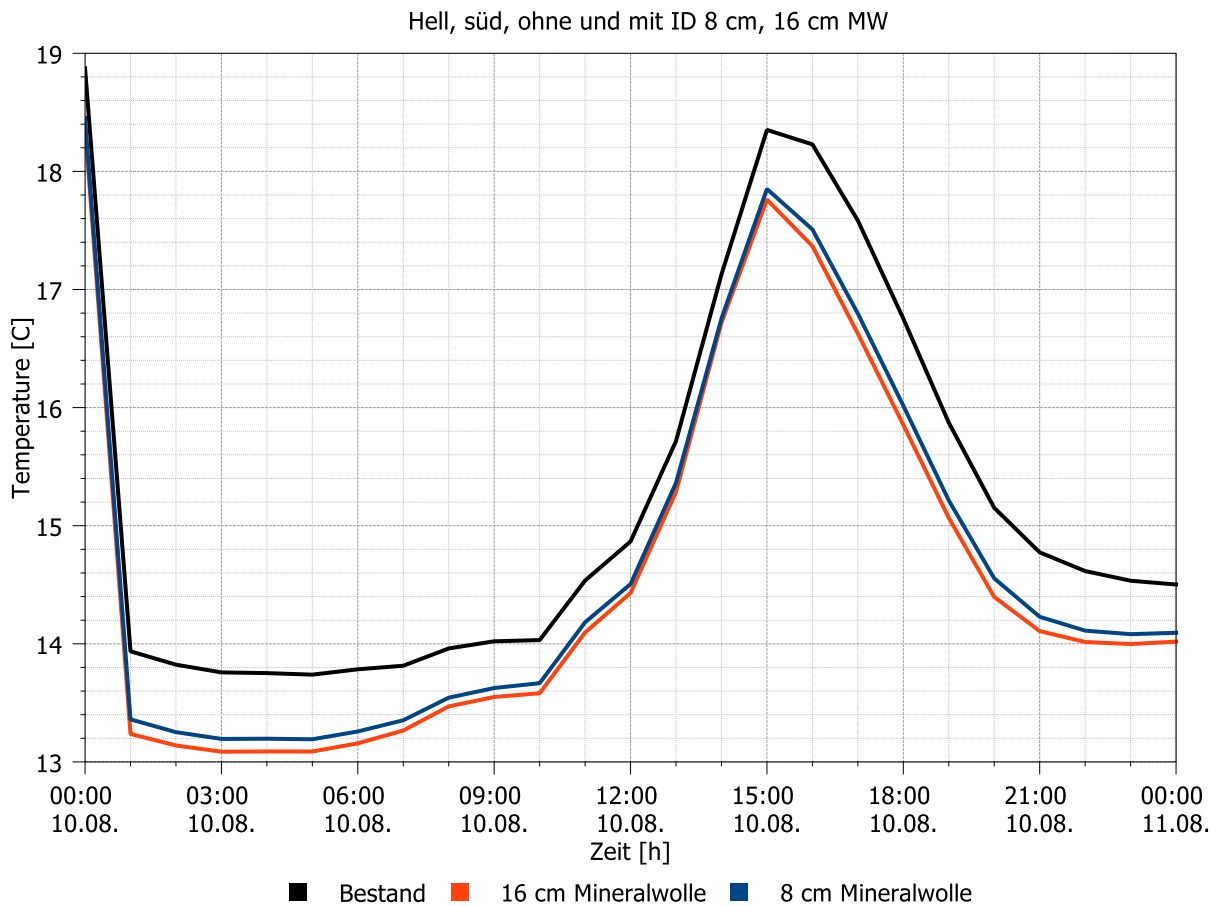
**9.4.3.7 Einfluss einer Innendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen**

Den Einfluss einer auf das hell geputzte Bestandsmauerwerk applizierten 8 cm dicken Innendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen in einer heißen Sommerwoche zeigt die nachfolgende Abbildung. Die raumseitigen Oberflächen nehmen bereits nach etwa 2 Tagen jene Temperaturen des Innenraumklimas an. Nach Ende der heißen Woche, sinken die Oberflächentemperaturen aber im Vergleich zur außen applizierten Wärmedämmung etwas rascher wieder ab. Die Maximaltemperatur an der Raumseitigen Oberfläche liegt bei der Innendämmung analog zur Außendämmung bei knapp über 31 °C, allerdings konstant über nahezu die gesamte Dauer der heißen Woche (Abbildung 165).



**Abbildung 165 Einfluss einer Innendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen**

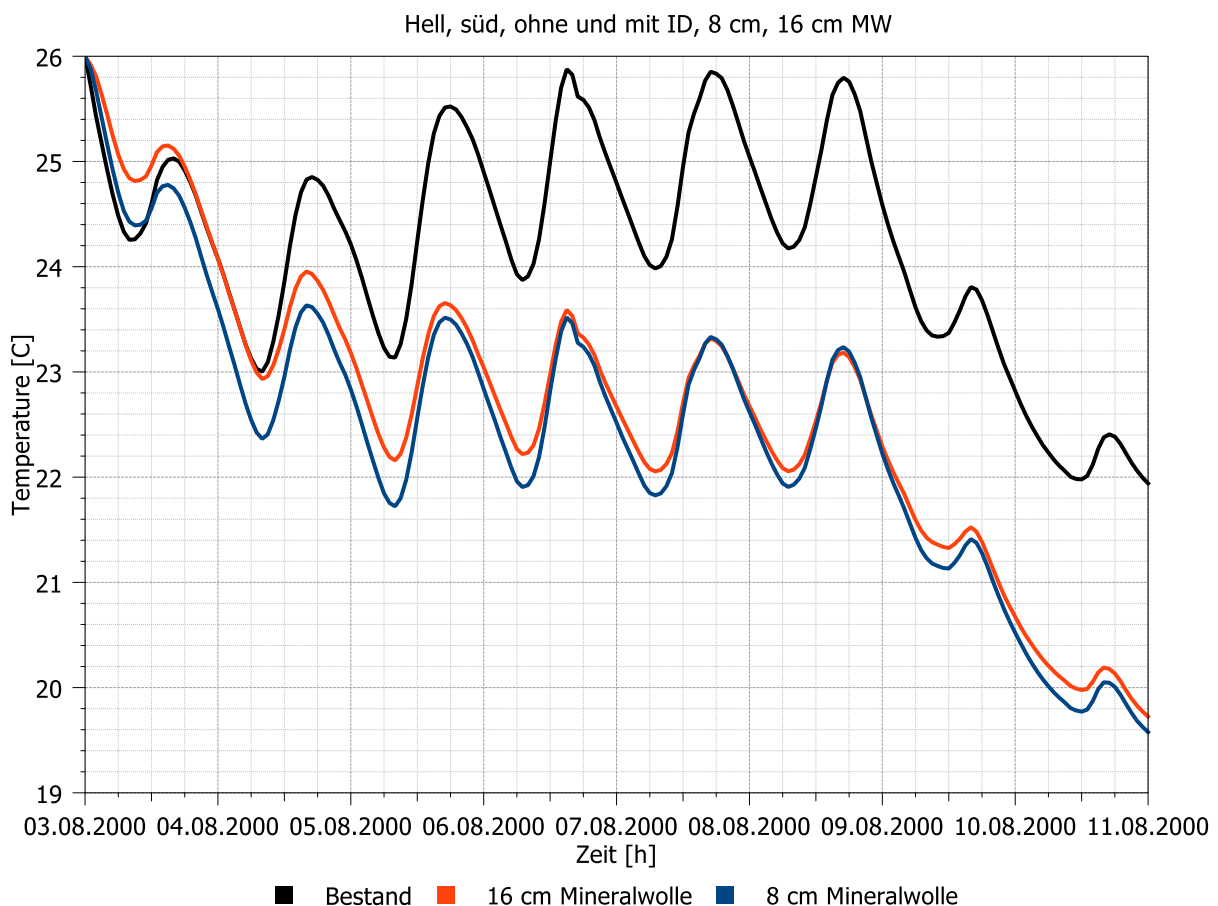
**9.4.3.8 Einfluss der Dicke der Innendämmung auf die Außenseitige Oberflächentemperatur**  
 Erwartungsgemäß führt eine Innendämmung (rote und blaue Linie) bei niedrigen Außenlufttemperaturen zu niedrigeren Außenwandoberflächentemperaturen, verglichen mit dem ungedämmten Bestand (schwarze Linie). Die Differenz liegt im Beispiel bei etwa 0,8 °C. Der Unterschied zwischen der Variante mit 8 cm und 16 cm Dämmdicke beläuft sich allerdings nur auf ein Delta von etwa 0,2 °C (Abbildung 166).



**Abbildung 166 Einfluss der Dicke der Innendämmung auf die Außenseitige Oberflächentemperatur**

### 9.4.3.9 Einfluss der Dicke der Innendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur

Den Einfluss der Dämmdicke auf einer auf das Bestandsmauerwerk applizierten Innendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur zeigt die nachfolgende Abbildung 167. Im Vergleich zum ungedämmten Bestandsmauerwerk, bei dem der Wärmeeintrag sowohl über die Einflüsse des Außenklimas, wie auch des Innenklimas erfolgt (schwarze Linie), führt die raumseitige Applikation der Dämmung zu einer Reduktion der gemittelten Wandtemperatur. Diese Verringerung beträgt in den ersten Tagen etwa 1 °C, am Ende der heißen Woche etwa 3 °C. Die mittlere Wandtemperatur zeigt bei Absinken der Außenlufttemperatur am Ende der heißen Woche einen der ungedämmten Wand nahezu identen Verlauf, erlaubt also eine rasche Wärmeabgabe ans Außenklima (Abbildung 167).



**Abbildung 167 Einfluss der Dicke der Innendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur**

### 9.4.3.10 Einfluss der Lage der Dämmung auf die außenseitige Oberflächentemperatur

Den Einfluss der Lage, ob außenseitig oder raumseitig appliziert, auf die außenseitige Oberflächentemperatur zeigt die nachfolgende Abbildung 168. Mit heller Oberfläche und nach Süden orientiert zeigt sich im Vergleich zur ungedämmten Bestandswand (schwarze Linie), dass die außenseitige Applikation der Wärmedämmung eine deutliche Reduktion bei tiefen Temperaturen, aber einem geringfügigen Anstieg im Vergleich zum Bestand in der Amplitude kommt. Während die raumseitige Applikation zu einer schwächer ausgeprägten Reduktion bei tiefen Temperaturen führt, dafür aber der Peak an der Außenwandoberfläche etwas milder ausfällt.

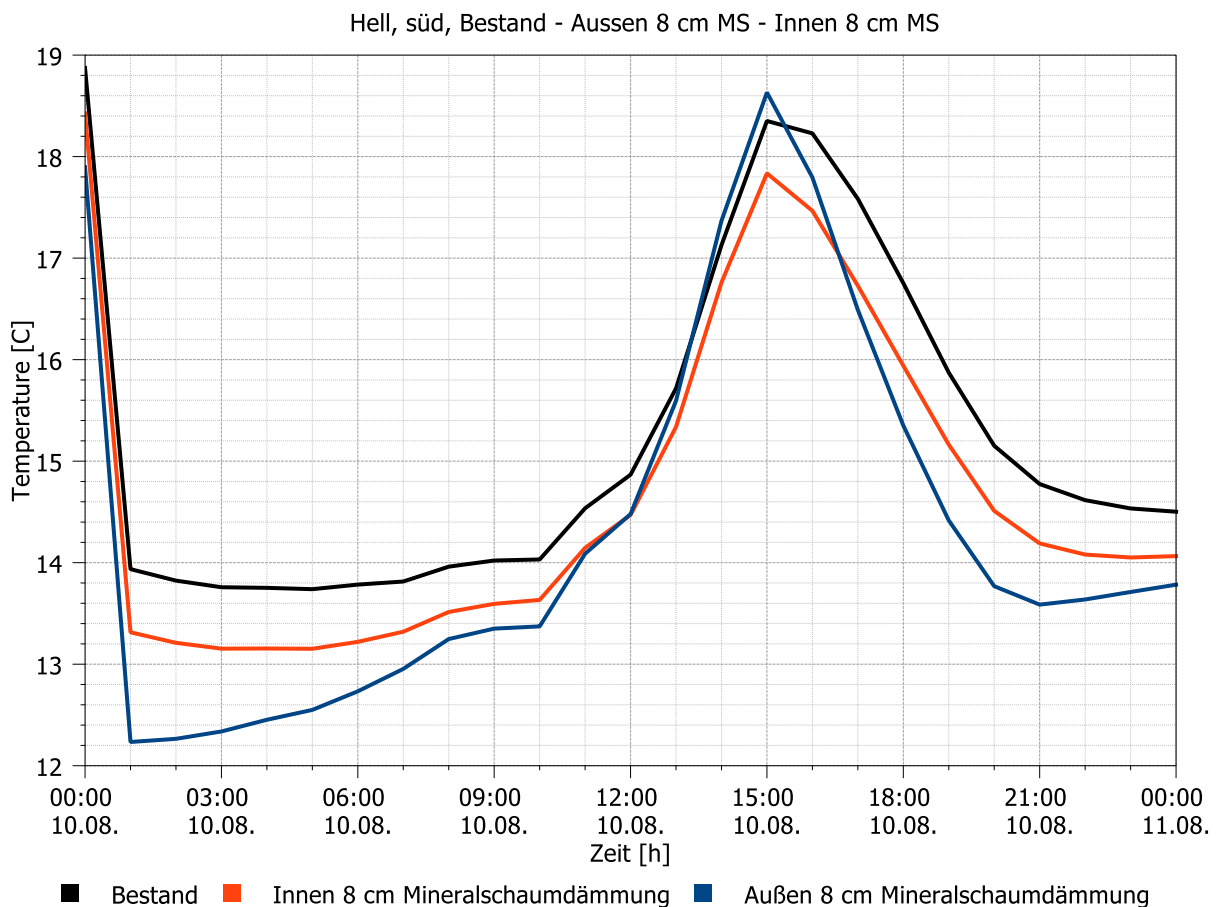


Abbildung 168 Einfluss der Lage der Dämmung auf die außenseitige Oberflächentemperatur

### 9.4.3.11 Einfluss der Lage der Dämmung auf die gemittelte Wandtemperatur

Den Einfluss der Lage, ob außenseitig oder raumseitig appliziert, auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur zeigt die nachfolgende Abbildung 169, jeweils mit heller Oberfläche und nach Süden orientiert zeigt sich im Vergleich zur ungedämmten Bestandswand (schwarze Linie), dass die außenseitige Applikation der Wärmedämmung zu einem Anstieg von etwa 3 °C führt, während die raumseitige Applikation zu einer Reduktion von etwa 3 °C führt. Insgesamt beträgt der Unterschied der über den gesamten Wandquerschnitt gemittelten Temperatur also 6 °C.

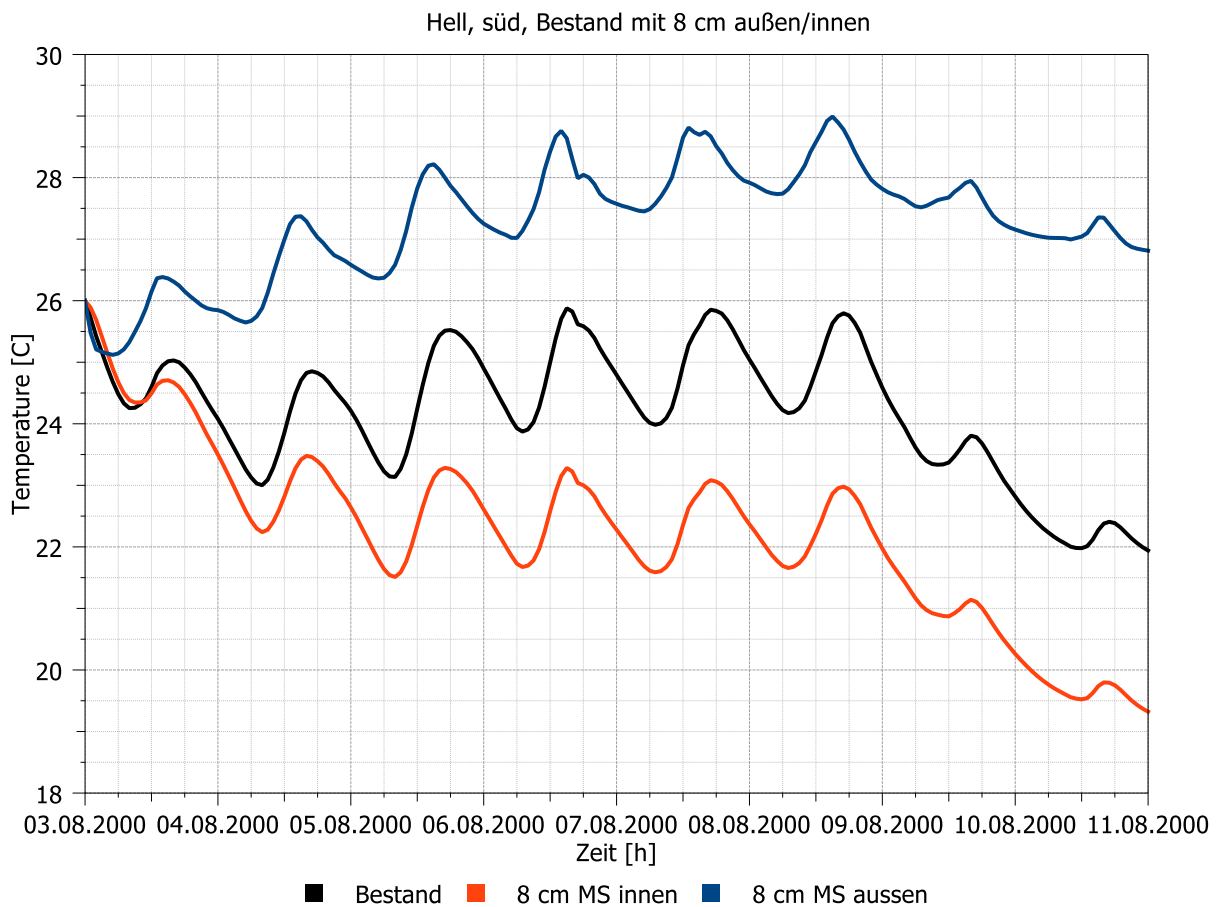


Abbildung 169 Einfluss der Lage der Dämmung auf die gemittelte Wandtemperatur

**9.4.3.12 Einfluss des Außenklimas auf die außenseitige Oberflächentemperatur**

Den Einfluss des Außenklimas auf die außenseitige Oberflächentemperatur am gewählten Betrachtungstag 10.8. zeigt die nachfolgende Abbildung 170. Dabei ist zu beachten, dass sich für unterschiedliche Klimaszenarien unterschiedliche heiße bzw. kritische Zeitpunkte und Perioden ergeben. Die höchsten Oberflächentemperaturen ergeben sich bei ‚RCP 8,5‘. Anhand des Temperaturverlaufes von ‚RCP 4,5‘ (hellblau) lässt sich erahnen, dass bei diesem Klimadatensatz der solare Eintrag am 10.8. geringer ausfällt, daher vermutlich eine Bewölkung vorliegt. Ein Blick in den Klimadatensatz bringt hier Klarheit, ist aber an dieser Stelle nicht weiter von Belang. In absteigender Reihenfolge der maximalen Oberflächentemperaturen folgen (‚RCP 4,5‘ einmal außen vorgelesen) ‚A1B 2100‘ (gelb strichliert) mit 41 °C, ‚A1B 2050‘ (weinrot strichliert) mit 36 °C und ‚A1B 2020‘ (grün strichliert) mit 35 °C. Gefolgt von den Klimadatensätzen ‚2007 plus 3,0 °C‘ mit 25 °C, und erwartungsgemäß abnehmend, ‚2007 plus 1,5 °C‘ mit 23,5 °C, ‚2007 plus 0,5 °C‘ mit 23 °C und ‚2007‘ mit 22,5 °C.

Insgesamt zeigt sich für die zukünftigen Klimaszenarien ein deutlicher Anstieg der Oberflächentemperaturen an der Fassade.

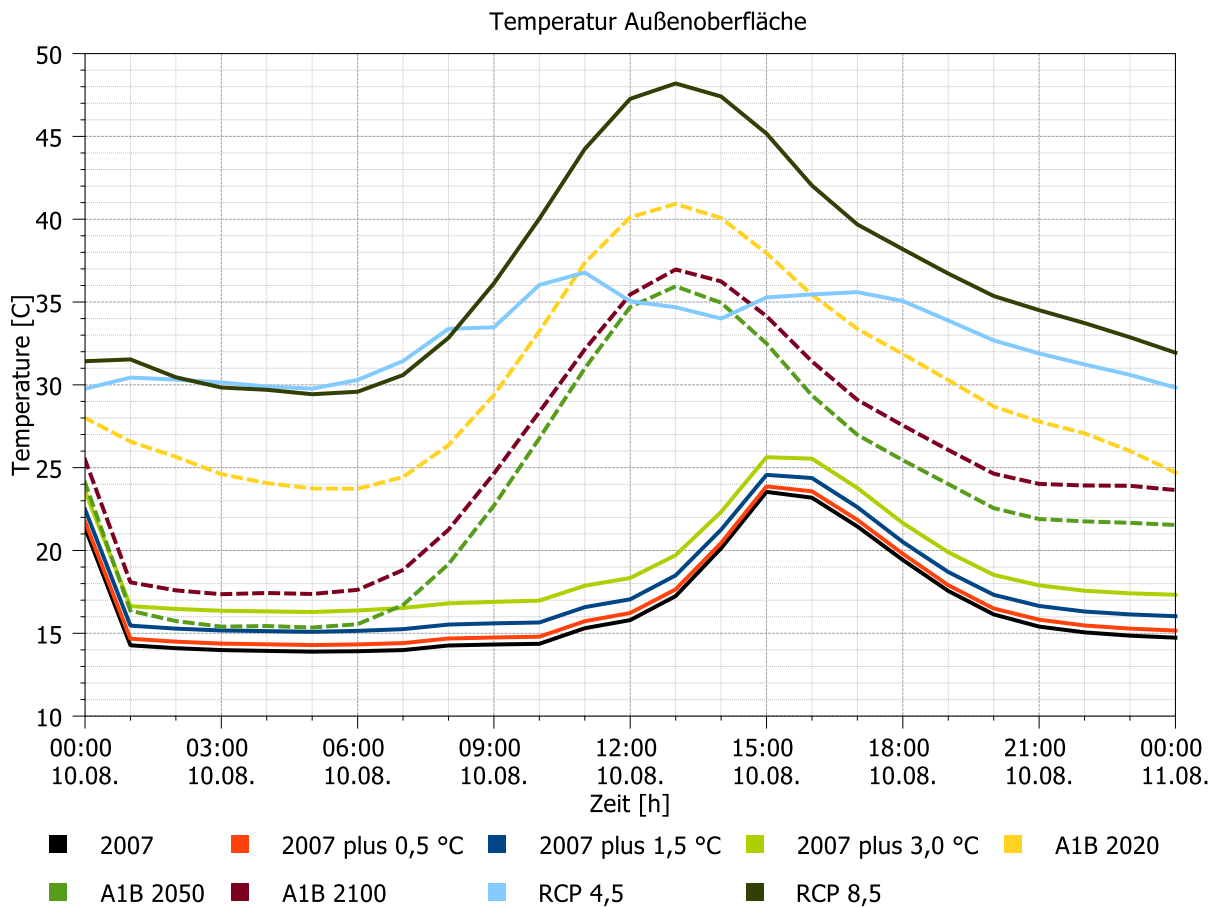
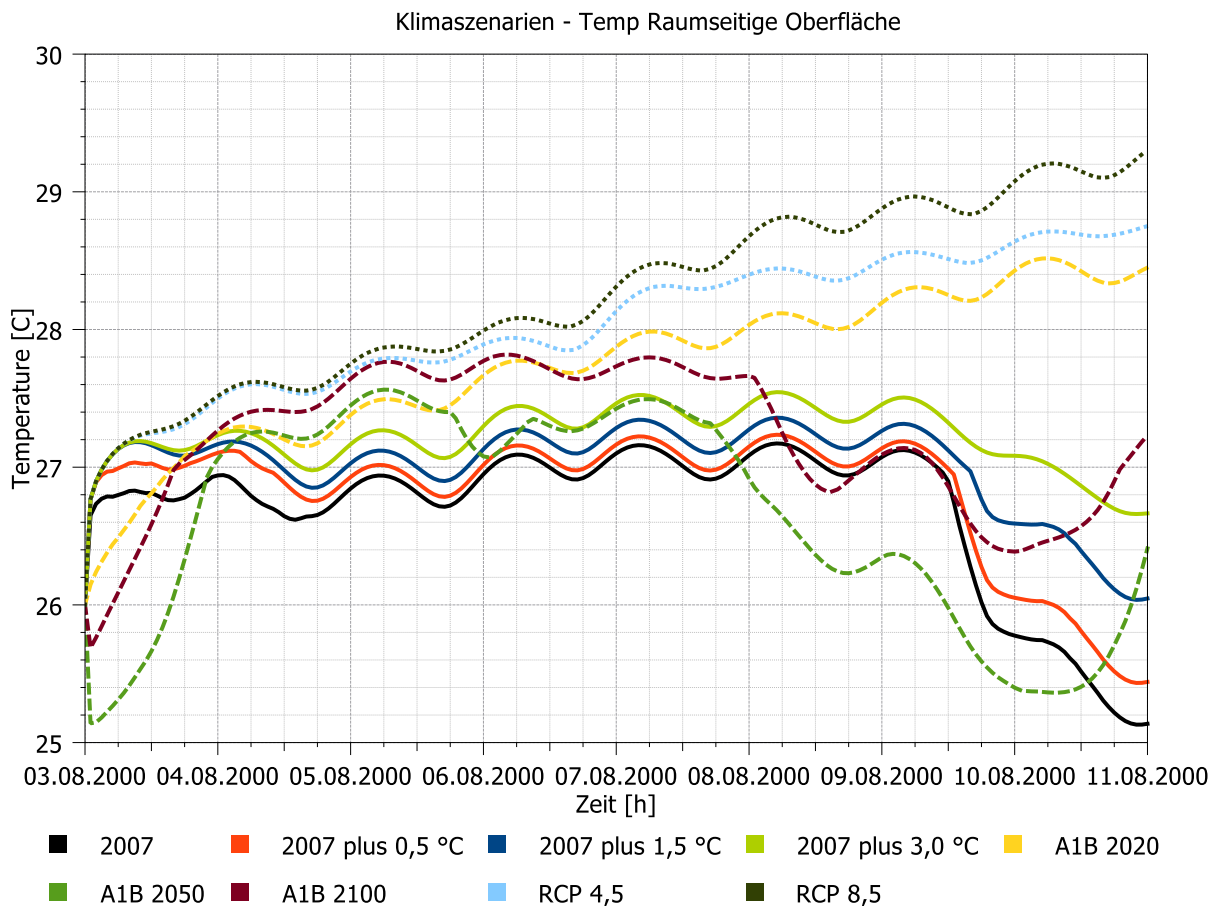


Abbildung 170 Einfluss des Außenklimas auf die außenseitige Oberflächentemperatur

**9.4.3.13 Einfluss des Außenklimas auf die raumseitige Oberflächentemperatur**

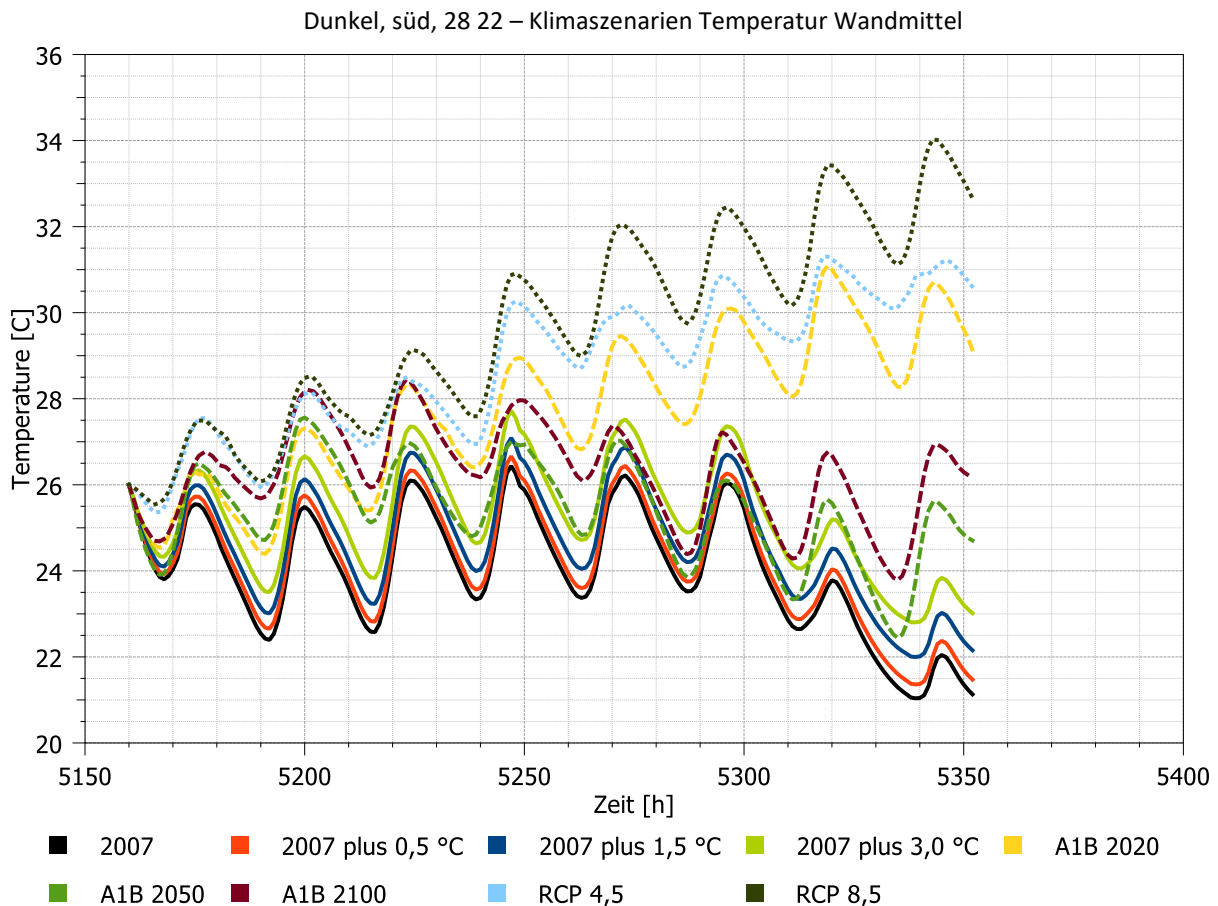
Den Einfluss der verschiedenen betrachteten Klimaszenarien auf die raumseitige Oberflächentemperatur in einer heißen Woche zeigt die nachfolgende Abbildung 171. Insgesamt erlaubt der gewählte Betrachtungszeitraum eine gute qualitative Einschätzung, obgleich beim Klimadatensatz A1B 2050 die Hitzeperiode kürzer ausfällt, ebenso bei A1B 2100, auf etwas höherem Temperaturniveau. Während der Klimadatensatz 2007 im Betrachtungszeitraum auch bereits eine Abkühlung abbildet, steigen die Temperaturen beim den Klimadatensätzen RCP 4,5, RCP 8,5 und A1B2020 kontinuierlich über den gesamten Betrachtungszeitraum. Bis zum 5ten Tag zeigen alle betrachteten Klimaszenarien ähnliche Auswirkungen auf die Bestandkonstruktion. Allesamt führen sie zu einem kontinuierlichen Anstieg der über den Wandquerschnitt gemittelten Temperatur, wobei der Anstieg, erwartungsgemäß abhängig von den mit den Klimadatensätzen verbundenen Temperaturniveaus entsprechend steiler ansteigt bei höheren Außenlufttemperaturen.



**Abbildung 171 Einfluss des Außenklimas auf die raumseitige Oberflächentemperatur**

**9.4.3.14 Einfluss des Außenklimas auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur**

Den Einfluss der verschiedenen betrachteten Klimaszenarien auf die gesamte Wandkonstruktion in einer heißen Woche zeigt, ergänzend zur vorangegangenen Abbildung 171 mit der Beurteilung der raumseitigen Oberflächentemperatur die nachfolgende Abbildung 172. Die über die Wandkonstruktion gemittelte Temperatur steigt bei allen Szenarien abhängig von dem Temperaturniveau der Außenlufttemperatur bis zum 5ten Tag kontinuierlich an. Während die Klimaszenarien RCP 4,5, RCP 8,5 und A1B2020 darüber hinaus noch weiter ansteigen wird bei den anderen Klimadatensätzen im Betrachtungszeitraum bereits eine Abkühlung abgebildet. Um die Ergebnisse entsprechend einordnen zu können wird im nächsten Schritt ein Blick in den Temperaturverlauf der gewählten Klimadatensätze geworfen.



**Abbildung 172 Einfluss des Außenklimas auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur**

Nachfolgend sind die Temperaturverläufe verschiedener ausgewählter Klimadatenätze bzw. Klimaszenarien für Juli und August abgebildet. Unschwer zu erkennen ist, dass ein Vergleich von Simulationsergebnissen schwierig wird, da die Maximaltemperaturen bzw. Hitzewellentage stets zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfinden. Um aber solare Strahlungseinträge, die ja vom Stand der Sonne und damit vom Datum abhängig sind in gleicher Weise berücksichtigen zu können wurde im Zuge der Vorbereitungen für die Simulationsreihen für die Beurteilung die Woche von 3. August bis 11. August 2007 festgelegt.

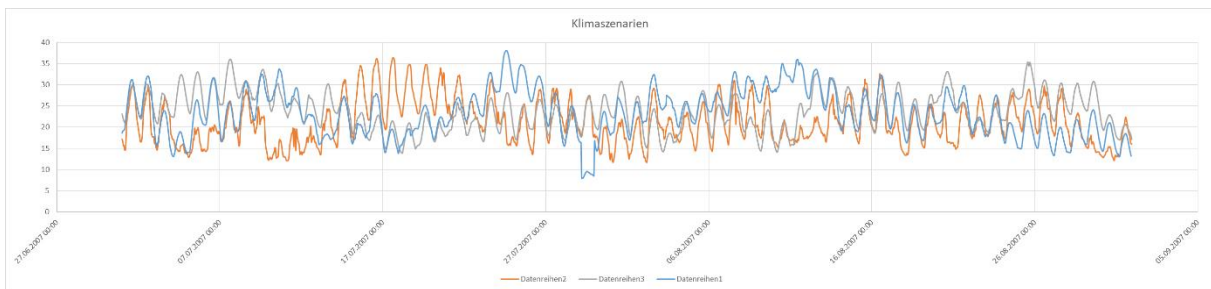


Abbildung 173 Klimaszenario

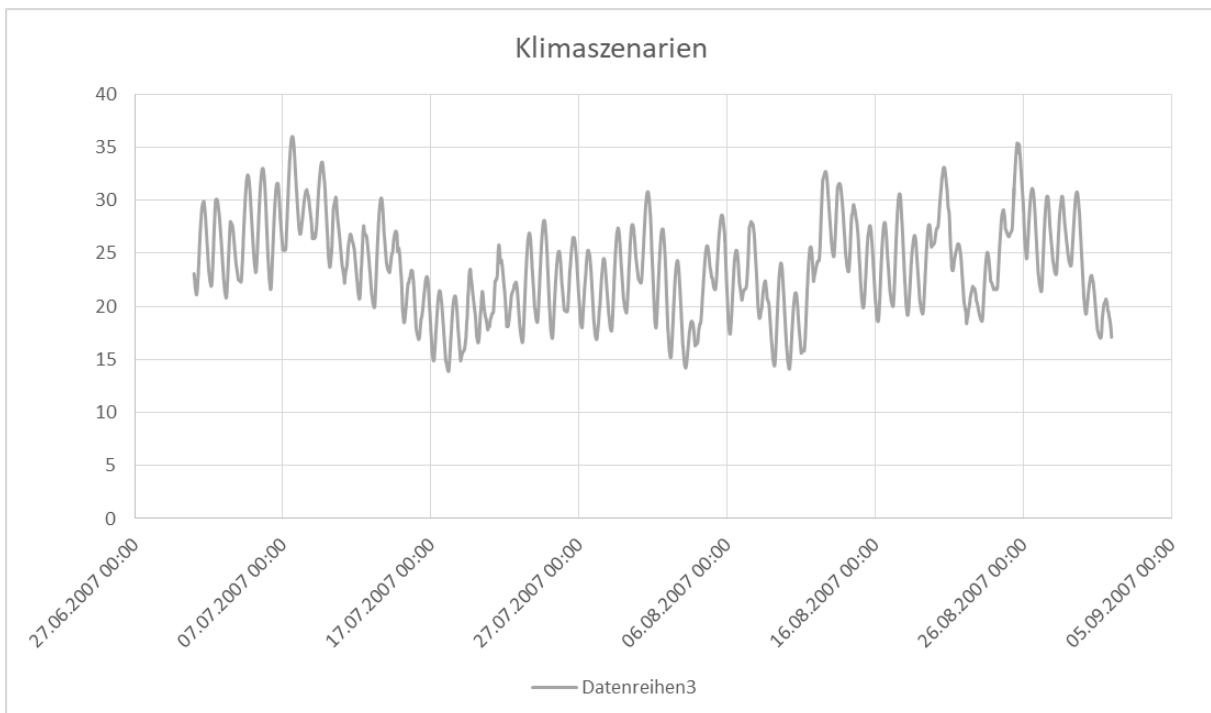


Abbildung 174 Klimaszenario

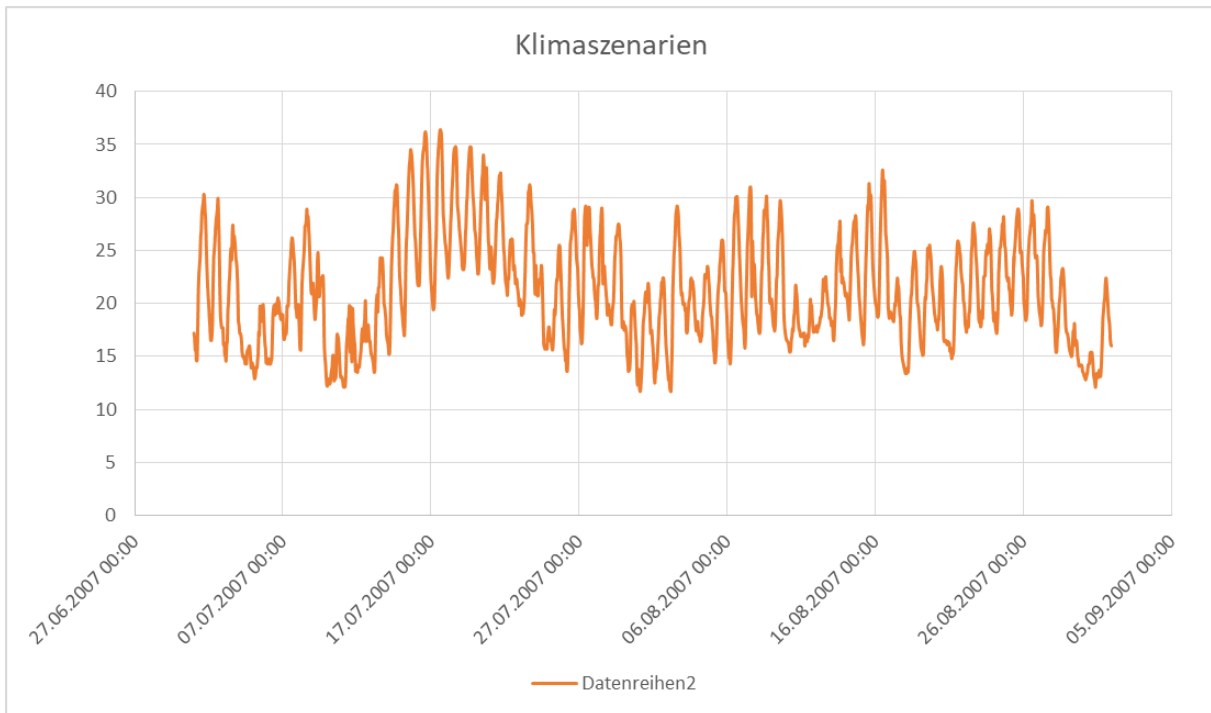


Abbildung 175 Realklima Wien 2007

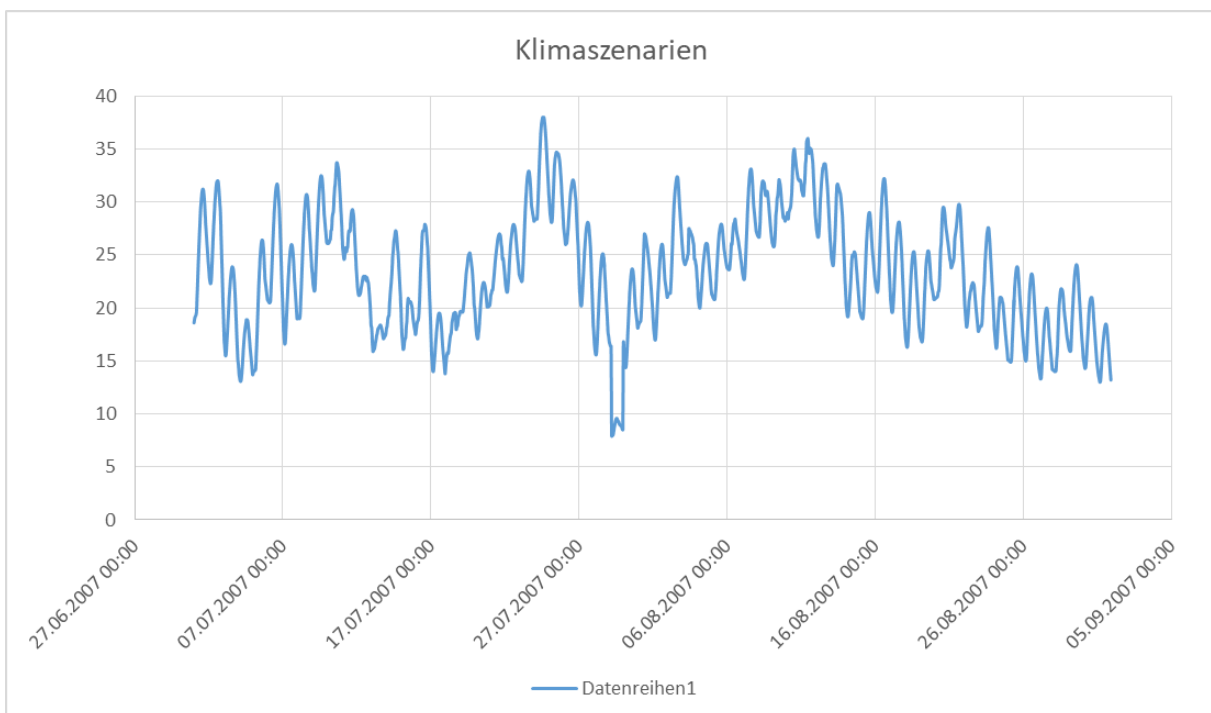
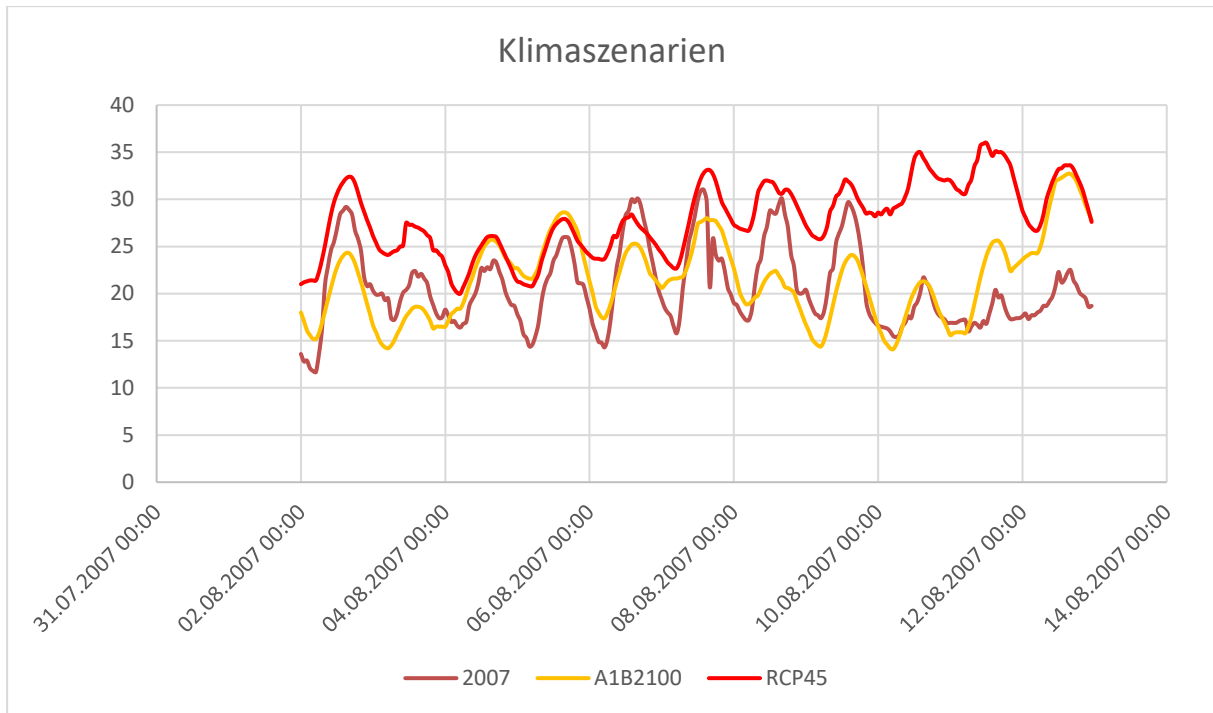
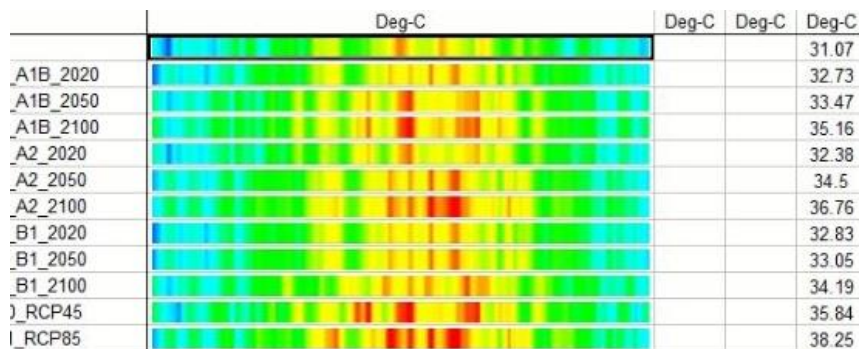


Abbildung 176 Klimaszenario



**Abbildung 177 Vergleichende Darstellung Außenlufttemperatur Klimadatensätze im Betrachtungszeitraum**

Die Abbildung 177 zeigt die Außenlufttemperatur der Klimadatensätze 2007, A1B2100, und RCP45 im für die Beurteilung festgelegten Betrachtungszeitraum. Die Abbildung zeigt, dass der Realklimadatensatz 2007 ein repräsentatives Mittel darstellt und für die Beurteilung grundsätzlich gut geeignet ist. Detailliert dazu im Beitrag Klimadaten für die Gebäudesimulation (enova).



**Abbildung 178 Analyse Temperaturverteilung und Maximaltemperaturen für Klimadaten verschiedener Szenarien**

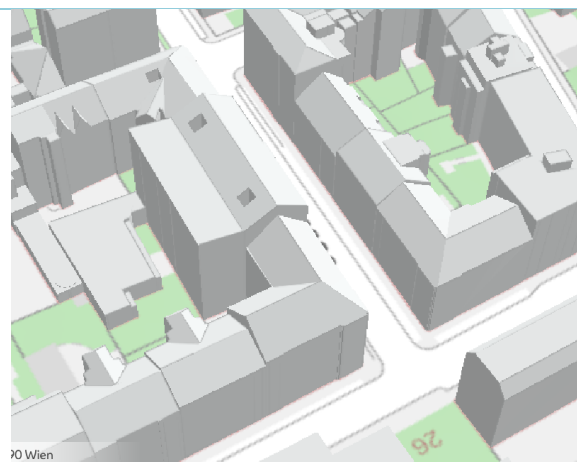
### 9.4.3.15 Repräsentative Modellgebäude

Für die Beurteilung zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung können normativ definierte Räume, normative Nutzer\*innen und normative Klimarandbedingungen herangezogen werden. Darüber hinaus ist es zielführend die Praxis durch reale Anwendungsfälle abzubilden. Hierzu wird eine Auswahl typischer, möglichst repräsentativer Gebäude zusammengestellt.

Verschiedene Projekte dienen als typologische Beispiele wie eine Gründerzeitvilla, die thermisch saniert wird und zudem einen Dachgeschoßausbau erhält. Ein weiteres Objekt dient als Beispiel für ein Gründerzeithaus, dessen Dachgeschoß bereits ausgebaut wurde und deren Fenster thermisch erneuert wurden.



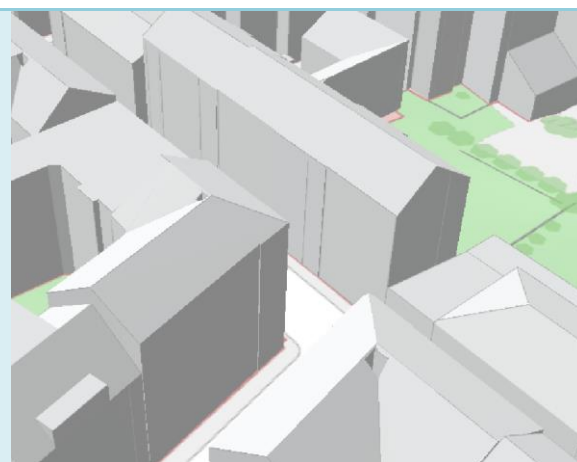
Gründerzeitvilla



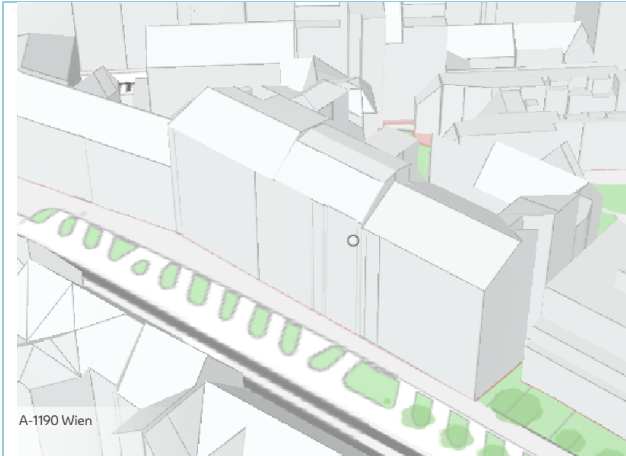
Gründerzeitgebäude – Ecke



Gründerzeitgebäude – Ecke

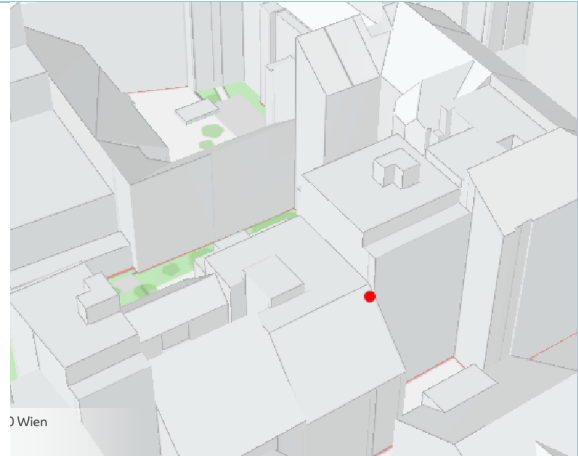


Gründerzeitgebäude – verschattet



A-1190 Wien

Gründerzeitgebäude, links und rechts angebaut



Wien

Gründerzeitgebäude, links und rechts angebaut

### 9.4.3.16 Einfluss der Klimaentwicklung auf den Thermischen Komfort

Zur Beurteilung des thermischen Komforts kann das adaptive Komfortmodell nach ÖNorm EN 15251 herangezogen werden. In diesem werden Komfortklassen definiert. Bei der Bewertung werden die Außenlufttemperaturen berücksichtigt. Beurteilt werden Stundenwerte des Innenraumklima. Die Darstellung der Ergebnisse erlaubt eine rasche Einschätzung des thermischen Komforts. Eine detaillierte Beurteilung erfolgt anhand der Prozentangaben in den jeweiligen Kategorien, wobei in erster Linie ein thermischer Diskomfort vermieden werden sollte, die Zahl der Stunden in denen die operativen Raumlufttemperaturen (früher als empfundene Temperatur bezeichnet) außerhalb von Kategorie 3 sollte also unbedingt geringgehalten werden.

Nachfolgend wird die Beurteilung des thermischen Komforts anhand eines Modellraums für unterschiedliche Klimaszenarien gezeigt, wobei das Augenmerk auf den rechten (Sommer) oberen Teil der Punktwolke (hohe empfundene Temperaturen) zu legen ist. Die Punkte oberhalb der dunkelorange Linie bilden Stunden mit thermischen Diskomfort ab. Mit zunehmend kritischeren Klimaszenarien nimmt die Anzahl dieser Stunden deutlich zu wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen. Abschließend wird für RCP 8,5 gezeigt, dass sich diese kritischen Stunden, beispielsweise durch ein Vordach halbieren lassen.

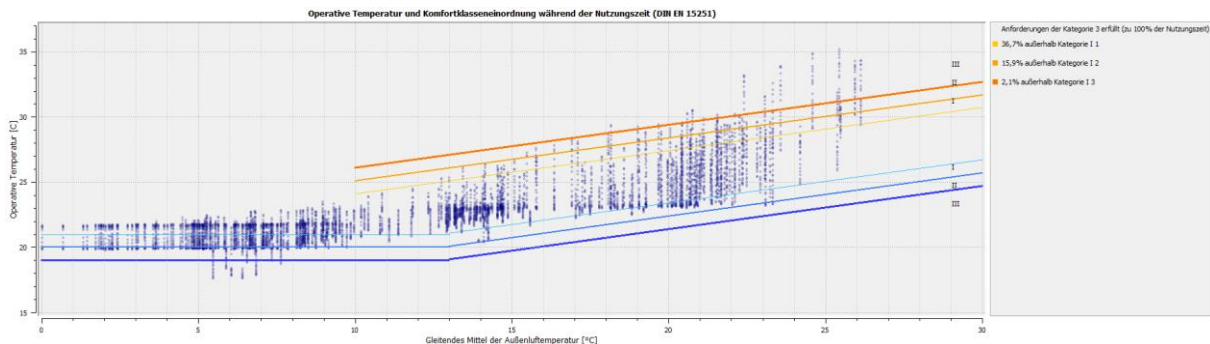


Abbildung 179 Klimadatensatz 2007, 35,2 °C, 2383 h<sup>172</sup>

<sup>172</sup> Die hier angegebene Stundenanzahl bezieht sich auf die Übertemperaturgradstunden – also auf die Summe der Stunden, in denen die Temperatur über 26 °C liegt, multipliziert mit der jeweiligen Temperaturdifferenz zu 26 °C.

# Hitzetaugliche Wohngebäude

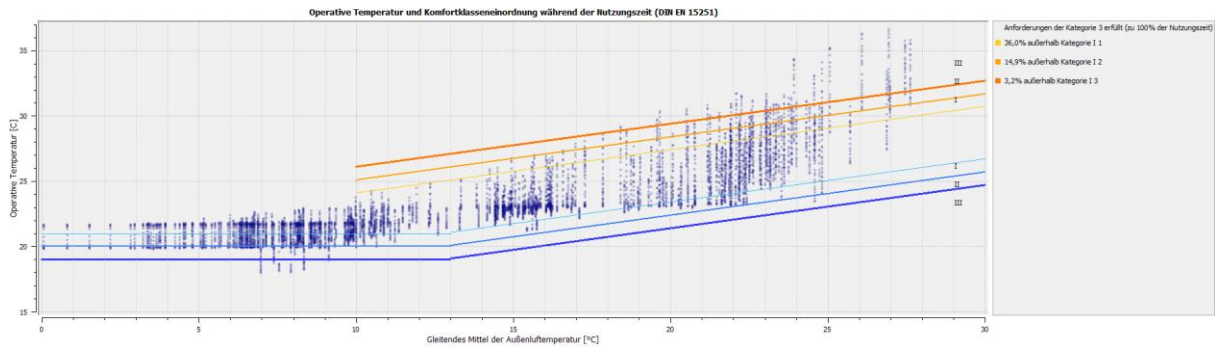


Abbildung 180 Klimadatensatz 2007+1,5 °C, M1, tmax, 36,6 °C, 4056 h

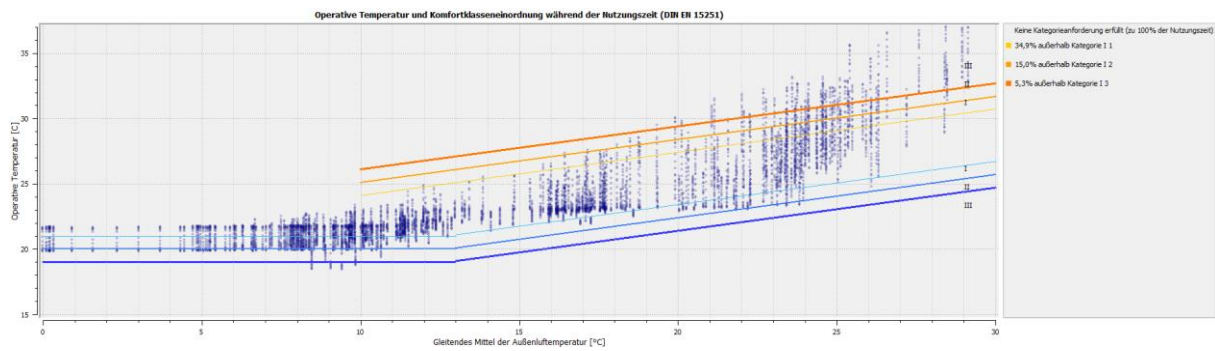


Abbildung 181 Klimadatensatz 2007+3,0 °C, 38,1 °C, 6504 h

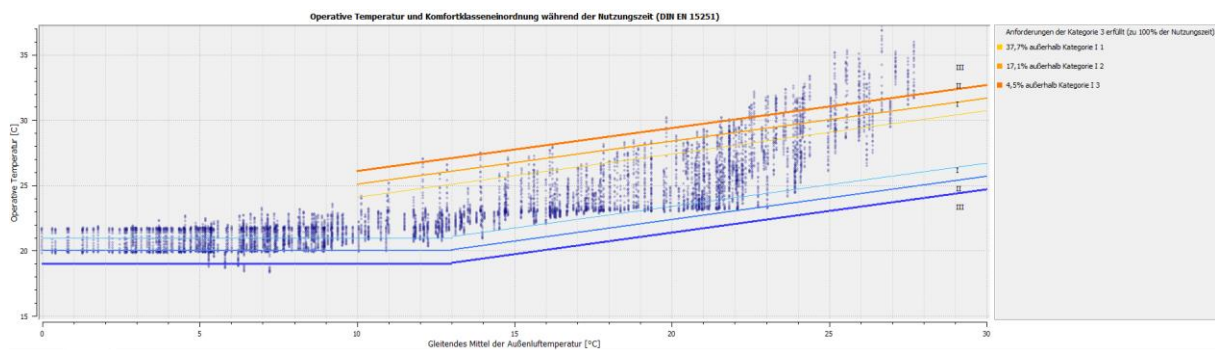


Abbildung 182 Klimadatensatz A1B2100, 37,2 °C, 5176 h

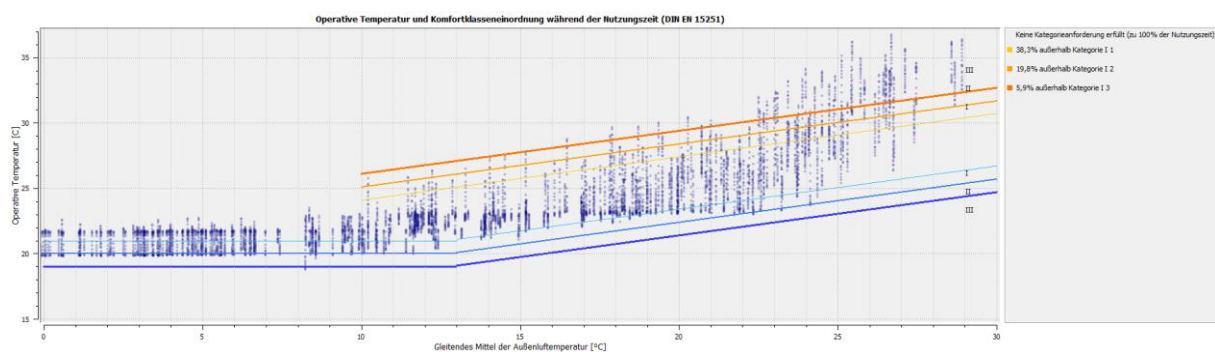
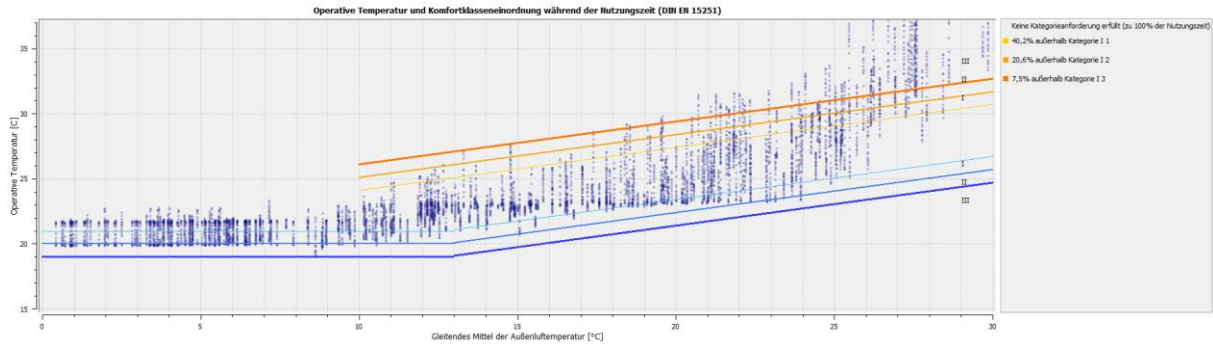
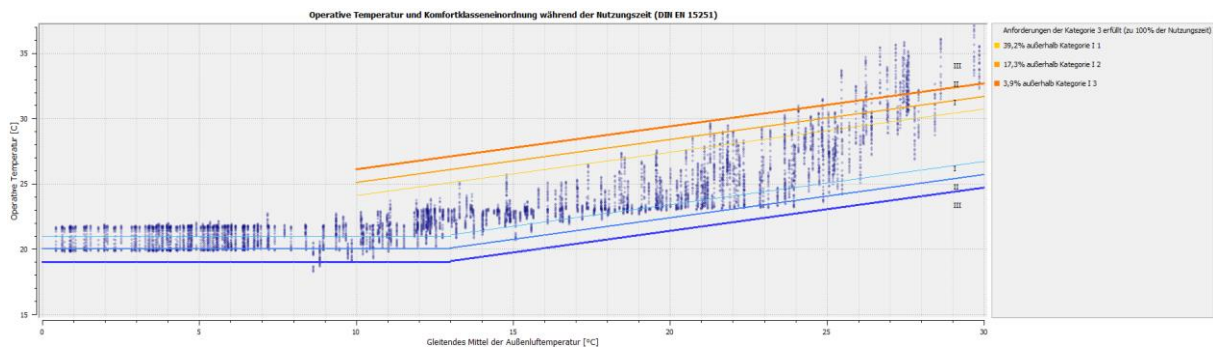


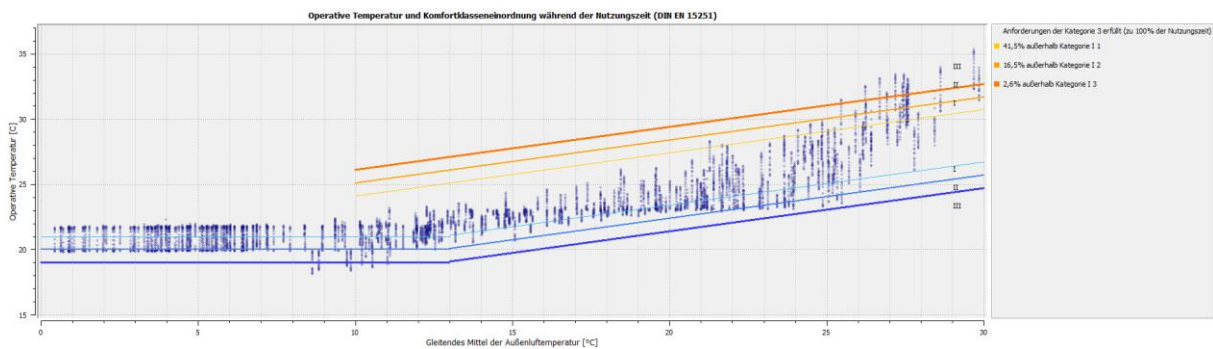
Abbildung 183 Klimadatensatz RCP 4,5, 36,8 °C, 6207 h



**Abbildung 184 Klimadatensatz RCP 8,5, 40,3 °C, 8275 h**



**Abbildung 185 RCP 8,5 mit Vordach/Loggia, 37,5 °C, 5547h**



**Abbildung 186 RCP 8,5 Jalousien außen, Öffnungswinkel 45 °, 35,3 °C, 3807 h**

#### 9.4.4 Berechnungen Gebäudebezogene Energiekennzahlen (Archiphysik)

Der Einfluss verschiedener baulicher und technischer Maßnahmen im Hinblick auf die Hitzetauglichkeit von Wohngebäuden kann zum einen über den thermischen Komfort, maximal empfundene Raumtemperaturen erfolgen. Zum anderen kann er, sozusagen von der anderen Seite her, über den Kühlbedarf ermittelt werden. Dabei wird jener Energiebedarf ermittelt, der für die Einhaltung einer definierten maximalen Temperatur im Sommer erforderlich ist. Während hier im Winter 20°C oder 22 °C für die Berechnung festgelegt sind, wird für den Sommerfall in der Regel eine Temperatur von 26 °C gewählt. Dieser Wert ist normativ festgehalten im Falle einer vorhandenen Kühlung. Er kann also in erster Instanz für die Abschätzung des Einflusses der Maßnahmen herangezogen werden. Unabhängig davon ist aber auch die Festlegung eines höheren Grenzwertes sinnvoll bzw. möglich.

Nachfolgend werden die Ergebnisse eines typischen Gründerzeitgebäudes zusammengefasst. Ausgangslage für die Berechnung stellt der Bestand ohne weitere Maßnahmen dar. Im Weiteren wird der Einfluss weiterer Maßnahmen wie die Lage des Sonnenschutzes, die thermische Ertüchtigung der Fenster, thermische Sanierung mit Außendämmung, sowie die thermische Ertüchtigung mit Innendämmung untersucht. Als Bewertungsgröße wird der „fiktive“ Kühlbedarf ( $\text{Kühlbedarf}_{\text{Standortklima}}$  in kWh/m<sup>2</sup>) als spezifischer, also auf die konditionierte Bruttogrundfläche bezogen) ermittelt. Ist dieser gering oder besser Null, so ist das Gebäude grundsätzlich einmal besonders hitzetauglich.

**9.4.4.1 Einfluss Lage des Sonnenschutzes auf den Kühlbedarf**

In den Varianten V2, V3 und V4 wird der Einfluss der Lage des Sonnenschutzes beim Bestandsgebäude dargestellt. Der Gesamtenergiedurchlassgrad (Verschattung + Verglasung) wird als  $g_{total}$  angegeben. Typische Gesamtenergiedurchlassgrade für ‚Abschlüsse‘ in verschiedenen Stellungen und für verschiedene Verglasungen stellt Tabelle 19 der ÖNorm B 8110-6 zusammen. Für die nachfolgende Berechnung werden Fassadenmarkisen (dicht gewebt, sehr dunkel) mit einem  $g_{total}$  von 0,14 gewählt. Besonders relevant in der Berechnung ist aber nicht nur die Art des Sonnenschutzes, bzw. dessen Lage, sondern auch die Art der Bedienung bzw. Steuerung. Es wird deshalb jeweils das Ergebnis für unterschiedliche  $a_{m,s,c}$ -Werte angeführt (Abbildung 187).

Art der Steuerung/Bedienung	$a_{m,s,c}$
Automatische Steuerung (Strahlung oder Lichtstärke oder Zeit oder kombiniert) mit beschränktem manuellen Nutzereingriff sowie allfälligen Wettereinflüssen wie Windböen	0,8
Vorsorglich manuelle Bedienung: Wenn sichergestellt ist, dass auch außerhalb der Anwesenheit von Personen der Sonnenschutz aktiv ist (z.B. präventive Aktivierung am Vortag)	0,5
Manuelle Bedienung: wenn der Sonnenschutz erst bei thermischem Diskomfort aktiviert wird	0,25
Keine Sonnenschutzeinrichtung	0

**Abbildung 187 Tabelle 17, ÖNorm B 8110:6 Parameter  $a_{m,s,c}$  zur Bewertung der Aktivierung von Sonnenschutzeinrichtungen**

Da im Programmpaket die meteorologischen langjährigen Klimadaten zur Berechnung herangezogen werden, wird in der Berechnung der Klimadatenatz Wien Innere Stadt, mit im Vergleich zu Wien Hohe Warte etwas höheren Temperaturniveaus herangezogen um die Klimaentwicklung in der Studie auch für die Randbezirke angemessen zu berücksichtigen.

		Kühlbedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]				
		$g_{total}$	$a_{m,s,c}$			
			0	0,25	0,5	0,8
<b>V1</b>	Bestand	0,00	2,6			
<b>V2</b>	Bestand + Sonnenschutz innen	0,30		2,00	0,00	0,00
<b>V3</b>	Bestand + Sonnenschutz zwischen	0,25		2,00	0,00	0,00
<b>V4</b>	Bestand + Sonnenschutz außen	0,14		1,80	0,00	0,00

**Abbildung 188 Einfluss Lage des Sonnenschutzes auf den Kühlbedarf**

Bereits ein innen liegender Sonnenschutz bringt gegenüber gar keinem Sonnenschutz eine deutliche Reduktion des Kühlbedarfs. Im ungünstigsten Aktivierungsfall beträgt der Kühlbedarf 2,00 kWh/m<sup>2</sup>a, im Vergleich zum Bestand ohne Sonnenschutzeinrichtung mit 2,60 kWh/m<sup>2</sup>a (Abbildung 188). Das erwartungsgemäß günstigste Ergebnis zeigt erwartungsgemäß der außen

liegende Sonnenschutz. Mit einer vorsorglichen Bedienung kann der Kühlbedarf auf Null reduziert werden.

**9.4.4.2 Einfluss neuer Fenster mit 2-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf**

Die thermische Verbesserung bestehender Kastenfenster auf 2-Scheiben-Isolierverglasung bringt erst einmal eine deutliche Erhöhung des Kühlbedarfs mit sich, da die Hitze im Raum – im Vergleich zu 2x4 mm Fensterglas (Kastenfenster-Bestand) nicht mehr so gut an den Außenraum abgegeben werden kann. Ist ein Sonnenschutz vorgesehen kann der Kühlbedarf, bei automatischer Bedienung selbst bei Innen, oder zwischenliegendem Sonnenschutz auf Null reduziert werden. Bei außenliegender Verschattung bereits bei vorsorglicher manueller Bedienung. Insgesamt zeigt die Berechnung, dass neue Fenster in Kombination mit einem außen liegenden Sonnenschutz zu gleich guten Ergebnissen führen wie im Bestand, bei dem in der Heizperiode insbesondere die Bestandsfenster zu hohem Energiebedarf führen (Abbildung 189).

		Kühlbedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]				
		g <sub>total</sub>	a <sub>m,S,c</sub>			
			0	0,25	0,5	0,8
<b>V5</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (2-fach) + ohne Sonnenschutz	0,00	4,1			
<b>V6</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (2-fach) + Sonnenschutz innen	0,30		2,00	1,60	0,00
<b>V7</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (2-fach) + Sonnenschutz zwischen	0,25		1,90	1,50	0,00
<b>V8</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (2-fach) + Sonnenschutz außen	0,10		1,70	0,00	0,00

Abbildung 189 Einfluss 2-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf

**9.4.4.3 Einfluss neuer Fenster mit 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf**

Die Ergebnisse der thermischen Verbesserung bestehender Kastenfenster auf 3-Scheiben-Isolierverglasung bringt im Vergleich zur 2-Scheiben-Isolier-Verglasung jeweils geringfügig günstigere Ergebnisse hinsichtlich des Kühlbedarfs (Abbildung 190). Der Unterschied zur 2-Scheiben-Isolier-Verglasung liegt bei einem um 0,20 kWh/m<sup>2</sup>a niedrigeren spezifischen Kühlbedarf.

		Kühlbedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]				
		g <sub>total</sub>	a <sub>m,s,c</sub>			
			0	0,25	0,5	0,8
<b>V5a</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + ohne Sonnenschutz	0,00	2,1			
<b>V6a</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Sonnenschutz innen	0,30		1,80	1,50	0,00
<b>V7a</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Sonnenschutz zwischen	0,25		1,70	1,40	0,00
<b>V8a</b>	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Sonnenschutz außen	0,10		1,50	0,00	0,00

**Abbildung 190 Einfluss 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf**

**9.4.4.4 Einfluss einer Innendämmung auf den Kühlbedarf**

Der Einfluss der thermischen Verbesserung mittels Innendämmung wird in Kombination mit einer thermischen Ertüchtigung der Fenster, in diesem Beispiel auf 3-Scheiben-Isolierverglasung untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, im Vergleich zu den bisher analysierten Varianten einen deutlich höheren Kühlbedarf, selbst bei Außen liegender Verschattung und automatisierter Steuerung (Abbildung 191). Diese Ergebnisse sollen an dieser Stelle einmal nicht weiter vertieft werden. Ausführlich untersucht wurde der Einfluss des Innendämmung auf das Innenraumklima in [Steiner, 2020]. Es sei hier deshalb nur der Hinweis gegeben, dass die Ergebnisse stark vom Lüftungsverhalten geprägt sind und durchaus günstiger ausfallen können.

		Kühlbedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]				
		g <sub>total</sub>	a <sub>m,s,c</sub>			
			0	0,25	0,5	0,8
V9	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Innendämmung + ohne Sonnenschutz	0,00	9,3			
V10	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Innendämmung + Sonnenschutz innen	0,30		8,30	7,40	6,30
V11	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen	0,25		8,10	6,90	5,60
V12	Thermische Sanierung d. Fenster (3-fach) + Innendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		7,40	5,60	3,70

Abbildung 191 Einfluss Innendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf

**9.4.4.5 Einfluss einer Außendämmung auf den Kühlbedarf**

Der Einfluss der thermischen Verbesserung mittels Außendämmung wird ebenfalls in Kombination mit einer thermischen Ertüchtigung der Fenster, in diesem Beispiel auf 3-Scheiben-Isolierverglasung untersucht.

Wer vermutet, dass die Ergebnisse bei der außenseitigen Applikation einer Dämmung im Vergleich zur Innendämmung, bei der ja vermeintlich viel Speicherwirksame Masse „weggedämmt“ wird, günstiger ausfallen, wird an dieser Stelle enttäuscht sein. Grundsätzlich zeigt die Applikation einer Dämmung, egal ob außen oder innen eine deutliche Erhöhung des Kühlbedarfs. Im untersuchten Beispiel liegt dieser bei der Außendämmung nochmals etwas höher als bei der Innendämmung.

Die Ergebnisse zeigen, im Vergleich zu den bisher analysierten Varianten einen hohen Kühlbedarf, selbst bei Außen liegender Verschattung und automatisierter Steuerung (Abbildung 230). Diese Ergebnisse sollen an dieser Stelle einmal nicht weiter vertieft werden. Auch an dieser Stelle der Hinweis, dass die Ergebnisse stark vom Lüftungsverhalten geprägt sind und durchaus günstiger ausfallen können.

		Kühlbedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]				
		g <sub>total</sub>	a <sub>m,S,c</sub>			
			0	0,25	0,5	0,8
<b>V13</b>	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + ohne Sonnenschutz	0,00	12,8			
<b>V14</b>	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz innen	0,30		11,40	10,20	8,70
<b>V15</b>	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz zwischen	0,25		11,10	9,60	6,80
<b>V16</b>	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		10,20	6,90	4,90

Abbildung 192 Einfluss Außendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf

Der berechnete doch, vielleicht stärker als erwartet, ausgeprägte negative Einfluss von Dämmmaßnahmen auf den Kühlbedarf ist grundsätzlich nicht von der Hand zu weisen. Die Dämmung hält auch im Sommer die Wärme im Gebäude, obgleich auch die Einträge von Wärme von außen reduziert werden. Dass die Ergebnisse wie angesprochen stark vom Lüftungsverhalten abhängen wurde bereits erwähnt und soll in einem ersten Schritt anhand eines gegenüber den ersten Berechnungen leicht erhöhten Luftwechsels gezeigt werden (Abbildung 193). Der hygienische Luftwechsel wurde von 0,38 auf 0,65 erhöht. Als Ergebnis zeigt sich eine Reduktion von 3,6 kWh/m<sup>2</sup>a bei der Variante ohne Verschattung. Bei der automatisch gesteuerten außenliegenden Verschattung wird der Kühlbedarf um etwa 30 % reduziert. Die Reduktion durch den geringfügig höheren Luftwechsel liegt je nach Lage der Verschattung und Bedienung zwischen etwa 30 % und 40 %. An dieser Stelle der Hinweis, dass bei weiterer Erhöhung des Luftwechsels irgendwann der Punkt erreicht wird, dass die Einträge warmer Luft von außen wieder zu einer Erhöhung des Kühlbedarfs führen. Der Einfluss des Lüftungsverhaltens, bzw. unterschiedlicher Strategien zur Verschattung und Belüftung kann unter zu Hilfenahme instationärer Raum- und Gebäudesimulationsprogramme anschaulicher und zielführender untersucht und diskutiert werden.

		Kühlbedarf [kWh/m <sup>2</sup> a]				
		g <sub>total</sub>	a <sub>m,s,c</sub>			
			0	0,25	0,5	0,8
V13	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + ohne Sonnenschutz	0,00	9,2			
V14	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz innen	0,30		8,20	7,20	6,10
V15	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz zwischen	0,25		8,00	6,80	5,40
V16	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		7,30	5,50	2,90

Abbildung 193 Einfluss Außendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf bei etwas höherem Luftwechsel

Zusammenfassend der wichtige Hinweis, dass den hier berechneten Ergebnisse eine Zieltemperatur von 26 °C zugrunde gelegt wurde. Wird diese höher – beispielsweise bei 27 °C, oder 28°C angesetzt, so sinkt der Kühlbedarf deutlich und geht bei vielen der untersuchten Varianten auf Null, wodurch die

vergleichende Beurteilung der Verbesserung von Maßnahmen schwierig wird, wenn sozusagen überall null steht.

**9.4.4.6 Einfluss einer Kühlzieltemperatur auf den Kühlbedarf**

Der Einfluss der Zieltemperatur wird nachfolgend anhand der Außen gedämmten Variante 16 gezeigt, wobei der Standardluftwechsel von 0,38 berücksichtigt wird. Ausgehend von einer Kühlzieltemperatur, die für Gebäude mit aktiver Kühlung festgelegt wurde, wird diese in 1 °C Schritten angehoben. Ob und wie weit damit der thermische Komfort noch gewährleistet ist, soll an dieser Stelle nicht betrachtet werden. Dies wird in der instationären thermischen Raum- und Gebäudesimulation beurteilt. Die Ergebnisse in Abbildung 194 zeigen, dass selbst bei der als am kritischsten identifizierter Variante bereits bei geringfügiger Anhebung der Kühlzieltemperatur sich ein adäquater Kühlbedarf einstellt. Bei außenliegender Verschattung und automatischer Bedienung kann dieser bei einer Kühlzieltemperatur von 30 °C, was jetzt keine Empfehlung sein soll, auf Null reduziert werden.

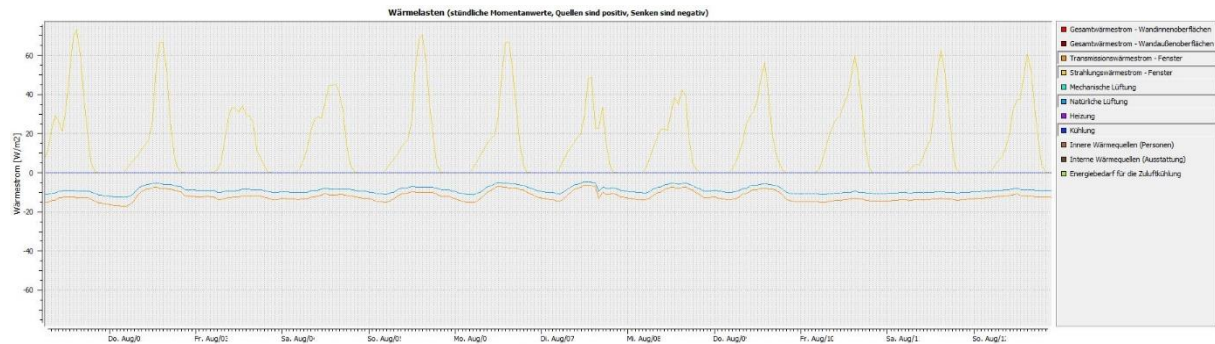
		Kühlbedarf [kWh/m²a]				
		g <sub>total</sub>	a <sub>m,s,c</sub>			
			0	0,25	0,5	0,8
V 16 26 °C	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		10,20	6,90	4,90
V 16 27 °C	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		7,00	5,30	3,50
V 16 28 °C	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		5,40	3,90	1,90
V 16 29 °C	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		4,00	2,70	1,20
V16 30 °C	Thermische Sanierung d. Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen	0,10		2,90	1,40	0,00

Abbildung 194 Einfluss der Kühlzieltemperatur auf den Kühlbedarf, Außendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung, bei Luftwechsel 0,38

## 9.4.5 Berechnungen Komfort (Therakles)

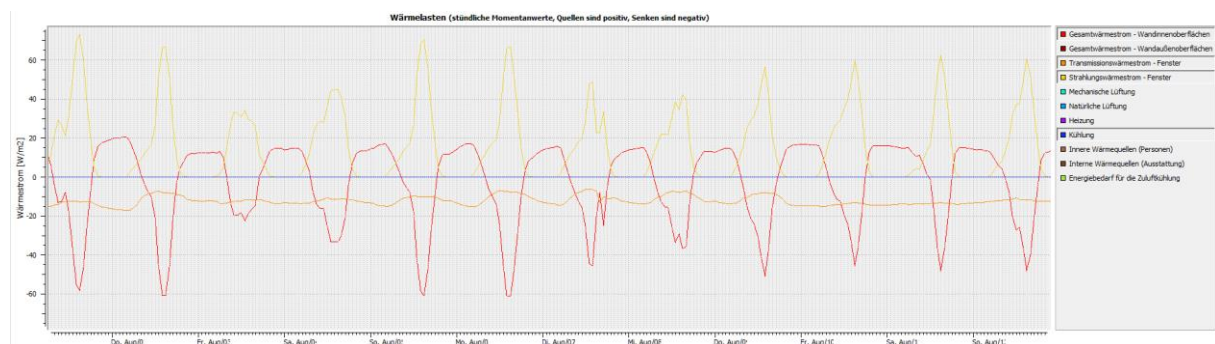
### 9.4.5.1 Informationen zur Beurteilung

Nachfolgend werden Informationen zur Beurteilung der Berechnungsergebnisse aus dem Programm Therakles zusammengestellt. Hier werden für einen Modellraum dynamische Simulationen durchgeführt. Als Ergebnisse werden sowohl Kennzahlen zum thermischen Komfort wie auch Energiekennzahlen zu Kühlbedarf ausgegeben.



**Abbildung 195** M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Transmissionswärmestrom Fenster, Natürliche Lüftung  $n_{\text{hyg}} 0,38$ , Klimadatenatz Wien 2007

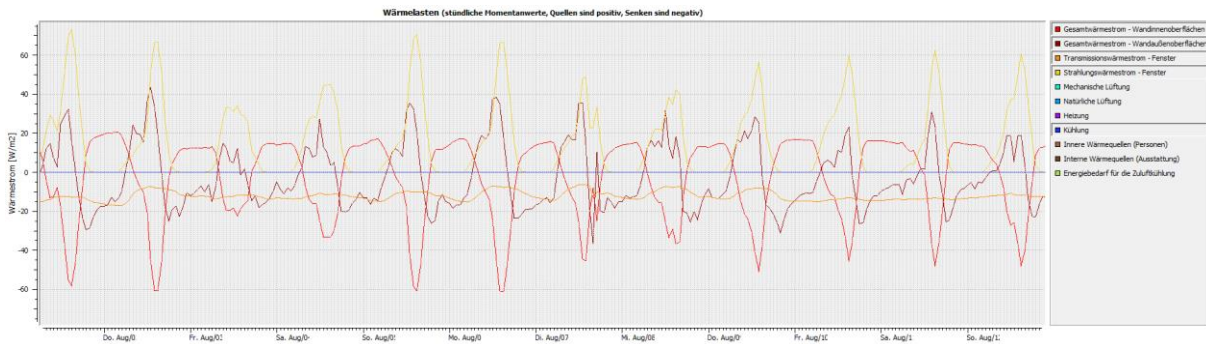
Die Abbildung 195 zeigt die über solare Einstrahlung in das Fenster eingetragene Wärme (gelb) und die über Transmissionswärmeverluste über das Fenster an den Außenraum abgegebene Wärme. Positiver Wärmestrom, also alles oberhalb der dunkelblauen Linie sind als Wärmequellen auf den Raum zu verstehen, unterhalb als Wärmesenken. Bei negativem Wärmestrom wird vom Raum aus Wärme an die Umgebung abgegeben – hier beispielhaft dargestellt für die natürliche Lüftung.



**Abbildung 196** M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Transmissionswärmestrom Fenster, Natürliche Lüftung  $n_{\text{hyg}} 0,38$ , Klimadatenatz Wien 2007

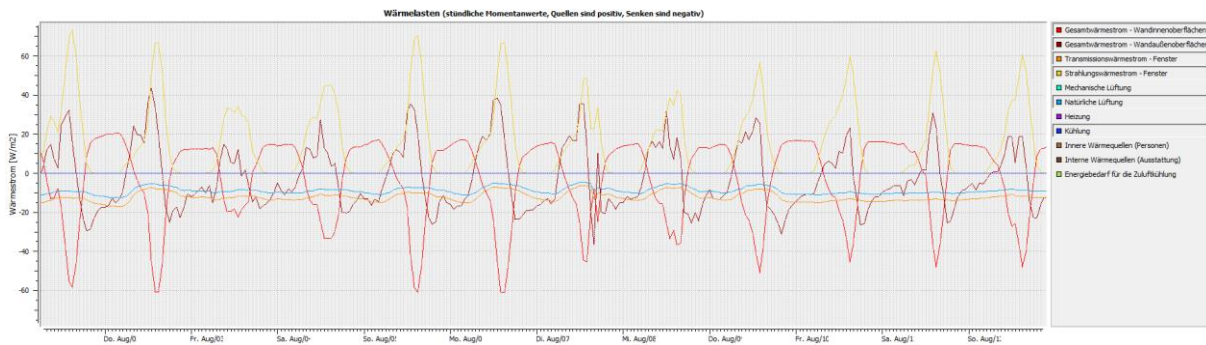
Im nächsten Schritt erweitern wir die Darstellung um den Gesamtwärmestrom der Wandinnenoberflächen (rot). Hier zeigt sich, dass diese Tagsüber als Wärmesenken fungieren und sozusagen die Wärme aus der Raumluft, die neben Solarstrahlung und innere Lasten eingebracht wird, aufnehmen. Nachts, wenn

die Raumlufttemperaturen absinken, geben die Wandinnenoberflächen die Wärme wieder an den Raum ab, wirken für den Raum also als Wärmequelle bzw. wie eine Flächenheizung.



**Abbildung 197 M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Transmissionswärmestrom Fenster, Gesamtwärmestrom über Wandaußenflächen, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38, Klimadatensatz Wien 2007,**

In dunkelrot ergänzt der Gesamtwärmestrom über die Wandaußenoberflächen, der zeigt, dass es neben den solaren Einträgen über das Fenster erwartungsgemäß tagsüber auch zu Wärmeeinträgen von Außen in die massive Außenwand kommt. Nachts wird Wärme über die Außenwandoberflächen wieder an die Umgebung abgegeben.



**Abbildung 198 M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38, Klimadatensatz Wien 2007,**

Insgesamt kann anhand der Darstellung der Einfluss sowohl materialbezogener, lüftungstechnischer wie auch verschattungstechnischer Maßnahmen beurteilt werden wie im Weiteren gezeigt wird. Zuerst erfolgt aber noch die Betrachtung des thermischen Komforts der oberhalb betrachteter Variante.

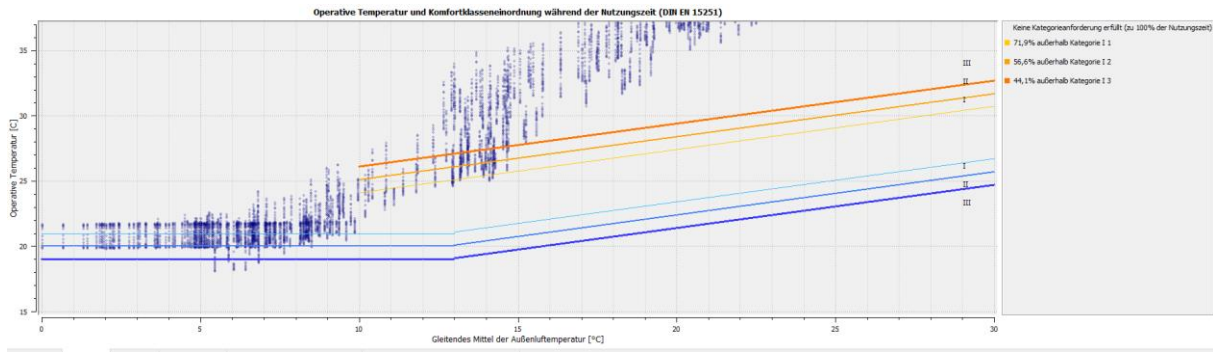


Abbildung 199 M1 Bestand, südwestorientiert, thermischer Komfort, Klimadatsatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38

## 9.4.5.2 Erhöhter Luftwechsel

Nachfolgend wird der Einfluss der Lüftung auf die Wärmebilanz des Raums und den thermischen Komfort untersucht. Es wird der hygienische Mindestluftwechsel von 0,38, welcher im Beispiel oberhalb angesetzt wurde, entsprechend nachfolgender Abbildung 200 deutlich erhöht.

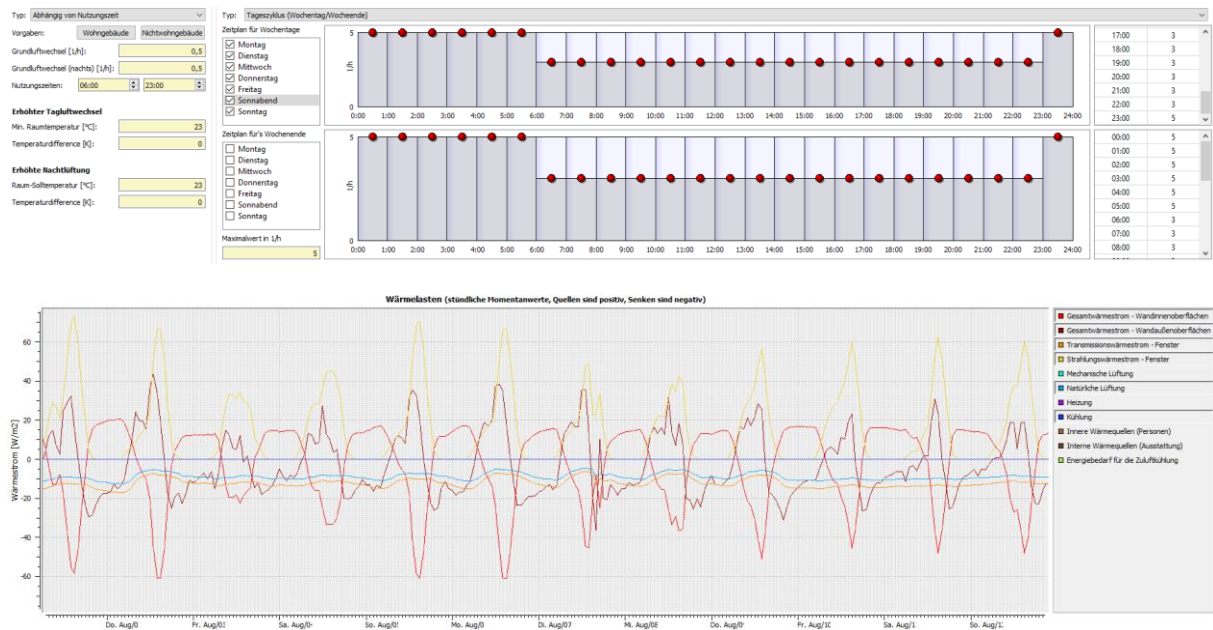
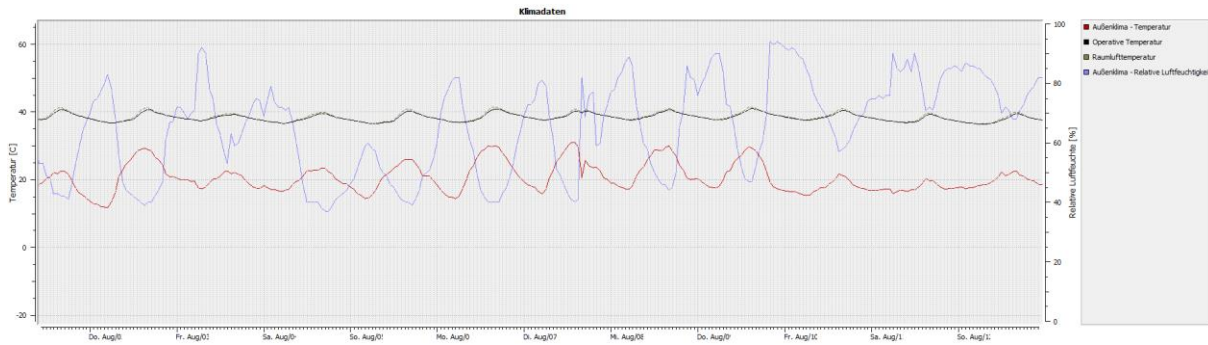
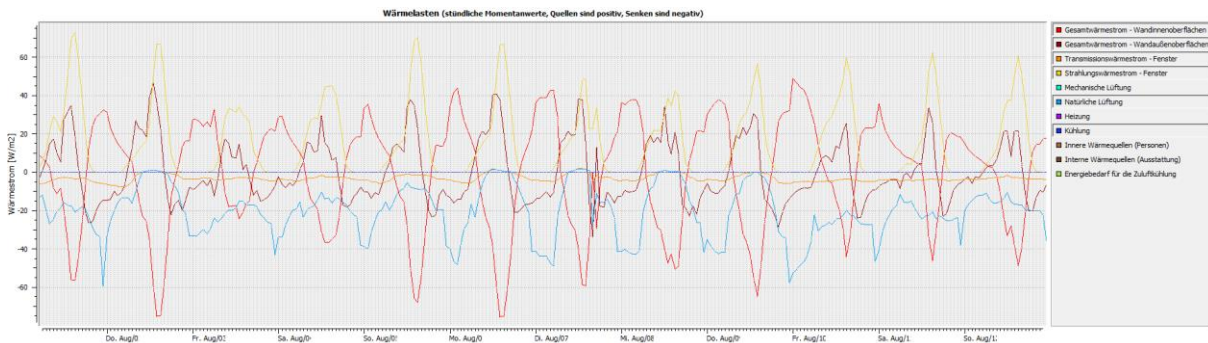


Abbildung 200 M1 Bestand, südwestorientiert, Wärmebilanz, Klimadatsatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38

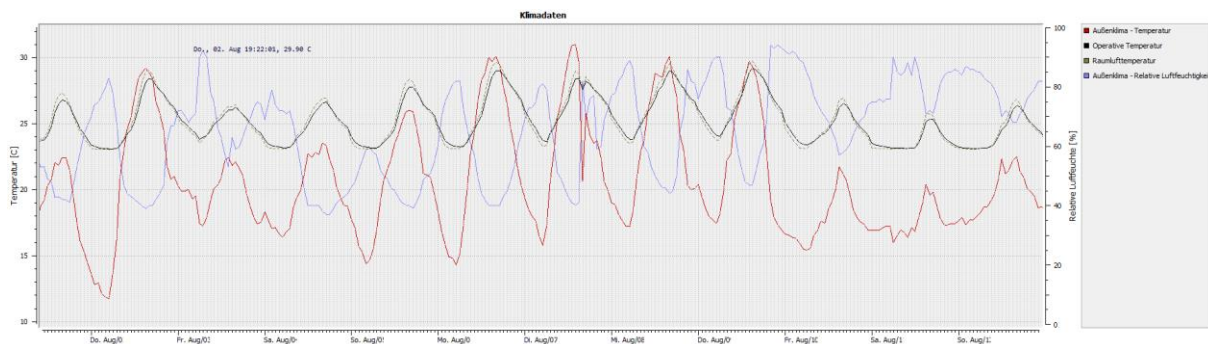


**Abbildung 201 M1 Bestand, südwestorientiert, Operative Temperatur, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38**



**Abbildung 202 M1 Bestand, südwestorientiert, Wärmebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung mit erhöhtem Luftwechsel**

Der erhöhte Luftwechsel führt in erster Linie nachts zu einer erhöhten Wärmeabfuhr von Wärmelasten aus dem Raum, wodurch die Innenwandoberflächen nachts auch mehr Wärme abgeben können, was sich wiederum günstig auf die Temperaturentwicklung im Raum auswirkt.



**Abbildung 203 M1 Bestand, südwestorientiert, Operative Temperatur, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung mit erhöhtem Luftwechsel**

Was wiederum in einem höheren thermischen Komfort resultiert.

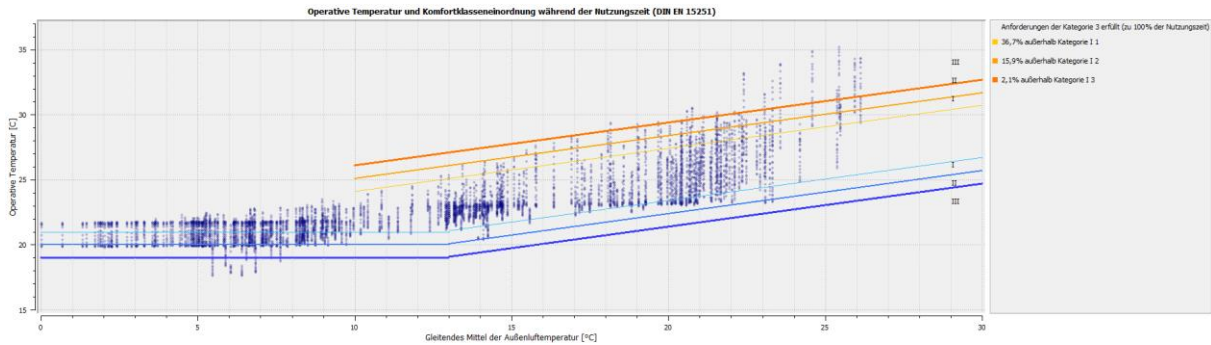


Abbildung 204 M1 Bestand, südwestorientiert, thermischer Komfort, Klimadatsatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38;  $T_{max}$  35,2 °C; Stunden über 26 °C 2383

### 9.4.5.3 Aktiv Kühlen

Würde man den Raum aktiv und mit unbegrenzter Leistung Kühlen, so würde sich folgender Raumtemperaturverlauf ergeben.

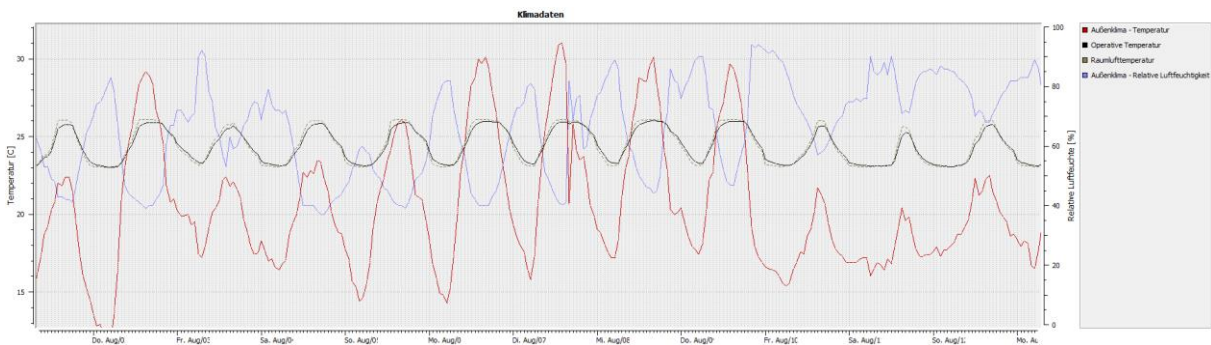


Abbildung 205 M1 Bestand, südwestorientiert, Operative Temperatur, Klimadatsatz Wien 2007, Natürliche Lüftung mit aktiver Kühlung

Durch die aktive Kühlung ergibt sich erwartungsgemäß ein hoher thermischer Komfort, wie nachfolgend gezeigt.

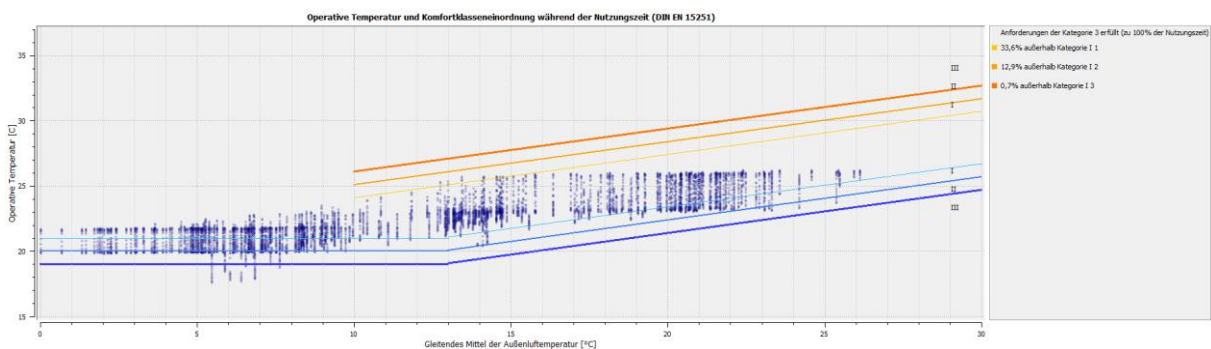
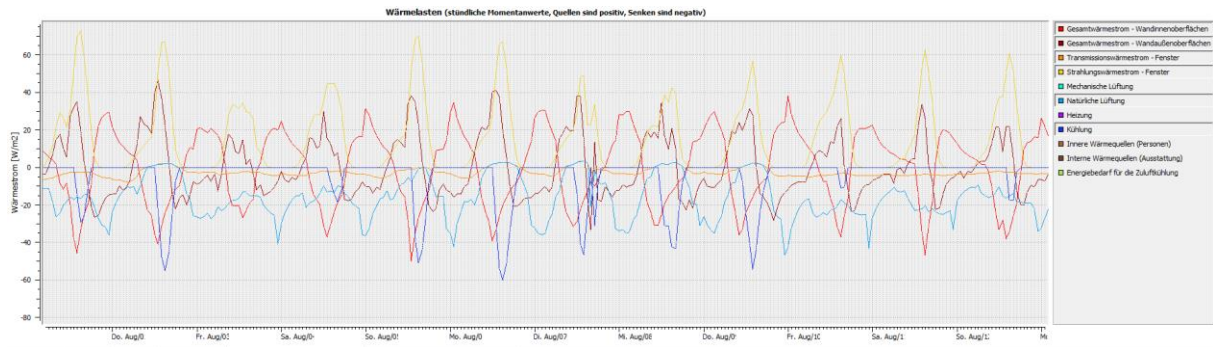


Abbildung 206 M1 Bestand, südwestorientiert, thermischer Komfort, Klimadatsatz Wien 2007, mit aktiver Kühlung  $T_{max}$  26,2 °C

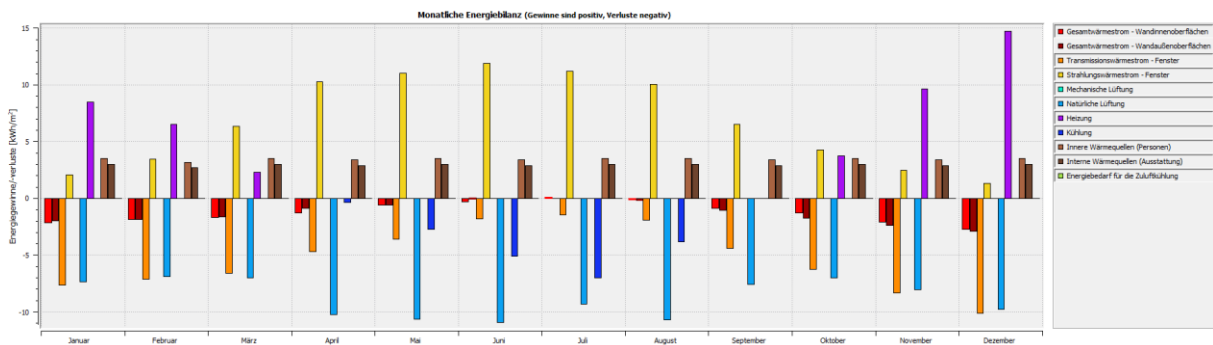
Die maximale Temperatur beträgt 26,2 °C und entspricht erwartungsgemäß der für den Kühlfall definierten Zielgrenztemperatur. Die Wärmebilanz zeigt die nachfolgende Abbildung 207.



**Abbildung 207** M1 Bestand, südwestorientiert, Wärmebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38; mit aktiver Kühlung

## Monatliche Energiebilanz

Die Monatliche Energiebilanz zeigt die Energieverluste und Energiegewinne in kWh/m<sup>2</sup>. Es zeigt sich, dass durch Natürliche Lüftung ein hoher Anteil der Wärmelasten im Sommer abgeführt werden kann, im Juli etwa 8 kWh/m<sup>2</sup>. Die verbleibende Wärme auf die Zieltemperatur von 26°C wird durch die aktive Kühlung abgeführt. Im untersuchten Beispiel sind es im Juli etwa 5 kWh/m<sup>2</sup>.



**Abbildung 208** M1 Bestand, südwestorientiert, monatliche Energiebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38; mit aktiver Kühlung

## Jahresenergiebilanz

In der Jahresbilanz sind die Monate aufsummiert und der Jahresbedarf an Nutzenergie angeführt, wodurch rasch eine Einschätzung des Einflusses von baulichen, haustechnischen oder organisatorischen Maßnahmen auf die zu erwartende erforderliche Kühlenergie erfolgen kann. Anhand der erforderlichen Kühlenergie – bezogen auf eine Kühlzieltemperatur – kann die Wirkung von Maßnahmen beurteilt werden. Hitzetaugliche Gebäude zeichnen sich durch geringe erforderliche Mengen an Kühlenergie aus.

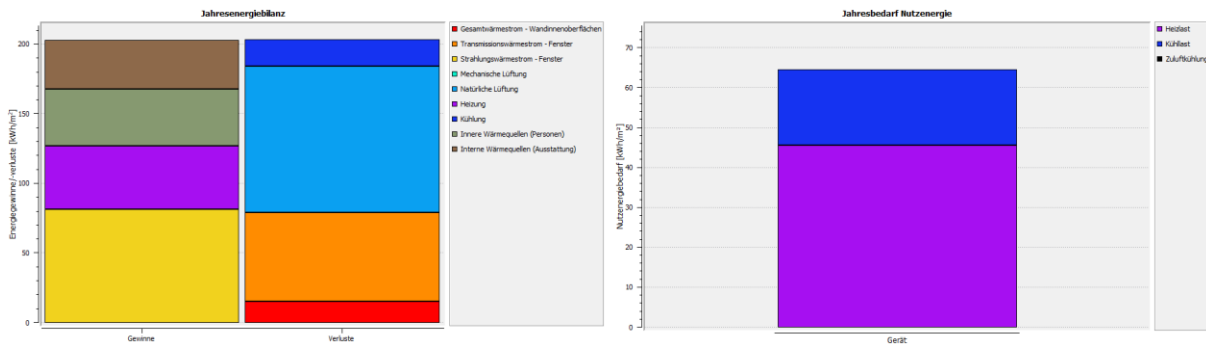


Abbildung 209 M1 Bestand, südwestorientiert, Jahresenergiebedarf, spezifische Heiz- und Kühllast, Klimadatenatz Wien 2007, Natürliche Lüftung  $n_{hyg}$  0,38; mit aktiver Kühlung

#### 9.4.5.4 Sonnenschutz und Nachtlüftung

Da grundsätzlich im Wohnbau auf eine aktive Kühlung verzichtet werden sollte – und es zur Beurteilung von baulichen Maßnahmen ohnedies nicht erforderlich ist - werden die nachfolgend durchgeführten thermischen Raumsimulationen - in einem ersten Schritt ohne und erst in einem zweiten Schritt mit aktiver Kühlung – untersucht.

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
29212	69,3	54,6	39,8	44,2	V1 Bestand
21350	67	51	34	41,3	V2 Bestand + Sonnenschutz innen
17007	64,3	47,3	29,9	39,5	V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen
11907	59,8	43	23	37,4	V4 Bestand + Sonnenschutz außen
4566	58,7	37,3	9,2	35,3	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
2526	56,8	36,6	8,7	33,7	V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung

Abbildung 210 Sommer-Komfort, Übertemperaturgradstunden, Komfortklassen und operative Maximaltemperatur ausgewählter Varianten

Die maximale Temperatur  $T_{max}$  (Spalte 5 – rot) gibt einen raschen ersten Eindruck zum zu erwartenden thermischen Komfort. Eine hohe maximale Temperatur kann ein Indiz für einen geringen thermischen Komfort im Sommer sein, muss es aber nicht zwingend, da vielleicht über eine Fensterlüftung zu einem ungünstigen Zeitpunkt nur für eine kurze Zeit viel Hitze in den Raum gelangt. Es gilt also auch die anderen Parameter, wie der prozentuellen Anzahl von Stunden außerhalb der jeweiligen Komfort-Kategorien (Spalte 2 bis 4 – grün) zu betrachten, wobei besonders jene außerhalb von Kategorie 3 (Spalte 4) möglichst niedrig sein sollte. Die Anzahl von Übertemperaturgradstunden, jene Zahl von Stunden die über  $26^{\circ}\text{C}$  liegen – multipliziert mit der Differenz auf  $26^{\circ}\text{C}$ . D.h. bei einer Temperatur von  $32^{\circ}\text{C}$  über 2 Stunden hinweg, wären das  $32^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C} = 6^{\circ}\text{C}$  multipliziert mit der Stundenanzahl 2 = 12 Übertemperaturgradstunden (Spalte 1 – orange), eine ebenfalls sehr

aussagekräftige Kennzahl zur Beurteilung des Einflusses von Maßnahmen zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung, bzw. zur Beurteilung der Hitzetauglichkeit.

Für die Beurteilung wurden neben der Zusammenstellung der Ergebnisse die wesentlichen Eingangsparameter der untersuchten Varianten zusammengestellt, was ein rasches Filtern und vergleichende Analysen vereinfacht.

NR	BEZ	TR	FE	ID	SS	RLT	NL	KAELTE	LEISTUNG	BESCHREIBUNG
1	AK000_M1_V1	M1	ALT	NEIN	KEIN	NEIN	NEIN	KEINE	KEINE	V1 Bestand
2	AK000_M1_V2	M1	ALT	NEIN	INNEN	NEIN	NEIN	KEINE	KEINE	V2 Bestand + Sonnenschutz innen
3	AK000_M1_V3	M1	ALT	NEIN	ZWISCHEN	NEIN	NEIN	KEINE	KEINE	V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen
4	AK000_M1_V4	M1	ALT	NEIN	AUSSEN	NEIN	NEIN	KEINE	KEINE	V4 Bestand + Sonnenschutz außen
5	AK000_M1_V5	M1	ALT	NEIN	ZWISCHEN	NEIN	JA	KEINE	KEINE	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
6	AK000_M1_V6	M1	ALT	NEIN	AUSSEN	NEIN	JA	KEINE	KEINE	V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung

**Abbildung 211 Zusammenstellung der in den Variantenstudien der Raumsimulation untersuchten Parameter**

Insgesamt wurden 246 Varianten mit dem Programmpaket Therakles untersucht, wobei sowohl jeweils der thermische Komfort als auch die raumbezogene Wärme,- und Energiebilanz berechnet wurde. Nachfolgend wird der Einfluss einzelner Parameter - ohne den Anspruch auf Vollständigkeit - betrachtet. Die mit Archiphysik berechneten Ergebnisse basieren auf einem Monatsbilanzverfahren, wohingegen Therakles ein dynamisches Simulationsmodell für ein Gebäude (eine Zone) darstellt, sozusagen ein Modell für einen Luftraum mit Hüllfläche. Es berücksichtigt die Wechselbeziehung zwischen dem Gebäude und seiner Umhüllungskonstruktion mit der Umgebung. Lasten wie Temperatur, Solarstrahlung und Nutzer\*inneneinflüsse werden berücksichtigt. Das physikalische Modell ist sehr detailliert und wird mittels numerischer Methoden gelöst. Das Lösungsverfahren nutzt fehlergesteuerte Zeitintegration mit dynamischer Zeitschrittanpassung und kann somit Steuerungseinflüsse der Anlagentechnik (Heizen/Lüften/Kühlen) mit hoher Zeitauflösung abbilden. Die Gebäudehüllfläche wird mittels Finiter Volumenmethode räumlich berechnet. Als Ergebnis entstehen zeitabhängige Temperaturprofile durch die Konstruktionen. Das erlaubt eine sehr genaue Berücksichtigung der thermischen Speichermasse, welche einen großen Einfluss auf die Dämpfung der Temperatur der Zone hat.

#### 9.4.5.5 Thermische Sanierung

Die Ergebnisse zeigen, dass mit der thermischen Sanierung/Ertüchtigung der Fenster die maximale Temperatur um 0,3 °C sinkt, und auch die Anzahl der Stunden außerhalb von Kategorie 3 um 1,2 % der Stunden im Jahr etwas geringer ausfällt (wobei die Bewertung für das ganze Jahr – nicht nur den

Sommer – geführt wird). Insgesamt also ein etwas höherer thermischer Komfort, allerdings führt hinsichtlich der Übertemperaturgradstunden die höhere thermische Qualität der Fenster zu  $4959-4566=393$  etwas mehr Wärme im Raum.

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
4566	58,7	37,3	9,2	35,3	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
4959	52,6	27,3	8	35	V11 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
5452	52	24,7	8,5	35,3	V13 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung

**Abbildung 212 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, für ausgewählte Varianten, Klimadatensatz 2007, Modellraum M1 südwest-orientiert**

Wird ergänzend zu den Fenstern dazu noch eine Innendämmung appliziert so zeigt sich insgesamt ein gegenüber dem Bestand deutlich höherer Komfort, bei gleich hoher maximaler Temperatur, allerdings auch hier etwas höher Zahl von Übertemperaturgradstunden (886 bezogen auf den Bestand), die sich allerdings auf 26 °C beziehen, abhängig von der gemittelten operativen Temperatur können auch Temperaturen über 26 °C einen hohen thermischen Komfort darstellen.

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
29212	69,3	54,6	39,8	44,2	V1 Bestand
21350	67	51	34	41,3	V2 Bestand + Sonnenschutz innen
17007	64,3	47,3	29,9	39,5	V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen
11907	59,8	43	23	37,4	V4 Bestand + Sonnenschutz außen
4566	58,7	37,3	9,2	35,3	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
2526	56,8	36,6	8,7	33,7	V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung

**Abbildung 213 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007**

Nochmals zurück zum thermisch nicht ertüchtigten Bestand (Gründerzeitgebäude, Kastenfenster). Die Abbildung zeigt den Einfluss der Lage des Behangs bzw. der Verschattung auf die Indikatoren zur Beurteilung der Hitzetauglichkeit von Wohngebäuden - im Weiteren, im Rahmen dieser Studie kurz als „thermischen Komfort“ bezeichnet.

Ausgehend von einer Worst-Case-Betrachtung, V1 Bestand, bei dem zwar ein hygienischer Mindestluftwechsel 0,54 berücksichtigt ist, aber keine darüberhinausgehende – verstärkte Nachtlüftung.

Ein am Fenster raumseitig angebrachter Sonnenschutz bringt, gegenüber gar keinem Sonnenschutz immerhin eine Reduktion von 2,9 °C. Ein zwischen den

Fensterflügeln liegender Sonnenschutz eine Reduktion von 3,7 °C. Ein außen liegender Sonnenschutz eine Reduktion von 6,8 °C. An dieser Stelle der Hinweis, dass der Einfluss einzelner Maßnahmen in seiner Größe bzw. Höhe immer auch stark von den anderen Maßnahmen abhängt. Generell wird sich zeigen, dass der Einfluss, ob positiv oder negativ auf die Hitzetauglichkeit wirkt, zwar in der Größe variieren wird, aber seine Tendenz, ob verbessernd oder verschlechternd in der Regel von anderen Maßnahmen unberührt bleibt. Ist dem nicht so, so wird gezielt darauf hingewiesen.

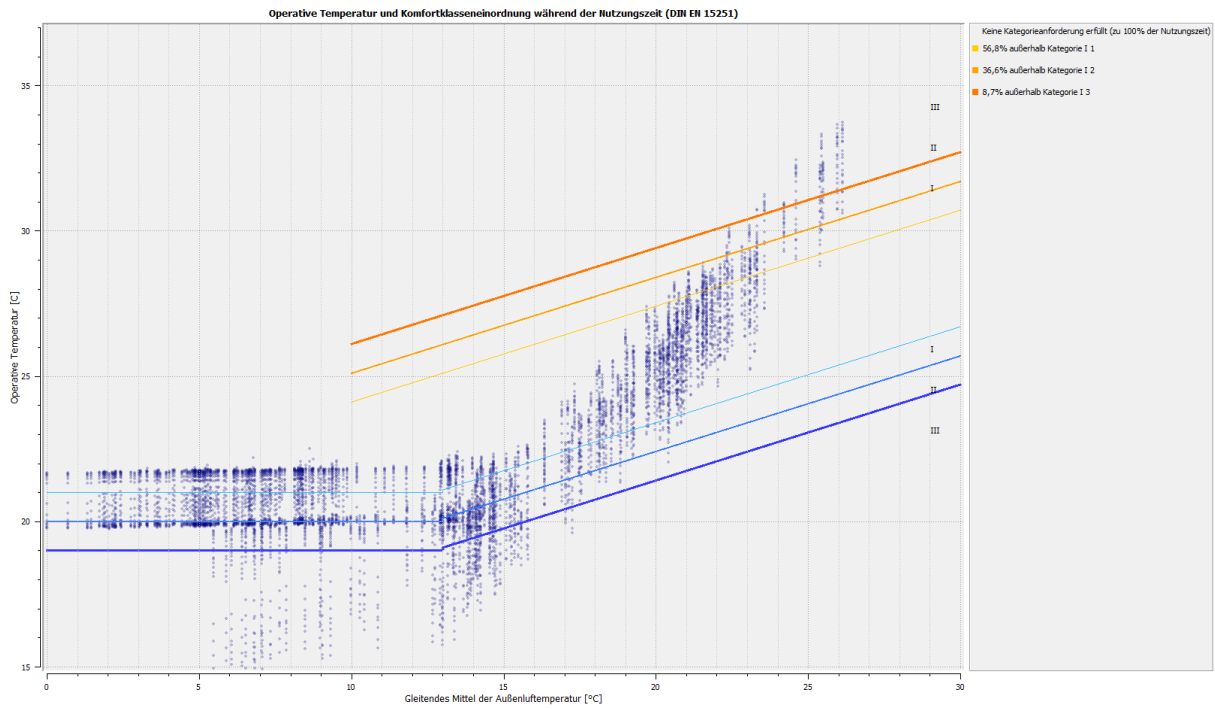
#### 9.4.5.6 Klimaentwicklung

Werden die Berechnungen mit dem zu erwartenden Klimaszenario RCP 85 2050 durchgeführt so ergeben sich folgende Ergebnisse. Während mit 33,7 °C im Bestandsgebäude (Klimadatensatz 2007), bei außen liegendem Sonnenschutz und Nachtlüftung – wohlgemerkt beträgt die maximale Raumtemperatur im Klimaszenario RCP 85 2050 unter sonst gleichen Randbedingungen 37,9 °C. Die Anzahl von Stunden außerhalb Kategorie 3 steigt um 4,4 Prozent, was einer Verschlechterung um weitere 385 h, was insgesamt 1147 h außerhalb von Komfortzone 3 bedeutet.

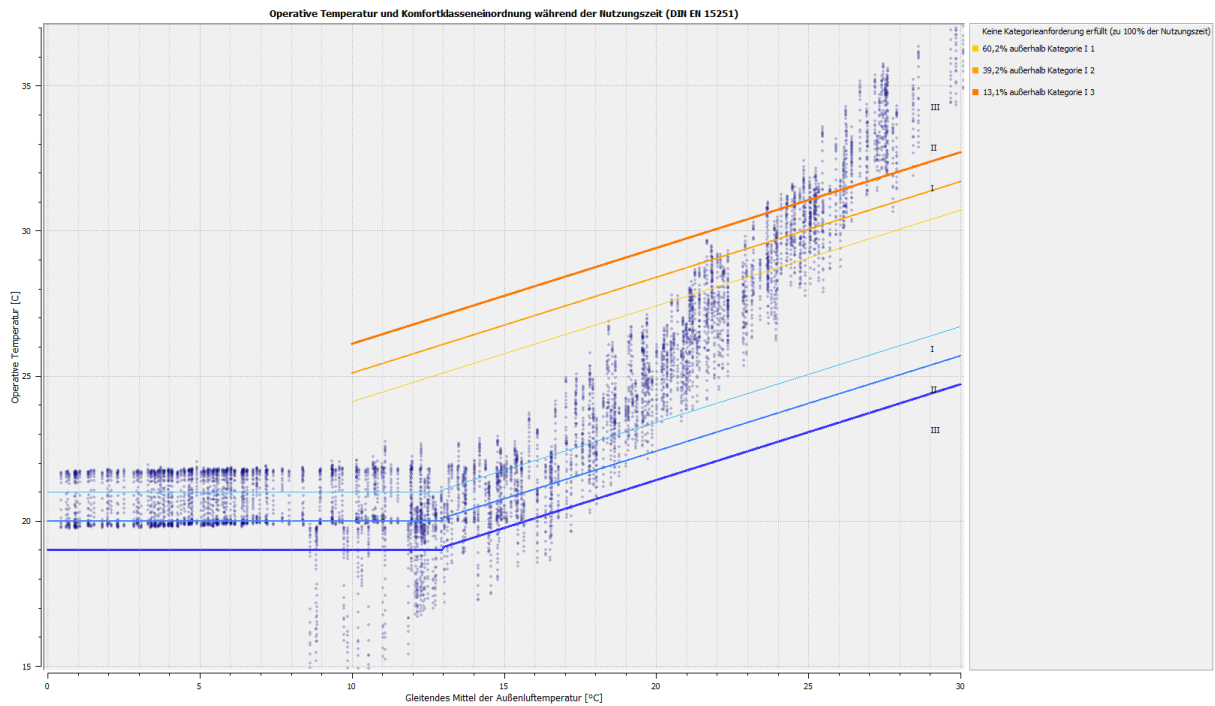
UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
45956	70,2	58,9	48	50	V1 Bestand
35581	68,6	56,9	44	46,3	V2 Bestand + Sonnenschutz innen
29515	67,2	54,6	38,4	44	V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen
21976	63,6	46,8	29,2	41,2	V4 Bestand + Sonnenschutz außen
12897	61,6	42,6	17,6	40	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
9280	60,2	39,2	13,1	37,9	V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung

**Abbildung 214 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85 2050**

Das sind wohlgemerkt 47 Tage außerhalb Kategorie 3. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen diesen erhöhten thermischen Diskomfort deutlich anhand der über der dunkel orangen Linie liegenden Punktwolke (jeder Punkt entspricht einer Stunde, aufgetragen über dem gleitenden Mittelwert der Außenlufttemperatur). An dieser Stelle ein detaillierter Blick auf die sich im Wohnraum einstellenden Temperaturen, vor dem Hintergrund, dass ab gewissen Temperaturen der Wärmeaustausch zwischen Körper und Umgebung – wenn diese im Bereich der Körpertemperatur liegt - nur noch durch Transpiration, also Schwitzen – unabhängig von der körperlichen Betätigung erfolgt.

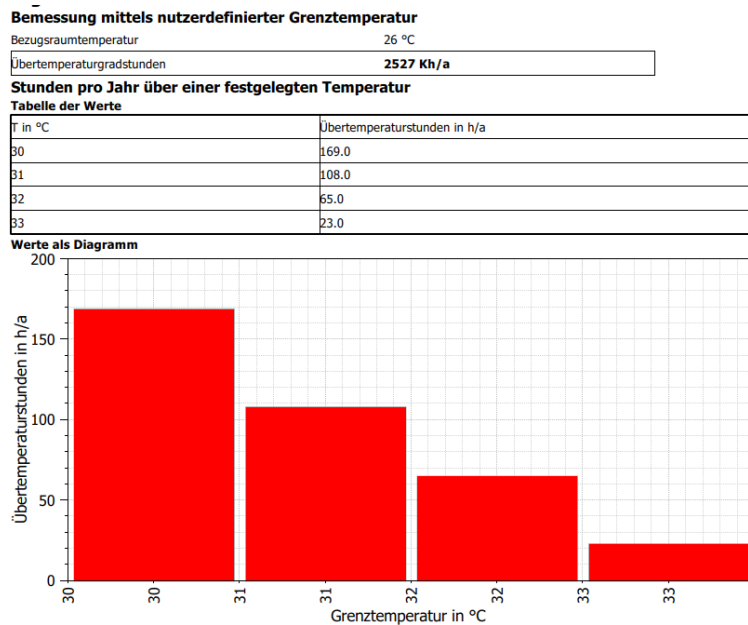


**Abbildung 215 V6, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007**

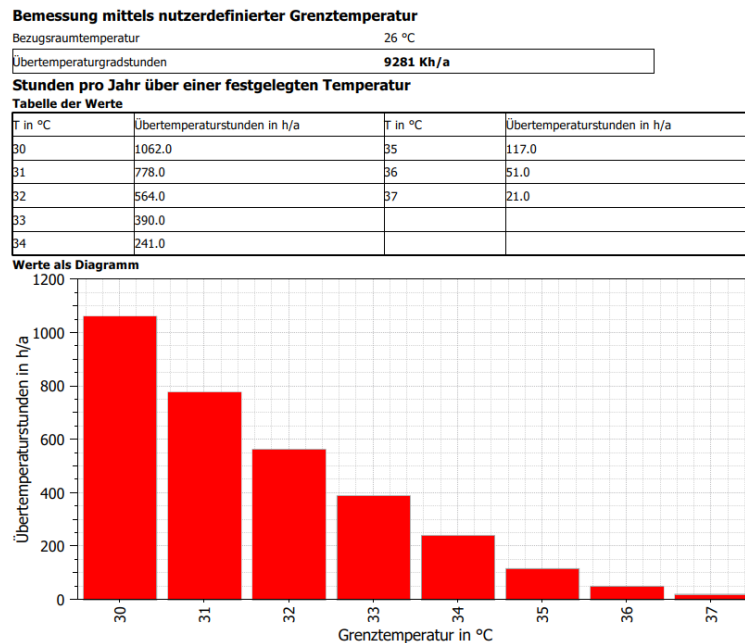


**Abbildung 216 V6, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85 2050**

Die beiden Grafiken (Abbildung 217 und Abbildung 218) zeigen eindrucksvoll die hitzebedingte Verschärfung hinsichtlich der zu erwartenden Raumtemperaturen, trotz außenliegender Verschattung und Nachtlüftung. Dargestellt sind hier – in der Tabelle die Anzahl der Stunden über der hier mit 30 °C festgelegten Grenztemperatur. In der grafischen Darstellung – rote Balken, die Übertemperaturstunden.



**Abbildung 217 V6, Ergebnisse Übertemperaturstunden, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz, Klimadatensatz 2007**



**Abbildung 218 V6, Ergebnisse Übertemperaturstunden, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85**

**9.4.5.7 Einfluss von Maßnahmen auf die Hitzetauglichkeit, Klimadatenatz 2007**

Nachfolgende Abbildung zeigt den Einfluss von Maßnahmen auf die Hitzetauglichkeit unter Berücksichtigung des Klimadatenatzes 2007 (Abbildung 219).

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
29212	69,3	54,6	39,8	44,2	V1 Bestand
21350	67	51	34	41,3	V2 Bestand + Sonnenschutz innen
17007	64,3	47,3	29,9	39,5	V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen
11907	59,8	43	23	37,4	V4 Bestand + Sonnenschutz außen
4566	58,7	37,3	9,2	35,3	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
2526	56,8	36,6	8,7	33,7	V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung
25707	67	47,1	38,1	41,1	V7 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen, ohne Nachtlüftung
22936	63,6	44,9	34,6	39,8	V8 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen, ohne Nachtlüftung
29299	67	50,2	41,8	42	V9 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen
22939	65,3	45,4	34,7	40	V10 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen
4959	52,6	27,3	8	35	V11 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
3228	49,8	25	7,2	33,8	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung
5452	52	24,7	8,5	35,3	V13 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
3552	49,3	21,5	7	34,1	V14 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung

**Abbildung 219 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatenatz 2007**

**9.4.5.8 Einfluss von Maßnahmen auf die Hitzetauglichkeit, Klimadatenatz RCP 85**

Unter Berücksichtigung des Klimadatenatzes RCP 85 ergeben sich für den untersuchten Modellraum folgende Ergebnisse (Abbildung 220).

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
45956	70,2	58,9	48	50	V1 Bestand
35581	68,6	56,9	44	46,3	V2 Bestand + Sonnenschutz innen
29515	67,2	54,6	38,4	44	V3 Bestand + Sonnenschutz zwischen
21976	63,6	46,8	29,2	41,2	V4 Bestand + Sonnenschutz außen
12897	61,6	42,6	17,6	40	V5 Bestand + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
9280	60,2	39,2	13,1	37,9	V6 Bestand + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung
40342	65,2	51,5	46,3	45,5	V7 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen, ohne Nachtlüftung
36065	61,2	48,5	45,2	43,7	V8 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen, ohne Nachtlüftung
44076	68,3	52,5	48,2	46,4	V9 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen
36149	63,1	49	45,2	43,9	V10 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen
13649	55,7	35,1	18,6	39,6	V11 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
10745	54,5	32,1	14,1	38,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung
14367	54,8	32,8	19,7	40	V13 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz zwischen + Nachtlüftung
11234	53,5	28,6	14,7	38,3	V14 Thermische Sanierung d. Fenster + Innendämmung + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung

**Abbildung 220 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatenatz RCP 85 2050**

**9.4.5.9 Einfluss Verglasung auf die Hitzetauglichkeit**

Der Einfluss von Verglasungsarten auf die Hitzetauglichkeit wird in Abbildung 221 unter Berücksichtigung des Klimadatenatzes 2007 zusammengestellt, wobei die Variante 12 als Berechnungsgrundlage dient. Die Ergebnisse für das Klimaszenario RCP 85 zeigt Abbildung 222.

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
1493	48,6	26,7	7,2	32	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Reflexionsglas, doppelt, Edelmetallbelag (VDI 2078)
2191	48	24,4	7,1	32,8	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Reflexionsglas, einfach (VDI 2078)
2718	48,2	23,4	7	33,3	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Absorptionsglas, vorgehängte Scheibe (VDI 2078)
1739	49,7	28,9	7,6	32,5	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Absorptionsglas, doppelt (VDI 2078)
2393	49,5	26,9	7,3	33,2	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Absorptionsglas, einfach (VDI 2078)
2444	51,7	30,2	7,9	33,4	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Dreifachverglasung, Tafelglas (VDI 2078)
3711	50,9	26	7,2	34,2	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Dreifachverglasung, hochwertig
3332	48,6	22,1	6,7	33,7	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Doppelverglasung Tafelglas (VDI 2078)
2876	54,6	34	8,6	34,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Doppelverglasung, Wärmeschutz
3458	51	26,5	7,3	34,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Einfachverglasung Tafelglas (VDI 2078)
2073	58,8	43,2	10,9	33,7	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Dreifachverglasung U 0,5, g 0,47
2380	47,1	21,3	6,8	32,9	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Zweifachverglasung U 1,1, g 0,60
3228	49,8	25	7,2	33,8	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Zweifachverglasung U 1,1, g 0,60

**Abbildung 221 V12, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwestorientiert, Klimadatenatz 2007, Verglasungsarten**

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
3909	50,2	23,7	6,9	34,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Reflexionsglas, doppelt, Edelmetallbelag (VDI 2078)
6595	54	28,6	10,6	35,9	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Reflexionsglas, einfach (VDI 2078)
8453	55,5	31,2	15	36,9	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Absorptionsglas, vorgehängte Scheibe (VDI 2078)
5078	53,2	28,5	8,3	35,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Absorptionsglas, doppelt (VDI 2078)
7567	56,1	32,3	13,4	36,6	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Absorptionsglas, einfach (VDI 2078)
8063	58	35,8	14,8	37,2	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Dreifachverglasung, Tafelglas (VDI 2078)
11939	59,2	37,6	21,7	38,9	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Dreifachverglasung, hochwertig
10323	56,6	33	18,6	37,8	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Doppelverglasung Tafelglas (VDI 2078)
10062	61,6	42	18,5	38,7	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Doppelverglasung, Wärmeschutz
11280	59	37,4	20,3	38,7	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Einfachverglasung Tafelglas (VDI 2078)
7439	61,4	46,2	15,9	38,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Dreifachverglasung U 0,5, g 0,47
6993	53,6	28,8	11,4	35,9	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Zweifachverglasung U 1,1, g 0,60
10373	57,6	35,4	18,7	38,1	V12 Thermische Sanierung d. Fenster + Sonnenschutz außen + Nachtlüftung, Zweifachverglasung U 1,1, g 0,60

**Abbildung 222 V12, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwestorientiert, Klimadatenatz RCP 85, Verglasungsarte**

Die Art der Verglasung bestimmt die Hitzetauglichkeit in einem Temperaturbereich von etwa 2 °C. Damit ist sie zwar jedenfalls relevant, fällt allerdings im Vergleich zum Einfluss des Fensteranteils mit einem Temperaturbereich von etwa 6 °C doch deutlich weniger ins Gewicht. Beim

Einsatz von Sonnenschutzgläsern, Folien<sup>173</sup> und anderen Beschichtungen ist insbesondere die Farbechtheit zu beachten, sodass z.B. ein Grüner Apfel im Innenraum auch immer noch Grün wirkt.

#### 9.4.5.10 Einfluss Verschattung auf die Hitzetauglichkeit

Der Einfluss unterschiedlicher Verschattungen auf die Hitzetauglichkeit wird in Abbildung 223 unter Berücksichtigung des Klimadatensatzes 2007 zusammengestellt, wobei die Variante 12 als Berechnungsgrundlage dient.

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
2848	49,3	25,2	7,1	33,5	(1)Jalousien und Stoffe geringer Transparenz, außen ( )
4063	51,3	25,9	7,2	34,4	(2)Jalousien und Stoffe höherer Transparenz, außen
4959	52,6	27,3	8	35	(3)Vordächer, Loggien
3228	49,8	25	7,2	33,8	(4)Stoffmarkisen, oben und seitlich ventiliert (VDI 2078)
4063	51,3	25,9	7,2	34,4	(5)Stoffmarkisen, oben und seitlich anliegend (VDI 2078)
4959	52,6	27,3	8	35	(6)Jalousien, zwischen den Scheiben (VDI 2078)
6976	55	30,9	11,7	36,2	(7)Jalousien, innen (VDI 2078)
4959	52,6	27,3	8	35	(8)Vorhänge, innen, hell(VDI 2078)
6976	55	30,9	11,7	36,2	(9)Kunststofffolien, absorbierend, innen(VDI 2078)
6976	55	30,9	11,7	36,2	(10) Kunststofffolien, metallisch reflektierend, innen (VDI 2078)
6976	55	30,9	11,7	36,2	(11) Vorhänge, innen, dunkel (VDI 2078)
2182	48,7	26,7	7,3	32,9	(12) Jalousien, Öffnungswinkel 45°, außen (VDI 2078)
6447	54,5	30	10,4	35,9	(13) innenliegender Sonnenschutz an Zweischeibenverglasung, reflektierend mit geringer Transparenz
6976	55	30,9	11,7	36,2	(14) innenliegender Sonnenschutz an Dreischeibenverglasung, reflektierend mit geringer Transparenz
7516	55,6	31,7	13	36,5	(15) innenliegender Sonnenschutz an Zweischeibenverglasung, hell oder geringe Transparenz
8068	56	32,5	14,3	36,8	(16) innenliegender Sonnenschutz an Dreischeibenverglasung, hell oder geringe Transparenz
8629	56,3	33,2	15,5	37,2	(17) innenliegender Sonnenschutz an Zweischeibenverglasung, normal, dunkel oder höhere Transparenz
9200	56,6	34	16,4	37,5	(18) innenliegender Sonnenschutz an Zweischeiben-Sonnenschutzverglasung, dunkel oder höhere Transparenz
9200	56,6	34	16,4	37,5	(19) innenliegender Sonnenschutz an Dreischeibenverglasung, dunkel oder höhere Transparenz
3228	49,8	25	7,2	33,8	(20) Fensterläden, Rollläden ¼ geschlossen, außen an normaler Verglasung
3630	50,6	25,3	7,1	34,1	(21) Fensterläden, Rollläden ½ geschlossen, außen an Zweischeiben-Sonnenschutzverglasung
1897	48,9	27,5	7,4	32,7	(22) Fensterläden, Rollläden geschlossen, außen an normaler Verglasung
2182	48,7	26,7	7,3	32,9	(23) Fensterläden, Rollläden geschlossen, außen an Zweischeiben-Sonnenschutzverglasung
2848	49,5	25,2	7,1	33,5	(24) Jalousie und Raffstore Lamellen 45°, außen an normaler Verglasung
3228	49,8	25	7,2	33,8	(25) Jalousie und Raffstore Lamellen 45°, außen an Zweischeiben-Sonnenschutzverglasung
2182	48,7	26,7	7,3	32,9	(26) Jalousie und Raffstore Lamellen 10°, außen an normaler Verglasung
2499	49,1	26,1	7,3	33,2	(27) Jalousie und Raffstore Lamellen 10°, außen an Zweischeiben-Sonnenschutzverglasung
4959	52,6	27,3	8	35	(28) Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen, außen an normaler Verglasung
5439	53,5	28,3	8,6	35,3	(29) Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen, außen an Zweischeiben-Sonnenschutzverglasung

**Abbildung 223 V12, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007, Verschattung/Behang**

<sup>173</sup> Sonnenschutzfolien und dergleichen können Reflexionen bzw. Spiegelungen verursachen, welche Vögel täuschen und zum Vogelanprall an Glasflächen führen. Beim Anbringen von Folien sollten Vogelschutzmaßnahmen geplant und ergriffen werden. Mehr Info: <https://wua-wien.at/tierschutz/vogelanprall>

Den Einfluss der Verschattung bzw. der Art des Behangs zeigen die Ergebnisse in 9.4.4.1 und 9.4.5.10. In erster Linie wird zwischen Außenliegender und Innenliegender Verschattung unterschieden, wobei einer außenliegenden Verschattung aus bauphysikalischer Sicht immer der Vorzug gegeben wird, sind in der Praxis neben baurechtlichen und denkmalpflegerischen Aspekten auch Aspekte wie Reinigung und Windanfälligkeit zu beachten. Auch wenn in den Berechnungsalgorithmen automatische prädiktive Regelungen und Steuerungen als das Maß der Dinge gelten so sind auch hier in der Praxis Überlegungen zu Funktionalität und Lebensdauer anzustellen. Auch eine manuell bediente Jalousie stellt eine ausgezeichnete Verschattungsmaßnahme dar und ist weniger anfällig gegen Softwareupdates und Programmierungsfehler.

### **9.4.5.11 Einfluss Fensteranteil auf die Hitzetauglichkeit**

Der Einfluss des Fensteranteils auf die Hitzetauglichkeit wird in Abbildung 224 unter Berücksichtigung des Klimadatensatzes 2007 zusammengestellt, wobei die Variante 12 als Berechnungsgrundlage dient. Die Betrachtung des Klimaszenarios RCP 85 zeigt Abbildung 225, ebenfalls mit Variante 12. Der Einfluss des Verglasungsanteils für Holzbau wird anhand Klimadatensatz 2007 anhand von Variante 6 betrachtet (Abbildung 226).

## Hitzetaugliche Wohngebäude

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
890	50	27,4	7,5	30,9	9%
1242	48,9	27,1	7,2	31,6	18%
1668	48,4	26,8	7,3	32,3	27%
2182	48,7	26,7	7,3	32,9	36%
2757	49,8	26,6	7,4	33,6	46%
3384	51,3	27,2	7,4	34,2	55%
4040	52,3	28,8	7,7	34,8	64%
4718	53,5	30,6	8,3	35,4	73%
5412	54,5	32,5	9,6	36	82%
6115	55,4	34,2	10,9	36,6	91%

**Abbildung 224 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer<sup>174</sup>, Modellraum M1 südwest-orientiert, Außenliegende Verschattung, Glasflächenanteil, Gründerzeit, V12, Klimadatensatz 2007**

<sup>174</sup> Angeführt werden neben UT, den Übertemperaturgradstunden, Die Prozentualen Anteile von Stunden die Außerhalb der Komfortkategorie I, II und III nach EN 15251 liegen, je geringer der Anteil der h außerhalb dieser Komfortzonen, wobei Kategorie I die Höchste Komfortqualität dargestellt ist, desto höher ist die thermische Qualität zu beurteilen. Mit  $T_{max}$  wird die höchste Temperatur im Raum angeführt, diese kann, muss aber nicht immer repräsentativ für den thermischen Komfort in einer Langzeitbetrachtung sein.

## Hitzetaugliche Wohngebäude

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
6185	51,1	25,4	7,8	35,1	9%
7027	51,6	27,6	8,7	35,7	18%
7890	52,6	29,4	9,9	36,3	27%
8768	53,7	30,5	11,2	36,9	36%
9658	54,1	31,7	13,1	37,5	46%
10558	55,1	33,4	14,5	38,1	55%
11460	56	35,2	15,3	38,6	64%
12361	56,9	36,6	16,7	39,2	73%
13263	57,8	38	18,2	39,7	82%
14161	58,5	39,6	19,6	40,2	91%

**Abbildung 225 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer<sup>175</sup>, Modellraum M1 südwest-orientiert, Außenliegende Verschattung, Glasflächenanteil, Gründerzeit, Klimadatensatz RCP 85**

<sup>175</sup> Angeführt werden neben UT, den Übertemperaturgradstunden, Die Prozentualen Anteile von Stunden die Außerhalb der Komfortkategorie I, II und III nach EN 15251 liegen, je geringer der Anteil der h außerhalb dieser Komfortzonen, wobei Kategorie I die Höchste Komfortqualität dargestellt ist, desto höher ist die thermische Qualität zu beurteilen. Mit  $T_{max}$  wird die höchste Temperatur im Raum angeführt, diese kann, muss aber nicht immer repräsentativ für den thermischen Komfort in einer Langzeitbetrachtung sein.

UT	KAT1	KAT2	KAT3	TMAX	BESCHREIBUNG
1239	51	20,5	7,7	31,2	9%
2009	51,1	19,3	7,5	32,1	18%
2958	52,4	20,2	7,7	33,1	27%
4012	54,1	23	8,4	34	36%
5157	55,1	27,6	9,8	34,9	46%
6359	56,9	31,3	12,6	35,8	55%
7584	58	34,1	15,4	36,6	64%
8819	59	36,8	17,7	37,4	73%
10057	60,1	38,8	19,7	38,2	82%
11308	61,1	40,9	21,5	39	91%

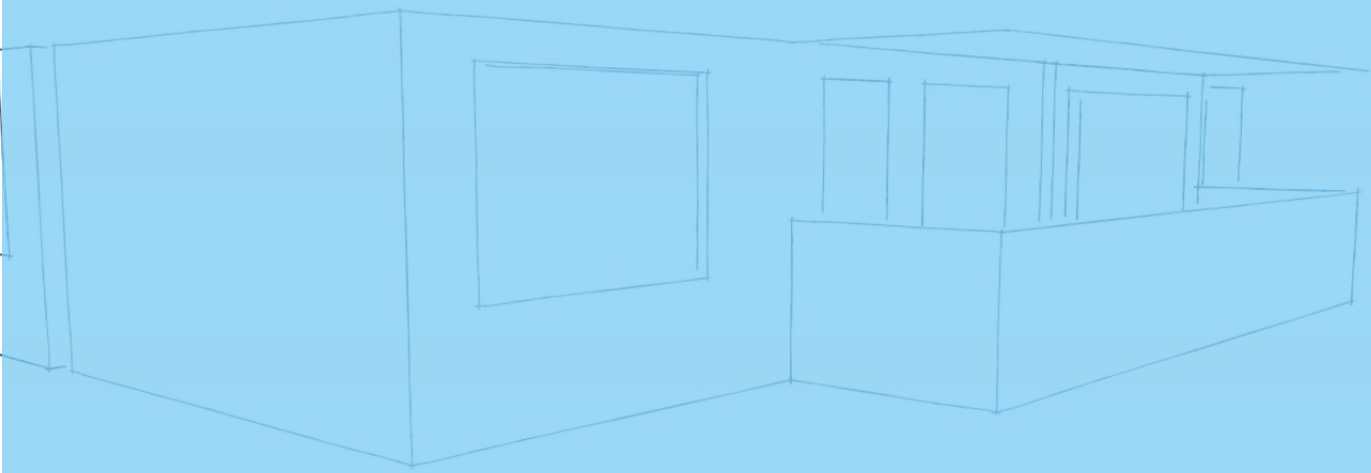
**Abbildung 226 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer<sup>176</sup>, Modellraum M1 südwest-orientiert, Außenliegende Verschattung, Klimadatensatz 2007, Glasflächenanteil, V6 Neubau Holzbau**

Der Einfluss des Fensteranteils auf die Hitzetauglichkeit von Gebäuden wurde in Kapitel 9.4.5.11 untersucht. Die wesentlichen Erkenntnisse daraus sind, dass ein hoher Verglasungsanteil erwartungsgemäß zu einer erhöhten Wärmeentwicklung innerhalb der Räume führt. Dies bedeutet, dass Gebäude mit großen Fensterflächen anfälliger für Hitze sind.

<sup>176</sup> Angeführt werden neben UT, den Übertemperaturgradstunden, Die Prozentualen Anteile von Stunden die Außerhalb der Komfortkategorie I, II und III nach EN 15251 liegen, je geringer der Anteil der h außerhalb dieser Komfortzonen, wobei Kategorie I die Höchste Komfortqualität dargestellt ist, desto höher ist die thermische Qualität zu beurteilen. Mit  $T_{max}$  wird die höchste Temperatur im Raum angeführt, diese kann, muss aber nicht immer repräsentativ für den thermischen Komfort in einer Langzeitbetrachtung sein.

Der Einsatz außenliegenden Verschattungssystemen kann die negative Wirkung großer Fensterflächen reduzieren. Eine angemessene Dimensionierung und Platzierung von Fenstern ist zur Vermeidung von Hitze entscheidend, wobei die Ausrichtung und natürliche Belüftung maßgebliche Faktoren sind.

Es zeigt sich, dass der Einfluss des Verglasungsanteils gerade bei gut gedämmten Neubaukonstruktionen zunimmt und beim Holzbauweise besonders hoch ist.



## 10 Komfort-Bewertung von Lüftungs- und Verschattungs-Strategien<sup>177</sup>

### 10.1 Einleitung

Die Beurteilung des Komforts im Sommer beschränkt sich bisher hauptsächlich auf den thermischen Komfort, wie auch die bereits in vielzähligen Ausgaben vorliegende und in der OIB-Richtlinie 6 verankerte ÖNorm B 8110-3 zeigt. Dass für die Bewertung des Innenraumklimas jedoch auch weitere Indikatoren heranzuziehen sind zeigt unter anderem die EN 15251<sup>178</sup>, die auch Auslegungsindikatoren für folgende Kategorien und der folgenden Innenraumklimafaktoren definiert.

- Thermische Kriterien für den Sommer<sup>179</sup>, Auslegungswerte für Innentemperaturen während der Kühlperiode.
- Luftqualitäts- und Lüftungskriterien<sup>180</sup>, Auslegungswerte für die Lüftung.
- Beleuchtungskriterien<sup>181</sup>: Auslegungswerte für die Beleuchtung.
- Kriterien für die Akustik<sup>182</sup>, Auslegungswerte für Lärm.

Wie die nachfolgend zusammenfassend für die Ergebnisse der durchgeführten Simulationsreihen gezeigt wird ist eine alleinige Betrachtung thermischer Komfortkriterien nicht ausreichend für den Sommerfall, da es zum einen bei Fensterlüftung, durch die damit verbundene verkehrslärminduzierte Schallbelastung, aber auch durch die Aktivierung von Sonnenschutz und damit verbunden Reduktion des Tageslichtangebots zu Zielkonflikten kommt. Neben den in Kapitel 7 berücksichtigten bzw. ausgewerteten Ergebnissen können selbstverständlich noch weitere – in Kapitel 6 aufgezeigte – Kriterien, wie Sichtbezug nach Außen in die Bewertung mit einbezogen werden. Für die Beantwortung der Forschungsfrage ist die Beurteilung der hier analysierten Kriterien ausreichend, wobei hinsichtlich des thermischen Komforts für die Beurteilung die Beschränkung auf maximale operative Temperatur, Stunden über 27°C, höchster Komfort, oder geringster Diskomfort die Übersicht erleichtert.

Eine Zusammenstellung der Bewertungsergebnisse zu den Simulationsergebnissen wird in Kapitel 10.2 gezeigt, analog der Bewertung der Ergebnisse der messtechnischen Begleitung in Kapitel 7.2.5. Wie die Ergebnisse für die Optimierung genutzt werden können, wird in 10.3

---

<sup>177</sup> Beschreibung der hier betrachteten Strategien auf Seite 157

<sup>178</sup> DIN EN 15251:2012, S. 19 ff

<sup>179</sup> DIN EN 15251:2012, Auslegungswerte für Innentemperaturen während der Kühlperiode, in 6.2.1 und 6.2.2, S. 13

<sup>180</sup> DIN EN 15251:2012, Auslegungswerte für die Lüftung von Nichtwohngebäuden, in 6.3.1, S. 14

<sup>181</sup> DIN EN 15251:2012, Auslegungswerte für die Beleuchtung, in 6.5, S. 16

<sup>182</sup> DIN EN 15251:2012, Auslegungswerte für Lärm, in 6.6, S. 16

anhand von Anwendungsbeispielen aufgezeigt. Abschließend wird in 10.4 der Einfluss künftiger möglicher Klimaentwicklungen auf den thermischen Komfort analysiert und bewertet.

## 10.2 Gesamtbewertung

In Abbildung 227 wird die Bewertung für 4 Kriterien zum thermischen Komfort und die Bewertung zum auditiven Komfort anhand des Lärmpegels, sowie die Tageslicht- und Raumlufthausqualität, nach Strategien zusammengestellt. Die Bewertung der Tageslichtqualität erfolgt anhand der natürlichen Belichtungsstärke. Die Bewertung der Raumlufthausqualität anhand der maximalen CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Die Gesamtübersicht zeigt, dass mit keiner der untersuchten Strategien ein über alle Beurteilungskriterien hinweg hohe Komfortbewertung möglich ist. Es zeigt sich auch, dass am Standort Wien jedenfalls mit zumindest erhöhten, meistens stark erhöhten und hohen maximalen operativen Temperaturen gerechnet werden muss. Da diese jedoch einen über den Betrachtungszeitraum (Juli und August) ermittelten Maximalwert darstellen und somit auch ggf. lediglich ein einmaliges Ereignis darstellen können ist die Beurteilung anhand der Stunden über 27 °C, oder der ebenfalls in Anzahl Stunden angegebenen Kriterien maximaler Komfort (Kategorie I) oder minimaler Diskomfort (Kategorie IV) zielführender, wie auch anhand der Spalte > 27 °C im Vergleich zu Spalte Temp<sub>max</sub> gezeigt werden kann. So liegt beispielweise bei stark erhöhter Temp<sub>max</sub> nur eine geringe Anzahl an Stunden über 27 °C vor (Profil A1, Zeile 1).

Anhand von Abbildung 227 lassen sich auch rasch besonders kritische Bewertungen bzw. die damit verbundenen Strategien identifizieren. So zeigt sich für Lüftungs- und Verschattungsstrategie 2 (Profile F2 bis I2) ein extrem hoher thermischer Diskomfort, bedingt durch die hohe Anzahl von Stunden über 27 °C. Es kann weiter eine sehr niedrige Raumlufthausqualität bei Strategie 1 und Strategie 5 identifiziert werden (Zeile F1 bis J1, Spalte Raumlufthausqualität). Hingegen funktioniert diese Lüftungs- und Verschattungsstrategie hinsichtlich der maximalen CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Teilzeit deutlich besser (Zeile A1 bis E1, und A5 bis E5, Spalte Raumlufthausqualität) was darauf zurückzuführen ist, dass in der ersten Arbeitsstunde noch gelüftet wird, dann die Fenster geschlossen werden und damit die CO<sub>2</sub>-Konzentration kontinuierlich ansteigt. Auch ein sehr hoher auditiver Diskomfort, sprich eine hohe Schallbelastung, lässt sich bei einer der untersuchten Strategien, nämlich bei Strategie 4 (Zeile A4 bis J4, Spalte Lärmbelastung) feststellen. Es zeigt sich weiter, dass hinsichtlich des visuellen Komforts – bewertet anhand des über den Nutzungszeitraum gemittelten Tageslichtangebots – zeitweise Belegung grundsätzlich etwas günstiger abschneidet als Vollzeitbelegung. Gleiches gilt für den thermischen Komfort,

wobei hier die unterschiedliche Anwesenheitsdauer bereits in der Bewertung berücksichtigt wurde.

Profil/Strategie	Bewertung						
	Tempmax	>27°C	Kategorie I - Komfort	Kategorie IV - Diskomfort	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	stark erhöht	gering	niedrig	extrem hoch	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
B1	stark erhöht	gering	mäßig	hoch	mittel	mittel	leicht erhöht
C1	stark erhöht	gering	mittel	mäßig	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
D1	stark erhöht	gering	mittel	mäßig	mittel	gering	leicht erhöht
E1	hoch	gering	mittel	mittel	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
F1	stark erhöht	gering	mittel	hoch	sehr niedrig	mittel	gering
G1	stark erhöht	mittel	mittel	mäßig	sehr niedrig	gering	gering
H1	stark erhöht	mittel	hoch	mäßig	sehr niedrig	mittel	gering
I1	stark erhöht	mittel	hoch	mäßig	sehr niedrig	gering	gering
J1	stark erhöht	mittel	mittel	mittel	sehr niedrig	gering	gering
A2	hoch	gering	mittel	sehr niedrig	hoch	sehr hoch	erhöht
B2	hoch	mittel	mittel	mäßig	hoch	hoch	erhöht
C2	hoch	hoch	mittel	extrem hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
D2	sehr hoch	hoch	mäßig	extrem hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
E2	hoch	mittel	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
F2	hoch	sehr hoch	mäßig	extrem hoch	sehr niedrig	gering	leicht erhöht
G2	hoch	sehr hoch	mittel	extrem hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
H2	sehr hoch	sehr hoch	mäßig	extrem hoch	niedrig	mittel	leicht erhöht
I2	hoch	sehr hoch	mittel	extrem hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
J2	hoch	hoch	mittel	mittel	niedrig	gering	leicht erhöht
A3	stark erhöht	gering	mittel	sehr niedrig	hoch	gering	erhöht
B3	stark erhöht	mittel	mittel	sehr niedrig	hoch	mittel	erhöht
C3	hoch	mittel	mittel	mittel	hoch	gering	erhöht
D3	hoch	mittel	mittel	mäßig	hoch	gering	erhöht
E3	-	-	-	-	-	-	erhöht
F3	hoch	hoch	mittel	mäßig	hoch	hoch	erhöht
G3	hoch	hoch	mittel	mittel	hoch	hoch	erhöht
H3	hoch	hoch	mittel	mittel	hoch	mittel	erhöht
I3	hoch	hoch	mittel	mäßig	hoch	gering	erhöht
J3	hoch	hoch	mittel	mäßig	hoch	gering	erhöht
A4	erhöht	gering	niedrig	extrem hoch	hoch	gering	sehr hoch
B4	stark erhöht	gering	mäßig	mittel	hoch	gering	sehr hoch
C4	stark erhöht	gering	mittel	niedrig	hoch	gering	sehr hoch
D4	stark erhöht	gering	mittel	mäßig	hoch	gering	sehr hoch
E4	stark erhöht	gering	mäßig	mittel	hoch	gering	sehr hoch
F4	stark erhöht	gering	mäßig	hoch	mittel	gering	sehr hoch
G4	stark erhöht	mittel	mittel	mäßig	mittel	gering	sehr hoch
H4	stark erhöht	mittel	mittel	mäßig	mittel	mittel	sehr hoch
I4	stark erhöht	mittel	mittel	mäßig	hoch	gering	sehr hoch
J4	stark erhöht	mittel	mäßig	hoch	hoch	gering	sehr hoch
A5	erhöht	gering	mäßig	sehr hoch	mittel	gering	leicht erhöht
B5	stark erhöht	gering	mittel	mittel	mittel	gering	leicht erhöht
C5	stark erhöht	gering	hoch	niedrig	mittel	gering	leicht erhöht
D5	stark erhöht	gering	hoch	niedrig	mittel	gering	leicht erhöht
E5	stark erhöht	gering	mittel	mäßig	mittel	gering	leicht erhöht
F5	stark erhöht	mittel	mittel	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G5	stark erhöht	mittel	hoch	mäßig	sehr niedrig	gering	gering
H5	stark erhöht	hoch	hoch	niedrig	sehr niedrig	mittel	gering
I5	hoch	hoch	hoch	mäßig	sehr niedrig	gering	gering
J5	stark erhöht	mittel	mittel	mittel	niedrig	gering	gering

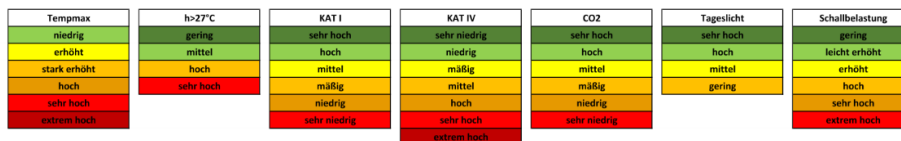
Tempmax	h>27°C	KAT I	KAT IV	CO2	Tageslicht	Schallbelastung
gering	gering	sehr hoch	sehr niedrig	sehr hoch	sehr hoch	gering
niedrig	mittel	hoch	niedrig	hoch	hoch	leicht erhöht
erhöht	hoch	mittel	mäßig	mittel	mittel	erhöht
stark erhöht	sehr hoch	mäßig	mittel	mäßig	gering	hoch
hoch		niedrig	hoch	niedrig		sehr hoch
sehr hoch		sehr niedrig	sehr hoch	sehr niedrig		extrem hoch
extrem hoch			extrem hoch			

Abbildung 227 Gesamtbewertung thermischer und auditiver Komfort, sowie Tageslicht- und Raumluftqualität, nach Strategien<sup>183</sup>

<sup>183</sup> Beschreibung der hier betrachteten Strategien auf Seite 157

Die Darstellung in Abbildung 227 eine anhand der Lüftungs- und Verschattungsstrategien erlaubt einen raschen Überblick hinsichtlich der Vor- und Nachteile einzelner Strategien. Mit der in Abbildung 228 gewählten Darstellungsform, sortiert nach Profilen, sich wiederum besonders günstige Nutzungsprofile identifizieren und auswählen lassen. Oder umgekehrt, besonders kritische Nutzungszeiten oder schlechte Bewertungen lassen sich identifizieren und gegebenenfalls ausschließen. So kann zum Beispiel, wenn dies durch die Arbeitgeber\*innen möglich, die Arbeitszeit so gelegt werden, dass sich günstigere Bedingungen ergeben. So ergeben sich beispielsweise bei Profil D (Teilzeit 15:00 bis 19:00, Zeile D1 bis D5) ein deutlich höherer Diskomfort als bei Profile C (Teilzeit 13 bis 17:00, Zeile C1 bis C5).

Während wie in Abbildung 228 insgesamt 7 Bewertungsgrößen auf den ersten Blick recht viel, vermutlich zu viel Information enthalten um als erste Entscheidungsgrundlage dienen zu können werden die Indikatoren zur thermischen Bewertung in Abbildung 229 reduziert und lediglich das Kriterium Stunden größer 27 °C. dargestellt, wodurch auch optisch eine gleichwertige Gewichtung der Beurteilungskriterien möglich ist.



**Abbildung 228 Gesamtbewertung thermischer und auditiver Komfort, sowie Tageslicht- und Raumluftqualität, nach Nutzungsprofilen**

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumlufqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
B1	gering	mittel	mittel	leicht erhöht
C1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
D1	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
F1	gering	sehr niedrig	mittel	gering
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
H1	mittel	sehr niedrig	mittel	gering
I1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
J1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
B2	mittel	hoch	hoch	erhöht
C2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
D2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
E2	mittel	hoch	sehr hoch	erhöht
F2	sehr hoch	sehr niedrig	gering	leicht erhöht
G2	sehr hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
H2	sehr hoch	niedrig	mittel	leicht erhöht
I2	sehr hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
J2	hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
A3	gering	hoch	gering	erhöht
B3	mittel	hoch	mittel	erhöht
C3	mittel	hoch	gering	erhöht
D3	mittel	hoch	gering	erhöht
E3	-	-	-	erhöht
F3	hoch	hoch	hoch	erhöht
G3	hoch	hoch	hoch	erhöht
H3	hoch	hoch	mittel	erhöht
I3	hoch	hoch	gering	erhöht
J3	hoch	hoch	gering	erhöht
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
B4	gering	hoch	gering	sehr hoch
C4	gering	hoch	gering	sehr hoch
D4	gering	hoch	gering	sehr hoch
E4	gering	hoch	gering	sehr hoch
F4	gering	mittel	gering	sehr hoch
G4	mittel	mittel	gering	sehr hoch
H4	mittel	mittel	mittel	sehr hoch
I4	mittel	hoch	gering	sehr hoch
J4	mittel	hoch	gering	sehr hoch
A5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
B5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
C5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
D5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
F5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
H5	hoch	sehr niedrig	mittel	gering
I5	hoch	sehr niedrig	gering	gering
J5	mittel	niedrig	gering	gering

Abbildung 229 Bewertung, thermischer Komfort reduziert auf Kriterium  $h>27^{\circ}\text{C}$ , nach Strategien<sup>184</sup>

<sup>184</sup> Beschreibung der hier betrachteten Strategien auf Seite 156

Beschränkt man die Betrachtung weiter auf die Teilzeitprofile bzw. begrenzte Anwesenheitszeiten (Abbildung 230) wird ein direkter Vergleich der Strategien und deren Auswirkungen auf die Komfortkriterien möglich. Eine Eingrenzung bzw. Auswahl ist in Excel durch die Filterfunktion rasch möglich. Nachfolgend werden einzelne Anwendungsfälle durchgespielt und so die Auswirkungen, Möglichkeiten und Optimierungspotentiale zu zeigen.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumlufthqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
B1	gering	mittel	mittel	leicht erhöht
C1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
D1	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
B2	mittel	hoch	hoch	erhöht
C2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
D2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
E2	mittel	hoch	sehr hoch	erhöht
A3	gering	hoch	gering	erhöht
B3	mittel	hoch	mittel	erhöht
C3	mittel	hoch	gering	erhöht
D3	mittel	hoch	gering	erhöht
E3	-	-	-	erhöht
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
B4	gering	hoch	gering	sehr hoch
C4	gering	hoch	gering	sehr hoch
D4	gering	hoch	gering	sehr hoch
E4	gering	hoch	gering	sehr hoch
A5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
B5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
C5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
D5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E5	gering	mittel	gering	leicht erhöht

Abbildung 230 Bewertung, thermischer Komfort reduziert auf Kriterium  $h > 27^\circ\text{C}$ , nach Strategien<sup>185</sup>, für Teilzeit bzw. geringe Anwesenheit

<sup>185</sup> Beschreibung der hier betrachteten Strategien auf Seite 156

In Abbildung 231 wird die Lüftungs- und Verschattungsstrategie 4 für Teilzeit herausgegriffen und hinsichtlich thermischen Komforts, Raumluftqualität, Tageslichtqualität und Lärmbelastung analysiert. Es zeigt sich, dass bei hohem thermischen Komfort leider auch eine hohe Lärmbelastung vorliegt. Es liegt eine hohe Raumluftqualität jedoch nur eine geringe Tageslichtqualität vor.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
B4	gering	hoch	gering	sehr hoch
C4	gering	hoch	gering	sehr hoch
D4	gering	hoch	gering	sehr hoch
E4	gering	hoch	gering	sehr hoch

Abbildung 231 Bewertung für Strategie 4 – Teilzeit für thermischen Komfort, Raumluftqualität, Tageslichtqualität und Lärmbelastung

Hingegen zeigt Abbildung 232 mit Strategie 5 nur eine mittlere Raumluftqualität. Allerdings ist dafür auch die Lärmbelastung nur leicht erhöht. Tageslichtqualität und thermischer Komfort werden gleich bewertet wie bei Strategie 4. Wie anhand dieses Vergleichs gezeigt wird lassen sich je nach Priorität der Nutzer\*innen einzelne Strategien identifizieren mit denen Sie ihre Ziele, z.B. geringe Lärmbelastung erreichen lassen.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
B5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
C5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
D5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E5	gering	mittel	gering	leicht erhöht

Abbildung 232 Bewertung für Strategie 5 – Teilzeit für thermischen Komfort, Raumluftqualität, Tageslichtqualität und Lärmbelastung

### 10.3 Anwendungsbeispiele

Nachfolgend wird in Abbildung 233 die Gesamtbewertung für Vollzeitprofile insofern hinsichtlich thermischen Komforts gefiltert, dass nur Bewertungen mit „gering“ und „mittel“ gelistet werden, da dies in diesem Beispiel den Erwartungen der Nutzer\*innen entspricht.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
F1	gering	sehr niedrig	mittel	gering
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
H1	mittel	sehr niedrig	mittel	gering
I1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
J1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
F4	gering	mittel	gering	sehr hoch
G4	mittel	mittel	gering	sehr hoch
H4	mittel	mittel	mittel	sehr hoch
I4	mittel	hoch	gering	sehr hoch
J4	mittel	hoch	gering	sehr hoch
F5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
J5	mittel	niedrig	gering	gering

Abbildung 233 Auswahl mit Priorität thermischer Komfort  $h > 27\text{ °C}$  „gering“ und „mittel“ für Vollzeit

Als zweite Priorität neben einem hohen thermischen Komfort wünschen sich die Nutzer\*innen in diesem Beispiel einen hohen auditiven Komfort. Es wird deshalb in einem zweiten Schritt die in Abbildung 233 dargestellte Liste weiter gefiltert, um nur noch Varianten mit Lärmbelastungen „gering“ darzustellen. Aus der nun ausgegebenen Darstellung (Abbildung 234) wird ersichtlich, dass hierzu einige Szenarien zu Verfügung stehen, die den Nutzerprioritäten gerecht werden. Allerdings im gegebenen Beispiel bei sehr niedriger Raumluftqualität und geringer bis mittlerer Tageslichtqualität. Mit Lüftungs- und Verschattungsstrategie 1 lassen sich die gewünschten Ergebnisse im Sommer bei allen Vollzeit-Nutzungsprofilen realisieren. Bei Strategie 5 zumindest bei den Profilen F, G und H.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
F1	gering	sehr niedrig	mittel	gering
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
H1	mittel	sehr niedrig	mittel	gering
I1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
J1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
F5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
J5	mittel	niedrig	gering	gering

Abbildung 234 Weitere Eingrenzung durch Auswahl mit Priorität Lärmbelastung „gering“ für Vollzeit

Im nächsten Anwendungsbeispiel wird wieder nach hohem thermischem Komfort, in diesem Fall sogar begrenzt auf die Bewertung „gering“ bei der Anzahl der Stunden über 27 °C gefiltert (Abbildung 235). Es zeigt sich, dass hier mit F1 und F4 nur 2 Ergebnisse für Vollzeit vorliegen. Da die Nutzer\*innen in diesem Beispiel ohnedies Teilzeit haben spielt dies weiter keine Rolle. Entgegen den Nutzer\*innen aus dem vorherigen Beispiel wird als zweite Priorität nun allerdings eine sehr hohe Tageslichtqualität gewünscht und die Ergebnisse aus Abbildung 235 damit entsprechend gefiltert, was zu Abbildung 236 führt.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
B1	gering	mittel	mittel	leicht erhöht
C1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
D1	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
F1	gering	sehr niedrig	mittel	gering
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
A3	gering	hoch	gering	erhöht
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
B4	gering	hoch	gering	sehr hoch
C4	gering	hoch	gering	sehr hoch
D4	gering	hoch	gering	sehr hoch
E4	gering	hoch	gering	sehr hoch
F4	gering	mittel	gering	sehr hoch
A5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
B5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
C5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
D5	gering	mittel	gering	leicht erhöht
E5	gering	mittel	gering	leicht erhöht

Abbildung 235 Auswahl mit Priorität thermischer Komfort  $h>27^{\circ}\text{C}$  „gering“ für Teilzeit und Vollzeit

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
C1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
E1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht

Abbildung 236 Weitere Eingrenzung durch Auswahl mit Priorität Tageslichtqualität „sehr hoch“

Nachdem nun sowohl nach hohem thermischem Komfort als auch nach hoher Tageslichtqualität gefiltert wurde zeigt sich, dass nun noch folgende Optionen zu Verfügung stehen. Es bietet sich an zwischen 07:00 und 11:00 (Profil A), zwischen 13:00 und 17:00 (Profil C) und zwischen 19:00 und 23:00 (Profil E) zu arbeiten und die Lüftungs- und Verschattungsstrategie 1 zu verfolgen, jeweils bei mittlerer zu erwartender Raumluftqualität und leicht erhöhter Lärmbelastung. Bei einer

Arbeitszeit zwischen 07:00 und 11:00 ist auch Strategie 2 möglich, mit hoher Raumlufthqualität, dafür erhöhter Lärmbelastung. Die Nutzer\*innen können damit bei Profil A noch hinsichtlich ihrer diesbezüglichen Vorzüge die Strategie anpassen.

Im nächsten Beispiel wird nach hoher Tageslichtqualität für Teilzeitprofile gefiltert (Abbildung 237). Auch hier zeigt sich wieder, dass zwischen höherer Raumlufthqualität und geringerer Lärmbelastung gewählt werden muss.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumlufthqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
C1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
E1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
C2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
D2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
E2	mittel	hoch	sehr hoch	erhöht

Abbildung 237 Auswahl mit Priorität Tageslichtqualität „sehr hoch“, für Teilzeit

Eine Priorisierung nach geringer Lärmbelastung zeigt das in Abbildung 238 dargestellte Ergebnis für Vollzeit. Auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass die zu erwartende Raumlufthqualität sehr niedrig ist. Muss die Anwesenheit zwischen 12:00 und 20:00 (Profil H) oder zwischen 15:00 und 23:00 (Profil I) liegen, so ist Lüftungs- und Verschattungsstrategie 1 hinsichtlich thermischen Komforts, gegenüber Strategie 5 der Vorzug zu geben. Ist neben der geringen Lärmbelastung auch ein hoher thermischer Komfort gewünscht, sind frühe Nutzungsprofile (Profil F, 07:00 bis 15:00) zielführend.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
F1	gering	sehr niedrig	mittel	gering
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
H1	mittel	sehr niedrig	mittel	gering
I1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
J1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
F5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering
H5	hoch	sehr niedrig	mittel	gering
I5	hoch	sehr niedrig	gering	gering
J5	mittel	niedrig	gering	gering

Abbildung 238 Auswahl mit Priorität Lärmbelastung „gering“, für Vollzeit

Eine hohe Raumluftqualität als erste Priorität wird in Abbildung 239 untersucht. Auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass diese nur auf Grund einer erhöhten, bzw. sehr hohen Lärmbelastung, das heißt durch ausreichendes Lüften realisiert werden kann. Ob eine weitere Optimierung hinsichtlich thermischen Komforts oder Tageslichtqualität erfolgt ist den Nutzer\*innen überlassen. Je nach Nutzerprofil wird er sich dann zwischen den Strategien 2, 3 und 4 entscheiden.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
B2	mittel	hoch	hoch	erhöht
C2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
D2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
E2	mittel	hoch	sehr hoch	erhöht
A3	gering	hoch	gering	erhöht
B3	mittel	hoch	mittel	erhöht
C3	mittel	hoch	gering	erhöht
D3	mittel	hoch	gering	erhöht
F3	hoch	hoch	hoch	erhöht
G3	hoch	hoch	hoch	erhöht
H3	hoch	hoch	mittel	erhöht
I3	hoch	hoch	gering	erhöht
J3	hoch	hoch	gering	erhöht
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
B4	gering	hoch	gering	sehr hoch
C4	gering	hoch	gering	sehr hoch
D4	gering	hoch	gering	sehr hoch
E4	gering	hoch	gering	sehr hoch
I4	mittel	hoch	gering	sehr hoch
J4	mittel	hoch	gering	sehr hoch

Abbildung 239 Auswahl mit Priorität Raumluftqualität „hoch“

Einen typischen Anwendungsfall, nämlich eine fix vorgegebene Anwesenheitszeit, zeigt das nachfolgende Beispiel. Es wird Vollzeit zwischen 09:00 und 17:00 gearbeitet, das bedeutet Profil G ist vorgegeben (Abbildung 240). Es zeigt sich dass die unterschiedlichen Lüftungs- und Verschattungsstrategien zu unterschiedlichsten Ergebnissen hinsichtlich der Komfortparameter führen.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G2	sehr hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
G3	hoch	hoch	hoch	erhöht
G4	mittel	mittel	gering	sehr hoch
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering

Abbildung 240 Profil G liegt vor

Wird nun wie in Abbildung 241 ein hoher auditiver Komfort, d.h. eine geringe Lärmbelastung favorisiert, so bieten sich sowohl Lüftungs- und Verschattungsstrategie 1 und 5 mit gleichwertigen Ergebnissen an, allerdings jeweils bei sehr niedriger Raumluftqualität.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G2	sehr hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
G3	hoch	hoch	hoch	erhöht
G4	mittel	mittel	gering	sehr hoch
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering

Abbildung 241 G1 Lärm gering

Geht man nach dem höchstmöglichen thermischen Komfort und möglichst hoher Raumluftqualität zeigt sich, dass Lüftungs- und Verschattungsstrategie 4 zielführend ist, leider jedoch auf Kosten hoher Lärmbelastung (Abbildung 242).

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G2	sehr hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
G3	hoch	hoch	hoch	erhöht
G4	mittel	mittel	gering	sehr hoch
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering

Abbildung 242 G4 Temperatur beste und raumluftqualität möglichst hoch

Hohe Raumluftqualität bei hoher Tageslichtqualität kann mit Lüftungs- und Verschattungsstrategie 3 erreicht werden (Abbildung 243). Leider ergibt sich dadurch auch eine hohe Anzahl an Stunden über 27 °C und eine erhöhte Lärmbelastung. Mit Lüftungs- und Verschattungsstrategie 2 – ungeachtet ihrer breiten Anwendung in der Praxis – werden hier – jedenfalls hinsichtlich der dargestellten Bewertungen – in keiner Kategorie Bestbewertungen erreicht.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
G1	mittel	sehr niedrig	gering	gering
G2	sehr hoch	niedrig	gering	leicht erhöht
G3	hoch	hoch	hoch	erhöht
G4	mittel	mittel	gering	sehr hoch
G5	mittel	sehr niedrig	gering	gering

Abbildung 243 G3 Raumluftqualität und Tageslichtqualität möglichst hoch

Im abschließenden Anwendungsbeispiel wird Anhand der Bewertungsmatrix für Teilzeitnutzung eine sehr hohe Tageslichtqualität gewünscht. Es wird damit, entsprechend Abbildung 244, auf Grund der sich zu gleich hohen thermischen Komforts Profil A (Teilzeit 07:00 bis 11:00) gewählt. Nun, wo sich die Nutzer\*innen auf eine Arbeitszeit festgelegt haben möchten sie ein Gefühl dafür zu bekommen, wie sich die Räume hinsichtlich anderer Lüftungs- und Verschattungsstrategien verhalten.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
B2	mittel	hoch	hoch	erhöht
C2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
D2	hoch	hoch	sehr hoch	erhöht
E2	mittel	hoch	sehr hoch	erhöht

Abbildung 244 Auswahl mit Priorität Tageslichtqualität „sehr hoch“, Teilzeit

Es wird dementsprechend nach Profil A gefiltert und die Ergebnisse werden für alle 5 betrachteten Lüftungs- und Verschattungsstrategien dargestellt (Abbildung 245).

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
A3	gering	hoch	gering	erhöht
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
A5	gering	mittel	gering	leicht erhöht

Abbildung 245 Auswahl des Nutzungsprofils A und Betrachtung der verschiedenen Lüftungs- und Verschattungsstrategien in diesem Nutzungsprofil

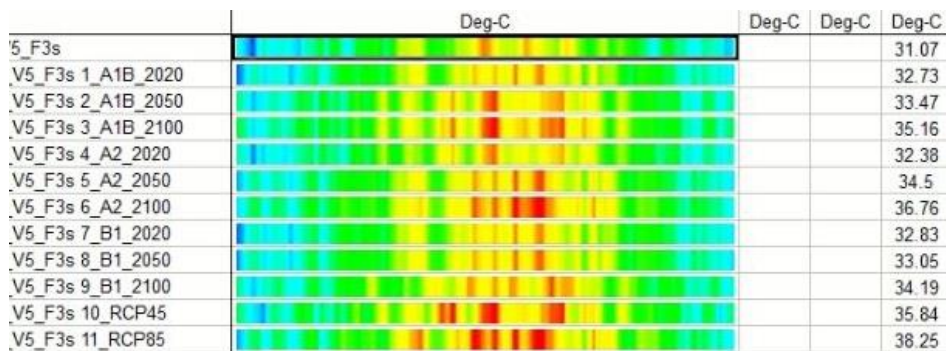
Es zeigt sich, dass selbiges Ziel – eine sehr hohe Tageslichtqualität und hoher thermischer Komfort – auch bei Lüftungsstrategie 1 möglich ist, sieh die Komfortkriterien hinsichtlich Raumluftqualität und Lärmbelastung allerdings etwas ändern. Wird nun zwischendurch im realen Betrieb doch mal öfter das Fenster aufgemacht (Strategie 3) so wird dies jedenfalls zu erhöhter Lärmbelastung und vmtl. hinsichtlich der Anzahl von Stunden über 27 °C zu einer Verschiebung nach oben führen. Da die Bewertung hinsichtlich der Anzahl Stunden über 27 °C in Abbildung 246 allesamt mit gering erfolgt ist eine detaillierte Betrachtung in Kapitel 9.4.1.2 zielführend, wo ersichtlich wird, dass es innerhalb der Bewertungsstufe „gering“ deutliche Unterschiede in den Lüftungs- und Verschattungsstrategien ergeben.

Profil/Strategie	Bewertung			
	>27°C	Raumluftqualität	Tageslichtqualität	Lärmbelastung
A1	gering	mittel	sehr hoch	leicht erhöht
A2	gering	hoch	sehr hoch	erhöht
A3	gering	hoch	gering	erhöht
A4	gering	hoch	gering	sehr hoch
A5	gering	mittel	gering	leicht erhöht

Abbildung 246 Durch Wechsel von Strategie 2 (A2) auf Strategie 1 (A1) kann die Lärmbelastung etwas reduziert werden, allerdings mit einer leichten Verschlechterung der Raumluftqualität

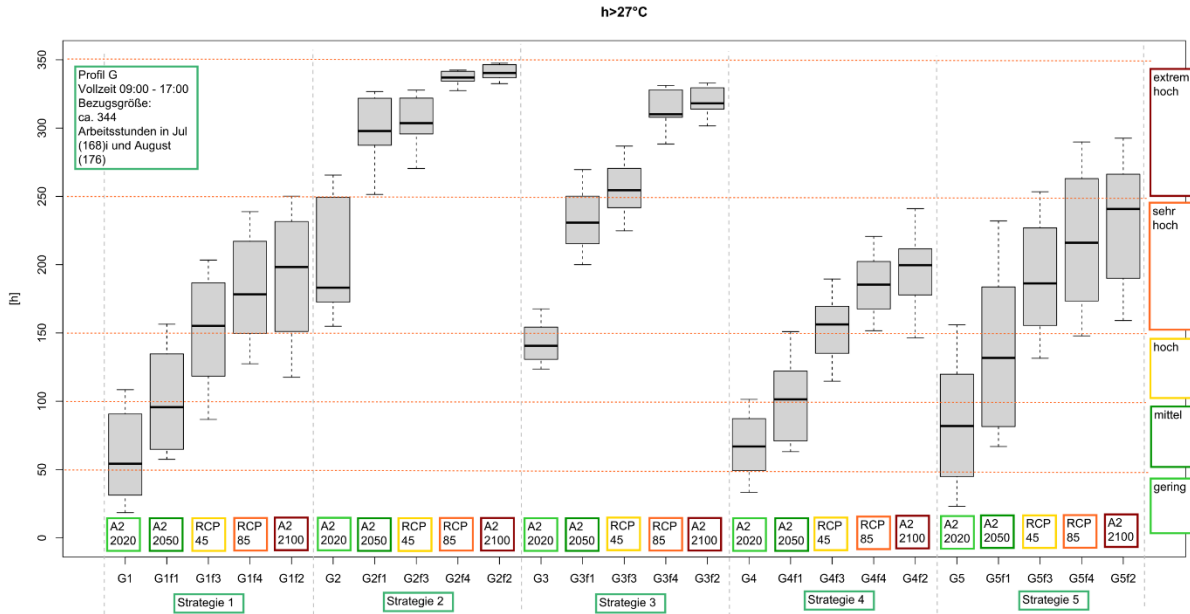
## 10.4 Klimaszenarien

Um künftige Klimaentwicklung zu berücksichtigen, werden in 9.3.2 auch Analysen zu Klimaszenarien 2050, 2100 bzw. +1,5 °C und +3,0 °C u.Ä. durchgeführt. Eine Übersicht zu den sich in den Klimaszenarien einstellenden Temperaturverläufen sowie zur Maximal-Temperatur gibt Abbildung 247. Die Auswirkungen der Szenarien A2 2050, A2 2100 sowie RCP 4.5 und RCP 8.5 werden anhand des Profils G (in der Zeit 09:00 bis 17:00) analysiert wobei das Kriterium Anzahl Stunden über 27 °C ausgewertet wird (Abbildung 248).



**Abbildung 247 Analyse Temperaturverteilung und Maximaltemperaturen für Klimadaten verschiedener Szenarien**

Unabhängig von der jeweiligen Strategie zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Anzahl von Stunden über 27 °C. Ausgehend von einer mittleren Stundenanzahl bei Strategie 1 beim Referenzklima A2 2020 steigt die Anzahl der Stunden über 27 °C über A2 2050, RCP 4.5, RCP 8.5 bis hin zu A2 2100 von ca. 50 Stunden auf etwa 200 h, was der Bewertung „sehr hoch“ entspricht.



**Abbildung 248** Auswirkung Klimaszenarien 2050, 2100, RCP4.5 und RCP8.5 am Beispiel Profil G - Vollzeit, bewertet anhand der Anzahl Stunden über 27 °C

Bei Strategie 2 kommt es bereits ab Szenario A2 2050 zu einer Verschiebung in die Bewertung „extrem hoch“. Etwas günstiger verhält es sich noch bei Strategie 3. Auch bei Strategie 4 und Strategie 5 kommt es zu einer Verschiebung in die Bewertung „sehr hoch“ ab dem Szenario RCP 4.5 (Abbildung 248).

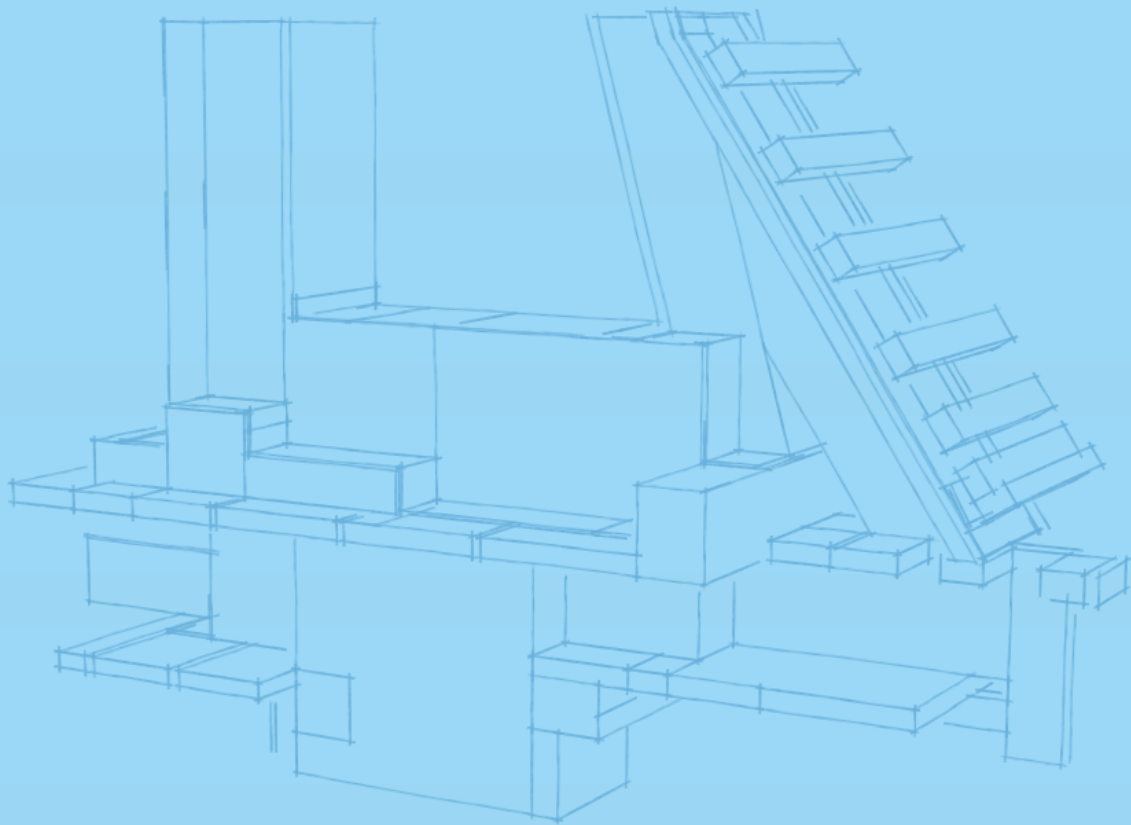
Profil/Strategie	Bewertung - Klimaentwicklung - h>27°C				
	A2 2020	A2 2050	RCP 45	RCP 85	A2 2100
G1	mittel	mittel	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
G2	sehr hoch	extrem hoch	extrem hoch	extrem hoch	extrem hoch
G3	hoch	sehr hoch	extrem hoch	extrem hoch	extrem hoch
G4	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
G5	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch

h>27°C
gering
mittel
hoch
sehr hoch
extrem hoch

**Abbildung 249** Einfluss Klimaszenarien 2050, 2100, RCP4.5 und RCP8.5, bewertet am Beispiel Profil G - Vollzeit, bewertet anhand der Anzahl Stunden über 27 °C

Wie die Bewertungsübersicht in Abbildung 249 anhand von Profil G (Zeit 09:00 bis 17:00) zeigt, ist eine signifikante Verschlechterung hinsichtlich des thermischen Komforts bei künftigen Klimaszenarien zu erwarten.



## 11 Resümee

### 11.1 Lüftungs- und Verschattungsstrategien

Mit den gezeigten Ergebnissen lassen sich zusammen mit den Messergebnissen die in der Realität einstellenden Komfortbedingungen ermitteln und bewerten. Als wesentliche Ergebnisse der messtechnischen Evaluierung lassen sich folgende Punkte festhalten:

- Durch die Aktivierung des Sonnenschutzes wird die Leuchtdichte erwartungsgemäß maßgeblich reduziert. Trotz aktiver Verschattung (zwischen den Fensterebenen liegendes Textilrollo) erfolgt jedoch ein solarer Eintrag, welcher neben den internen Lasten zu einem Anstieg der operativen Raumtemperatur führt.
- Es zeigt sich, dass das Verschattungsverhalten in der Praxis an die Außenklimabedingungen angepasst wird und auch abhängig von der Dauer der Hitzeperiode unterschiedlich gehandhabt wird. Zugunsten höherer Raumluftqualität, also verstärkter Fensterlüftung, aber auch auf Grund nachlassender Motivation oder zugunsten höheren Tageslichtangebot wird oft vom optimalen Lüftungs- und Verschattungsverhalten abgewichen.
- Das Potential der Nachtlüftung wird kaum genutzt. Grund dafür sind in erster Linie organisatorische und technische Gründe.
- Fensterlüftung ist in der Regel mit einer hohen Lärmbelastung bedingt durch den Straßenverkehr verbunden.
- Durch reduziertes Lüften während heißer Sommertage wird der außeninduzierten Lärmpegel reduziert. Bei kühleren Außenlufttemperaturen werden dann aber nach einer Hitzeperiode die Fenster verstärkt offengehalten, was zwar zu niedrigeren Raumtemperaturen, allerdings dann zu erhöhten Lärmpegeln führt.
- Hohe Lärmbelastung führt zumindest zu hoher Raumluftqualität und niedrigeren Temperaturniveaus.

Die Beurteilung des Komforts im Sommer beschränkt sich bisher hauptsächlich auf den thermischen Komfort. Dass die Bewertung des Innenraumklimas jedoch auch weitere Indikatoren umfasst, zeigt unter anderem die EN 15251<sup>186</sup>. Entsprechend wird neben den Kriterien zur Beurteilung des thermischen Komforts die Raumluftqualität, die Tageslichtqualität und die auditive Qualität, abgebildet durch die Lärmbelastung für eine umfassende Beurteilung herangezogen. Als wesentliche Ergebnisse der Simulationsreihen lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

---

<sup>186</sup> DIN EN 15251:2012

- Eine alleinige Betrachtung thermischer Komfortkriterien ist nicht ausreichend für die Beurteilung des Komforts im Sommerfall, da es zum einen bei Fensterlüftung, durch die damit verbundene verkehrslärinduzierte Schallbelastung, aber auch durch die Aktivierung von Sonnenschutz und der damit verbundenen Reduktion des Tageslichtangebots zu Zielkonflikten kommt.
- Neben den in Kapitel 8 berücksichtigten bzw. ausgewerteten Indikatoren können weiterführend selbstverständlich noch weitere – in Kapitel 6 aufgezeigte – Kriterien, wie Sichtbezug nach Außen in die Bewertung mit einbezogen werden.

Die Gesamtzusammenstellung der Bewertungsergebnisse in Kapitel 9.3.3 gibt einen Überblick über die je nach Profil und Lüftungs- und Verschattungsstrategie zu erwartenden Komfortbedingungen, wodurch das Bewusstsein für die Zusammenhänge von Maßnahmen und Auswirkungen auf die betrachteten Komfortgrößen gestärkt wird.

Anhand diverser Anwendungsfälle wurde gezeigt, wie die Ergebnisse für die Optimierung genutzt werden können. Es können beispielsweise für vorgegebene Nutzungsprofile, je nach festgelegter Komfortpriorität, geeignete Lüftungs- und Verschattungsstrategien gewählt werden. Ebenso können geeignete Zeiten identifiziert werden, zu denen möglichst hoher Komfort erwartet werden darf. Auch die Auswirkung von Änderungen der Lüftungs- und Verschattungsstrategien lassen sich anhand der Bewertungsmatrix rasch feststellen.

Der Einfluss künftiger möglicher Klimaentwicklungen auf den thermischen Komfort wurde analysiert und bewertet, womit auch ein entsprechender Handlungsbedarf hin zu einem optimierten, bzw. zumindest bewussten Lüftungs- und Verschattungsverhalten im Sommer aufgezeigt wird. Es lassen sich dazu folgende Empfehlungen ableiten:

- Sollen kritisch hohe Temperaturniveaus, insbesondere bei den zu erwartenden Klimaentwicklungen, vermieden werden, so gilt es jene Verschattungs- und Lüftungsstrategien mit den günstigsten Bewertungen zu wählen und konsequent anzuwenden.
- Es erfordert über das persönliche Verständnis hinsichtlich der jeweiligen Auswirkungen von Lüftungs- und Verschattungsmaßnahmen hinausgehend Kommunikation und entsprechende Handlungsanweisungen.
- Technische und organisatorische Rahmenbedingungen, wie die Anzeige von Außentemperatur, Raumtemperatur und Raumluftqualität sind als Beurteilungs- und Entscheidungshilfe bereitzustellen.
- Wenn nicht selbstorganisiert, so sind Verantwortlichkeiten z.B. für das Öffnen der Fenster am Morgen, das Schließen der Fenster, wenn die Außenlufttemperatur die

Raumlufttemperatur überschreitet, oder das Aktivieren des Sonnenschutzes, wenn die Sonne auf die Fassade scheint, abzustimmen.

- Da wie gezeigt hinsichtlich thermischem, visuellen, und auditivem Komfort teilweise Zielkonflikte vorliegen gilt es zumindest raumbezogen die jeweiligen Prioritäten der Bewohner\*innen zu identifizieren.
- Sowohl jenen Bewohner\*innen die früh morgens aufstehen, also auch jenen die Abends als Letzte wach sind kommt eine besondere Verantwortung hinsichtlich des thermischen Komforts zu. Ihr Verhalten entscheidet ggf. für einen Tag, eine Woche oder aber auch für die gesamte Hitzeperiode hinweg über den (thermischen) Komfort ihrer Wohnung.

Mit der durchgeführten Untersuchung des sich im Sommer in gründerzeitlichen Gebäuden mit einstellendem Komfort wird aufgezeigt, wie – entgegen der sich erkennen lassenden Tendenz des Einsatzes ressourcenintensiver und emissionsbehafteter aktiver Kühlmaßnahmen – durch die Wahl des Lüftungs- und Verschattungsverhaltens ein hoher Komfort in Bestandsgebäuden, auch ohne aktive Maßnahmen realisiert werden kann. Die untersuchten passiven Maßnahmen stehen damit nicht im Widerspruch zu energie- und klimapolitischen Zielsetzungen. Die Methode zur Beurteilung des Komforts im Sommer lässt sich auf Bestandsgebäude anderer Epochen übertragen und ist grundsätzlich auch im denkmalgeschützten Gebäudebestand anwendbar.

### 11.2 Konstruktion, Material und Farbe

In der Studie wurden neben der Lüftung und Verschattung auch konstruktive Aspekte betrachtet, um deren Einfluss auf die Vermeidung von Hitze in Wohngebäuden systematisch zu beurteilen.

Wie in Kapitel 9.4.3.1, hat die Farbe der Oberflächen einen hohen Einfluss auf die ins Mauerwerk bzw. die Konstruktion eingebrachte Wärme. Dunkle Fassaden erhitzen sich schneller und stärker als helle, wodurch etwa doppelt so viel Wärme in die Konstruktion eingebracht wird, wie Abbildung 152 zeigt. Während die Temperatur der Außenwandoberfläche wie in Abbildung 156 zeigt bei dunkler Fassadenfarbe 50°C beträgt, liegt die maximale Temperatur der Außenwandoberfläche bei heller Fassadenfarbe bei 42°C, also um 8°C tiefer.

Ebenso ist die Orientierung der Bauteile maßgeblich für die Energiedichte des Wandquerschnitts während einer Hitzeperiode. Südorientierte Fassaden erreichen ihre maximale Temperatur früher am Tag als westorientierte, was die zeitliche und energetische Intensität der Wärmeeinträge beeinflusst. (9.4.3.2.) Der Einfluss auf die maximale Temperatur mit 2°C gering (siehe Abbildung 159),

allerdings ist die, je nach Orientierung zeitliche Verschiebung der Wärme Einträge, relevant für das Raumtemperaturverhalten.

Der Einfluss der Verschattung auf die Oberflächentemperaturen ist zwar hinreichend untersucht und bekannt, darf im Rahmen dieser Studie dennoch nicht fehlen. Wie in Abbildung 160 gezeigt beträgt der Temperaturunterschied zwischen Verschattet und nicht Verschattet bis zu 15°C. Insbesondere in Hinblick auf die zu erwartenden Klimaentwicklungen gilt es zu klären, ob und wie ein Verzicht auf aktive Kühlung realisiert werden kann. Der effektive Einsatz von Verschattung kann die Oberflächentemperatur einer Fassade stark senken und das Hitze Maximum zeitlich verschieben. Außenliegende Verschattungen sind hierbei besonders wirksam (9.4.3.3).

In Anbetracht thermischer Sanierungsmaßnahmen zur Reduktion der mit Heizenergie verbundenen Emissionen wurde der Einfluss von Wärmedämmung auf die Hitzetauglichkeit von Gebäuden untersucht, wobei auch die Lage der Dämmebene (außen/innen) betrachtet wurde, sowie auch der Einfluss der Dämmdicke. Ergebnisse dazu ab 9.4.3.4 bis 9.4.3.11.

Hinsichtlich des Einflusses von Wärmedämmverbundsystemen ist festzuhalten, dass bei niedrigen Außenlufttemperaturen zeigt das ungedämmte Bestandsmauerwerk erwartungsgemäß auf Grund der höheren Transmissionswärmeverluste höhere Temperaturen an der äußeren Oberfläche, welche um 3:00 morgens, bei etwa 14 °C liegen. Das applizierte Wärmedämmverbundsystem zeigt zur selben Zeit um 3 °C tiefere Oberflächentemperaturen. Um 15:00, zum Zeitpunkt des Maximums der Oberflächentemperaturen an der Außenwandoberfläche entsprechen diese, mit 18 °C jener des ungedämmten Bestands. Fallen aber bei den Varianten mit WDVS rascher wieder ab (Abbildung 162).

Der Einfluss auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur zeigt Abbildung 163. Unabhängig vom Material der Dämmung zeigt sich, dass die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur im Verlauf einer heißen Woche, im Vergleich zur ungedämmten Wand, welche Maximalwerte von 26 °C aufweist, mit Maximalwerten von etwa 29 °C deutlich höher liegt, was auf die durch die Dämmung reduzierte Wärmeabgabe zurückzuführen ist.

Der Einfluss einer Außendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen ist mit 1,5°C Erhöhung gegenüber dem ungedämmten Bestand moderat, wie Abbildung 164 zeigt. Gleiches gilt für die Applikation einer Innendämmung, wie Abbildung 165 zeigt. Die Dicke der applizierten Dämmung spielt mit 0,2-0,8°C einen geringen Einfluss. Ob die Applikation einer Wärmedämmung auf der Außen- oder Innenseite hinsichtlich der Vermeidung

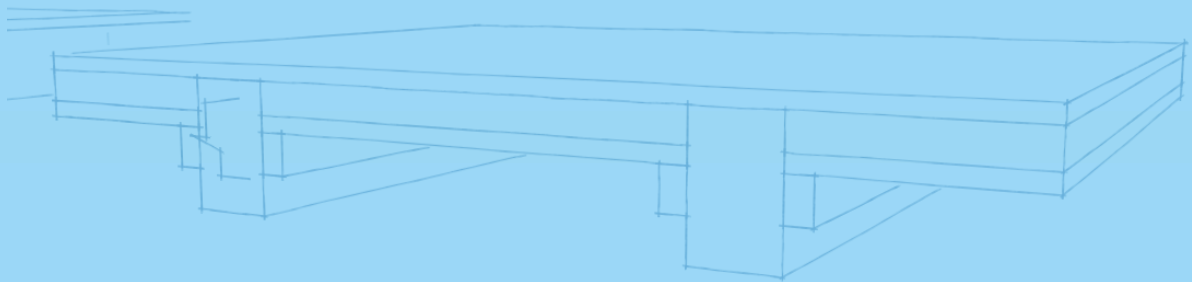
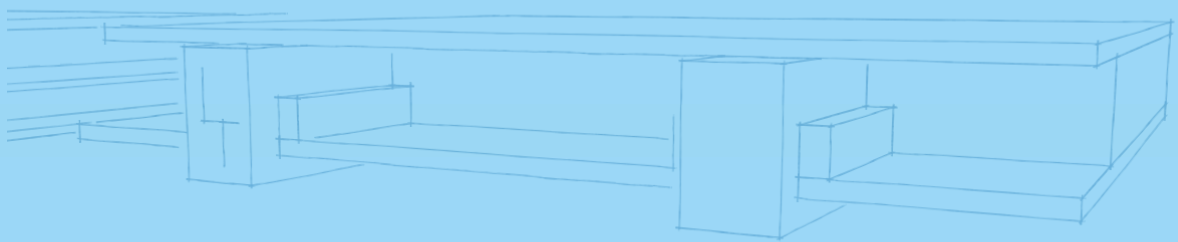
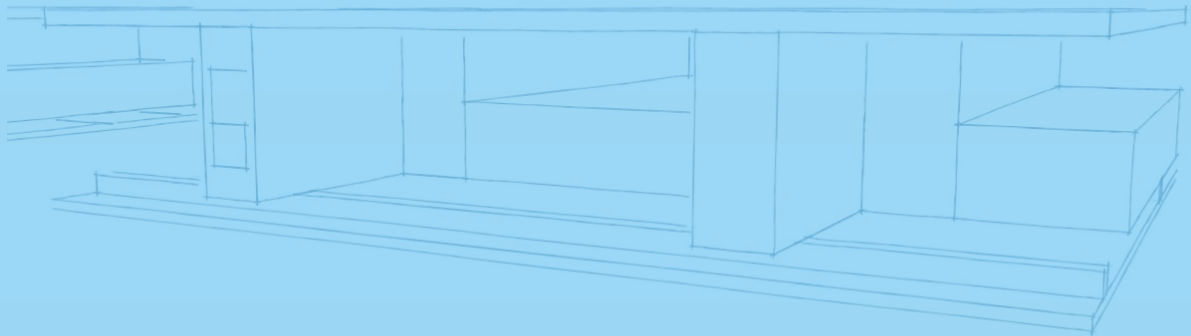
sommerlicher Überwärmung effizienter ist, ist abhängig vom Temperaturniveau (Abbildung 168) und dem Lüftungsverhalten. Der Unterschied auf die gemittelte Wandtemperatur beträgt immerhin 6°C abhängig von der Lage.

Welche Auswirkungen diese konstruktiven Maßnahmen auf den Energiebedarf des Gebäudes haben wird in Kapitel 9.4.4 anhand einer Vielzahl von Varianten mittels Energieausweisberechnungen untersucht. Der berechnete Kühlbedarf als Bewertungshilfe zur Vermeidung Sommerlicher Überwärmung liegt bei V16 (Thermische Sanierung der Fenster + Außendämmung + Sonnenschutz außen) bei optimaler Verschattung bei 0kWh/m<sup>2</sup>a bei einer Raumzieltemperatur von 30°C während dieser bei einer Raumzieltemperatur von 26°C und händischer Verschattung bei 10,2kWh/m<sup>2</sup>a.

Wie sich die einzelnen Maßnahmen auf den thermischen Komfort im Sommer auswirken, wird umfassenden in Kapitel 9.4.5 untersucht und dargestellt. Erhöhte Nachtlüftung verbessert den thermischen Komfort deutlich, da sie die Wärmeabgabe über Innenwandoberflächen steigert. Sonnenschutzmaßnahmen zeigen, dass außenliegende Systeme deutlich effektiver sind als innenliegende – mit Temperaturreduktionen von bis zu 6,8°C. Thermische Sanierung, wie beispielsweise bessere Fenster oder Innendämmung, erhöht den Komfort, kann aber je nach Maßnahme auch zu mehr gespeicherter Wärme im Raum führen. Einfluss der Verglasung Die Art der Verglasung beeinflusst den sommerlichen Komfort in einem Temperaturbereich von etwa 2°C, ist damit relevant, aber weniger ausschlaggebend als der Anteil der verglasten Fläche (9.4.5.9). Ein hoher Fensteranteil erhöht die Überwärmungsgefahr deutlich, besonders in gut gedämmten Neubauten oder Holzbauweisen. Der Einsatz außenliegenden Sonnenschutzes kann diese Effekte jedoch mildern (9.4.5.10).

### 11.3 Fazit

Werden die hier gewonnenen Erkenntnisse, welche sowohl auf bauliche-konstruktive Aspekte abzielen wie auch auf ein sorgfältiges und bewusstes Wohnverhalten im Sommer berücksichtigt und auf die zu projektierenden Sanierungen und Neubauten angewendet, so kann auch ohne aktive Kühlmaßnahmen 2050 ein adäquater Komfort in Wohngebäuden realisiert werden.



## 12 Abbildungen

Abbildung 1 Sommerliche Überwärmung, Monitoringdaten August 2022.....	12
Abbildung 2 Empfundene Temperatur, relative Feuchte und Anteil Unzufriedener (PPD), Zeitraum 12.7. bis 24.7., Modellraum „SW02“ (1 Fenster), Sanierung Enerphit V5.....	13
Abbildung 3 Entwicklung Sommer- & Hitzetage.....	15
Abbildung 4 Entwicklung Hitzewellentage in Wien.....	16
Abbildung 5 Entwicklung von Mittelwert und Maximum für Lufttemperaturen im Juli in Wien, Rohdaten, eigene Auswertung.....	16
Abbildung 6 Anfälligkeit für städtische Hitze, Urban Heat Vulnerability Index, Rohdaten, eigene Darstellung.....	19
Abbildung 7 Temperaturunterschied, absolutes Maximum der Lufttemperatur, Innen- und Außenbezirke, Wien, Juli 2019, Rohdaten, eigene Auswertung.....	19
Abbildung 8 Temperaturunterschied, mittleres Maximum der Lufttemperatur, Innen- und Außenbezirke, Wien, Juli 2019, Rohdaten, eigene Auswertung.....	19
Abbildung 9 Temperaturunterschied, mittleres Minimum der Lufttemperatur, Innen- und Außenbezirke, Wien, Juli 2019, Rohdaten, eigene Auswertung.....	19
Abbildung 10 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2007.....	20
Abbildung 11 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2013.....	21
Abbildung 12 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2015.....	22
Abbildung 13 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2017.....	23
Abbildung 14 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2019.....	24
Abbildung 15 Auswertung Tageshöchsttemperaturen, Wien - Innere Stadt, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2021.....	25
Abbildung 16 Temperaturverlauf halbsynthetischer Klimadatenatz HSKD <sub>Wien</sub> .....	25
Abbildung 17 Vergleichende Darstellung Temperaturverlauf 3 repräsentativer Klimadatenätze für Wien (HSKD Wien, Realklima 2007, RCP85), für vergleichende Simulationsrechnungen gewählter Bereich Zeitbereich, grob.....	26
Abbildung 18 Vergleichende Darstellung Temperaturverlauf 3 repräsentativer Klimadatenätze für Wien (HSKD Wien, Realklima 2007, RCP85), für vergleichende Simulationsrechnungen gewählter Bereich Zeitbereich, detailliert.....	27
Abbildung 19 Vergleichende Darstellung Temperaturverlauf 3 repräsentativer Klimadatenätze für Wien (HSKD Wien, Realklima 2007, RCP85), für vergleichende Simulationsrechnungen gewählter Bereich Zeitbereich, heiße Woche.....	27
Abbildung 20 Klimadatenanalyse, Temperaturen als Punktwolke nach Monaten.....	28
Abbildung 21 Klimadatenanalyse, Temperaturen als Flächendiagramme nach Monaten.....	28
Abbildung 22 Qualitative Klimadatenanalyse für ausgewählte Monate, HSKD <sub>Wien</sub> Juli.....	29
Abbildung 23 Qualitative Klimadatenanalyse für ausgewählte Monate, RCP85 <sub>Wien</sub> Juli.....	29
Abbildung 24 Histogramm, Temperatur im Jahresverlauf für halbsynthetischen Klimadatenatz HSKD <sub>Wien</sub> .....	29
Abbildung 25 Histogramm, Temperaturverteilung für ausgewählte Klimaszenarien, Wien im Juli.....	30
Abbildung 26 Histogramm, Temperaturverteilung für ausgewählte Klimaszenarien, Wien im August.....	30

Abbildung 27 Temperaturen für ausgewählte Klimadatensätze, Wien Juli und August.....	31
Abbildung 28 Außenlufttemperaturen für ausgewählte Klimadatensätze im Jahresverlauf, Wien .....	32
Abbildung 29 (fortgeführt) Außenlufttemperaturen für ausgewählte Klimadatensätze im Jahresverlauf, Wien.....	33
Abbildung 30 Kühllast als Beurteilungshilfe für die Hitzetauglichkeit in Abhängigkeit ausgewählter Maßnahmen zur Beurteilung der Hitzetauglichkeit von Gebäuden.....	35
Abbildung 31 Vergleich gebäudebezogener Energiekennzahlen HWB in kWh/m <sup>2</sup> a, HEB in kWh/m <sup>2</sup> a, EEB in kWh/m <sup>2</sup> a, KB* in kWh/m <sup>3</sup> a, Kühlbedarf gesamt in kWh/a, Kühlbedarf spezifisch in kWh/m <sup>2</sup> a, äquivalente Kohlendioxidemissionen gesamt in [kg/a] und spezifisch in [kg/m <sup>2</sup> a], Wärme kWh/m <sup>2</sup> a und Strom in kWh/m <sup>2</sup> a sowie die summierten spezifischen Energiekosten €/m <sup>2</sup> für die Varianten VA, VB, VC, VD, VDog, VE, VF, VA2 und VA3 .....	36
Abbildung 32 Vergleich gebäudebezogener Energiekennzahlen HWB in kWh/m <sup>2</sup> a, HEB in kWh/m <sup>2</sup> a, EEB in kWh/m <sup>2</sup> a, KB* in kWh/m <sup>3</sup> a, Kühlbedarf gesamt in kWh/a, Kühlbedarf spezifisch in kWh/m <sup>2</sup> a, äquivalente Kohlendioxidemissionen gesamt in [kg/a] und spezifisch in [kg/m <sup>2</sup> a], Wärme kWh/m <sup>2</sup> a und Strom in kWh/m <sup>2</sup> a sowie die summierten spezifischen Energiekosten €/m <sup>2</sup> für die Varianten VA, und VG bis VX, sowie die ergänzten Varianten VUoi bis VRog.....	39
Abbildung 33 Vergleich Kapitalwert, Finanzierungskosten, betriebs- und verbrauchsgebundene Zahlungen sowie CO <sub>2</sub> -Folgekosten für die Varianten VG, VH, VI, VJ, VJoi. VK und Differenzen zur Referenzvariante VA .....	41
Abbildung 34 Vgl. Standards Energieeffizienz am Baudenkmal, Bewertung von Maßnahmen..	44
Abbildung 35 Programmpaket Therakles.....	69
Abbildung 36 Programmpaket IDA ICE (Quelle: <a href="https://equa.se/de/ida-ice">https://equa.se/de/ida-ice</a> ) .....	70
Abbildung 37 Programmpaket Delphin ( <a href="https://bauklimatik-dresden.de/">https://bauklimatik-dresden.de/</a> ).....	71
Abbildung 38 Einteilung der Klassen nach EN 17037, Tabelle 5.....	89
Abbildung 39 Empfehlungen für die Tageslichtversorgung durch Tageslichtöffnungen .....	90
Abbildung 40 Beispiele für Auslegungsbeleuchtungsniveaus .....	90
Abbildung 41 Vorgeschlagene Schwellenwerte für den Blendungsschutz .....	90
Abbildung 42 Schalleistung pro Person .....	93
Abbildung 43 Beurteilungswert der CO <sub>2</sub> -Konzentration .....	97
Abbildung 44 Anforderungen an natürlich belüftete Gebäude in Hinblick auf CO <sub>2</sub> -Konzentration nach BMLFUW .....	97
Abbildung 45 Klassifizierung der Raumluftqualität nach ÖNorm EN 13779.....	97
Abbildung 46 Tabelle 5.12 Vergleich der Richtwerte für die CO <sub>2</sub> -Konzentration in einem Raum.98	98
Abbildung 47 X, Lufttemperatur in °C, Y Luftgeschwindigkeit in m/s, a Turbulenzgrad, DR=Zugluftrisiko, Bild NA.2 Zulässige mittlere Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone (DR = 15 %) .....	99
Abbildung 48 Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur .....	99
Abbildung 49 Bild A.2 Für den Ausgleich erhöhter Temperaturen erforderliche Luftgeschwindigkeit EN ISO 7730 .....	100
Abbildung 50 Tabelle B.3 – Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeit, Tabelle B.3 in 16798.....	100
Abbildung 51 Tabelle 8, Bewertungswerte Stufe 1, VDI 6022 .....	100
Abbildung 52 Tabelle I.1 Klassifizierung auf der Grundlage von Kriterien der Energieberechnungen.....	104

Abbildung 53 Beispiel für Klassifizierung des thermischen Raumklimas und der Raumluftqualität/Lüftung. Die Verteilung über die verschiedenen Kategorien wird nach Grundfläche der verschiedenen Räume im Gebäude gewichtet ..... 104

Abbildung 54 Grundlegende erforderliche Lüftungsraten für die Abschwächung von Emissionen von Personen ..... 107

Abbildung 55 Lüftungsraten in Abhängigkeit von Gebäudeschadstoffemissionsklassen und Luftqualitätskategorien ..... 107

Abbildung 56 Beispiele für empfohlene Lüftungsraten für drei Kategorien der Verunreinigung durch das Gebäude selbst. Die Raten sind je Person oder je m<sup>2</sup> Grundfläche angegeben, Tabelle B.3 ..... 107

Abbildung 57 Beispiele für empfohlene CO<sub>2</sub>-Konzentrationen oberhalb der Konzentration in der Außenluft für Energieberechnungen und Bedarfsregelung, Tabelle B.4 ..... 108

Abbildung 58 Einfluss der Nachtlüftung auf das Maximum der empfundenen Temperatur in Abhängigkeit der Lüftung am Standort Wien, grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster), jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „außen“. Innendämmsysteme „ID00“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten, insgesamt Ergebnis von 1440 Varianten dargestellt)..... 110

Abbildung 59 Einfluss der Verschattung auf das Maximum der empfundenen Temperatur für Wien, in grau-rosa Modellraum „SW03“ (2 Fenster), in schwarz-blau Modellraum „SW02“ (1 Fenster) jeweils mit Verschattung „ohne“, „innen“ und „außen“. Innendämmsysteme „ID01“ bis „ID09“, Fenster „alt“ und „neu“ sowie Geschoss „EG“, „OG1/OG2“, „OG3“ und „OG4“ zusammengefasst (jeder Boxplot enthält damit 80 Varianten). ..... 111

Abbildung 60 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke, Prozente auf ganze Zahlen gerundet..... 112

Abbildung 61 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte, Prozente auf ganze Zahlen gerundet ..... 113

Abbildung 62 Beurteilungswerte Stufe 1 für CO<sub>2</sub>-Konzentration nach VDI 6022 Blatt 3, Tabelle 8 ..... 116

Abbildung 63 Auswertung Temperaturverlauf, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Auswertung Hitzewellentage, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09. .... 116

Abbildung 64 Auswertung Leuchtdichte, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09..... 117

Abbildung 65 Auswertung Beleuchtungsstärke, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09..... 117

Abbildung 66 Auswertung Luftgeschwindigkeit, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09..... 117

Abbildung 67 Auswertung CO<sub>2</sub>-Konzentration, Sommer-Komfort-Monitoring - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09..... 117

Abbildung 68 Auswertung Temperatur - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09..... 117

Abbildung 69 Auswertung Globetemperatur - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09. .... 117

Abbildung 70 Auswertung Relative Luftfeuchte - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09..... 118

Abbildung 71 Auswertung Lärmpegel - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09. .... 118

Abbildung 72 Auswertung Lärmpegel pro Minute - Wien, Sommer 2022, 22.07. bis 08.09. .... 118

Abbildung 73 Raumklima-Monitoring - Verlauf Außenlufttemperatur und operative Raumtemperatur. Messsystem UMIDUS ..... 119

Abbildung 74 Raumklima-Monitoring - Verlauf Außenluftfeuchtigkeit und Innenraumluftfeuchtigkeit, Messsystem UMIDUS .....	119
Abbildung 75 Außenlufttemperatur und operative Raumtemperatur mit Hinweisen zum Lüftungs- und Verschattungsverhalten.....	120
Abbildung 76 Gegenüberstellung Leuchtdichte und Temperatur .....	121
Abbildung 77 Gegenüberstellung Leuchtdichte und Luftgeschwindigkeit zur Identifikation von Nachtlüftung .....	122
Abbildung 78 Gegenüberstellung Luftgeschwindigkeit und Lärmpegel.....	122
Abbildung 79 Gegenüberstellung Luftgeschwindigkeit und Temperatur.....	123
Abbildung 80 Gegenüberstellung Lärmpegel und Temperatur.....	123
Abbildung 81 Gegenüberstellung Luftgeschwindigkeit und Luftqualität .....	124
Abbildung 82 Auswertung Monitoringdaten – Lärmbelastung, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau .....	125
Abbildung 83 Auswertung Monitoringdaten – operative Temperatur, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau .....	125
Abbildung 84 Auswertung Monitoringdaten – Beleuchtungsstärke, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau .....	125
Abbildung 85 Auswertung Monitoringdaten – CO <sub>2</sub> -Konzentration, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau .....	125
Abbildung 86 Auswertung Monitoringdaten – Luftgeschwindigkeit, nur Nutzungszeit ausgewertet .....	125
Abbildung 87 Auswertung Monitoringdaten – PMV, nur Nutzungszeit ausgewertet, inkl. gleitender Mittelwert in blau .....	125
Abbildung 88 Bewertung Sommer-Komfort-Monitoring Woche 1, im Gründerzeithaus in 1090 Wien .....	126
Abbildung 89 Kategorien für Bewertung.....	127
Abbildung 90 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach Tempmax "stark erhöht" .....	128
Abbildung 91 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach sehr hoher und extrem hoher Lärmbelastung .....	128
Abbildung 92 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach der schlechtesten sich einstellenden Raumluftqualität (hier ‚mittel‘ mit 1000 bis 1500 ppm CO <sub>2</sub> )..	129
Abbildung 93 bewertete Messergebnisse Sommer-Komfort-Monitoring gefiltert nach sehr hoher Tageslichtqualität .....	130
Abbildung 94 Temperaturverteilung auf Gebäudefassaden, an heißem Sommertag, gemessen mittels Thermografie-Kamera im Sommer, Temperaturverteilung und Häufigkeit .....	132
Abbildung 95 Temperaturverteilung auf Gebäudefassaden an heißem Sommertag, gemessen mittels Thermografie-Kamera im Sommer, Temperaturverteilung (inhaltlich ident mit Darstellung zuvor) .....	132
Abbildung 96 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade an heißem Sommertag, Bereich links - mit Fassadenbegrünung, Ottakringer Straße, 16. Bezirk.....	133
Abbildung 97 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade an heißem Sommertag, Bereich rechts - Wärmedämmverbundsystem mit Balkonen, Ottakringer Straße, 16. Bezirk.....	133
Abbildung 98 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade an heißem Sommertag, mit Fassadenbegrünung links und Wärmedämmverbundsystem mit Balkonen rechts, Ottakringer Straße, 16. Bezirk.....	134
Abbildung 99 Analyse Oberflächentemperaturen Fassade Bestandsgebäude an heißem Sommertag, ohne Wärmedämmung und ohne Fassadenbegrünung und ohne Balkone, Wohnhaus Dornerplatz, 17. Bezirk .....	134

Abbildung 100 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Spielplatz, Dornerplatz, 17. Bezirk.....	135
Abbildung 101 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Pflasterung in öffentlichem Park, Dornerplatz, 17. Bezirk.....	135
Abbildung 102 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Pflasterung in öffentlichem Park, Dornerplatz, 17. Bezirk.....	136
Abbildung 103 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - vormittags, Fußgängerbereich, Alserbachstraße, 9. Bezirk .....	136
Abbildung 104 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - mittags, Fußgängerbereich, Alserbachstraße, 9. Bezirk .....	137
Abbildung 105 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - mittags, städtischer Raum, Alserbachstraße, 9. Bezirk.....	137
Abbildung 106 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - vormittags, Straßenraum, Alserbachstraße, 9. Bezirk.....	138
Abbildung 107 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag - mittags, Straßenraum, Alserbachstraße, 9. Bezirk.....	138
Abbildung 108 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Neubau WDVS, Straße, besonnte Fassade, Siemensstraße 21. Bezirk .....	139
Abbildung 109 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnte und verschattete Fassade, Hirschstetten 22. Bezirk .....	139
Abbildung 110 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade mit durchlaufenden auskragenden Balkonen, Hirschstetten 22. Bezirk.....	140
Abbildung 111 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Gehweg in Wohnhausanlage mit Bäumen, Hirschstetten 22. Bezirk .....	140
Abbildung 112 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Gehweg in Wohnhausanlage mit Bäumen, Material und Beschattung, Hirschstetten 22. Bezirk.....	141
Abbildung 113 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade durch Nachbarbebauung baulich verschattet, Hirschstetten 22. Bezirk.....	141
Abbildung 114 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade durch Bäume verschattet, Hirschstetten 22. Bezirk .....	142
Abbildung 115 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade noch verschattet, Hirschstetten 22. Bezirk .....	142
Abbildung 116 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, Fassade besonnt, Farbanalyse, Hirschstetten 22. Bezirk .....	143
Abbildung 117 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse, Hirschstetten 22. Bezirk .....	143
Abbildung 118 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse, Realbild und Wärmebild, Hirschstetten 22. Bezirk .....	144
Abbildung 119 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse detailliert, Hirschstetten 22. Bezirk.....	144
Abbildung 120 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse detailliert.....	145
Abbildung 121 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Farbanalyse detailliert, Hirschstetten 22. Bezirk.....	145
Abbildung 122 Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Bäume teilverschattet, durch auskragende Balkone teilverschattet, Hirschstetten 22. Bezirk .....	146
Abbildung 123 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Bäume teilverschattet, durch auskragende Balkone teilverschattet, Hirschstetten 22. Bezirk .....	146

Abbildung 124 Oberflächentemperaturen auf Fassade eines Wiener Gründerzeitgebäudes, Gregor-Mendel-Straße 18. Bezirk.....	147
Abbildung 125 Oberflächentemperaturen auf der Fassade eines 60er, 70er Jahre Gebäudes, unverschattet, Gregor-Mendel-Straße 18. Bezirk .....	147
Abbildung 126 Oberflächentemperaturen auf der Fassade eines Wiener Gründerzeitgebäudes, teilweise durch Baum verschattet, Peter-Jordan-Straße 18. Bezirk.....	148
Abbildung 127 Oberflächentemperaturen auf der Fassade eines Wiener Gründerzeitgebäudes, teilweise Balkone, teilweise Dachüberstand, Peter-Jordan-Straße 18. Bezirk.....	148
Abbildung 128 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Dachüberstand teilverschattet, durch auskragenden Balkon teilverschattet, durch Bäume teilverschattet, Peter-Jordan-Straße 18. Bezirk.....	149
Abbildung 129 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Neubau, Sternwartestraße 18. Bezirk.....	149
Abbildung 130 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Sternwartestraße 18. Bezirk.....	150
Abbildung 131 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Sternwartestraße 18. Bezirk.....	150
Abbildung 132 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, durch Balkon teilverschattet, Sternwartestraße 18. Bezirk.....	151
Abbildung 133 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Vergleich von zwei Gebäudefassaden, Sternwartestraße 18. Bezirk.....	151
Abbildung 134 Analyse Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Vergleich von zwei Gebäudefassaden, Detail, Sternwartestraße 18. Bezirk.....	152
Abbildung 135 Analyse raumseitiger Oberflächentemperaturen an heißem Sommertag, besonnt, Bereich Fenster (2 Scheiben-Isolierverglasung), Stahlbeton außen wärmegeklämmt .....	152
Abbildung 136 Auswertung Tmax nach Sets und Strategien .....	158
Abbildung 137 Auswertung Maximaltemperatur nach Profilen und Strategien .....	159
Abbildung 138 Bewertung Maximaltemperatur nach Profilen.....	160
Abbildung 139 Auswertung $h > 27\text{ °C}$ nach Sets und Strategien.....	161
Abbildung 140 Auswertung $h > 27\text{ °C}$ nach Profilen .....	162
Abbildung 141 Auswertung Komfortklassen nach Sets und Strategien für Vollzeit.....	163
Abbildung 142 Auswertung Komfortklasse I nach Profilen .....	164
Abbildung 143 Auswertung Komfortklasse IV nach Profilen .....	164
Abbildung 144 Auswertung maximale CO <sub>2</sub> -Konzentration nach Sets und Strategien .....	165
Abbildung 145 Auswertung maximale CO <sub>2</sub> -Konzentration nach Profilen.....	166
Abbildung 146 Auswertung Tageslicht nach Strategien .....	167
Abbildung 147 Auswertung Tageslicht nach Profilen .....	167
Abbildung 148 Außenlärmpegel als Einflussgröße für die Bewertung der Lärmbelastung, <a href="https://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_22_24h#">https://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_22_24h#</a> , abgerufen am 19.07.2023, 21:41 ..	168
Abbildung 149 Bewertung Lärmbelastung durch auf die Gesamtarbeitszeitbezogene Dauer der Lärmbelastung, geöffnete Oberlichtflügel mit Faktor 0,75 berücksichtigt, dargestellt für Außenlärmpegelstufe A, B und C nach ÖNorm B 8115-2.....	169
Abbildung 150 Festgelegte Bewertungsgrenzen für die Beurteilung der Lärmbelastung. ....	169
Abbildung 151 Berücksichtigung des Außenlärmpegels für die Schalltechnische Bewertung der Lärmbelastung, es ist für Außenlärmklasse D der Faktor 1.25, für Klasse E der Faktor 1.5, für Klasse F der Faktor 1.75, für Klasse G der Faktor 2.0 und für Klasse H der Faktor 2.25.....	169
Abbildung 152 Temperaturverteilung bei dunkler (links) und heller (rechts) Oberfläche des Bestandsmauerwerks, links jeweils Außenoberfläche, rechts jeweils Innenwandoberfläche, Schrittweite in Tage, jeweils 24:00, innerhalb einer Woche.....	171

Abbildung 153 Kurzwellige Strahlungsaufnahme der Fassade .....	173
Abbildung 154 Globale Strahlungsbilanz der Fassade .....	173
Abbildung 155 Langwellige Abstrahlung der Fassade .....	173
Abbildung 156 Temperatur an der Außenwandoberfläche.....	173
Abbildung 157 Im Wandquerschnitt gemittelte Temperatur.....	173
Abbildung 158 Im Wandquerschnitt vorhandene Energiedichte .....	173
Abbildung 159 Oberflächentemperatur am 10.August, bei dunkler Außenoberfläche, nach Orientierung West, Süd.....	174
Abbildung 160 Einfluss der Verschattung auf die Oberflächentemperaturen der Fassade, dunkel, süd.....	175
Abbildung 161 Einfluss der Verschattung auf die Oberflächentemperaturen der Fassade, hell, süd .....	176
Abbildung 162 Einfluss WDVS auf Außenwand-Oberflächentemperatur.....	177
Abbildung 163 Einfluss einer Außendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Wandtemperatur .....	178
Abbildung 164 Einfluss einer Außendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen .....	179
Abbildung 165 Einfluss einer Innendämmung auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen .....	180
Abbildung 166 Einfluss der Dicke der Innendämmung auf die Außenseitige Oberflächentemperatur.....	181
Abbildung 167 Einfluss der Dicke der Innendämmung auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur .....	182
Abbildung 168 Einfluss der Lage der Dämmung auf die außenseitige Oberflächentemperatur.....	183
Abbildung 169 Einfluss der Lage der Dämmung auf die gemittelte Wandtemperatur.....	184
Abbildung 170 Einfluss des Außenklimas auf die außenseitige Oberflächentemperatur .....	185
Abbildung 171 Einfluss des Außenklimas auf die raumseitige Oberflächentemperatur .....	186
Abbildung 172 Einfluss des Außenklimas auf die über den gesamten Wandquerschnitt gemittelte Temperatur.....	187
Abbildung 173 Klimaszenario.....	188
Abbildung 174 Klimaszenario.....	188
Abbildung 175 Realklima Wien 2007 .....	189
Abbildung 176 Klimaszenario.....	189
Abbildung 177 Vergleichende Darstellung Außenlufttemperatur Klimadatensätze im Betrachtungszeitraum .....	190
Abbildung 178 Analyse Temperaturverteilung und Maximaltemperaturen für Klimadaten verschiedener Szenarien.....	190
Abbildung 179 Klimadatensatz 2007, 35,2 °C, 2383 h .....	193
Abbildung 180 Klimadatensatz 2007+1,5 °C, M1, tmax, 36,6 °C, 4056 h .....	194
Abbildung 181 Klimadatensatz 2007+3,0 °C, 38,1 °C, 6504 h .....	194
Abbildung 182 Klimadatensatz A1B2100, 37,2 °C, 5176 h .....	194
Abbildung 183 Klimadatensatz RCP 4,5, 36,8 °C, 6207 h .....	194
Abbildung 184 Klimadatensatz RCP 8,5, 40,3 °C, 8275 h .....	195
Abbildung 185 RCP 8,5 mit Vordach/Loggia, 37,5 °C, 5547h .....	195
Abbildung 186 RCP 8,5 Jalousien außen, Öffnungswinkel 45 °, 35,3 °C, 3807 h.....	195
Abbildung 187 Tabelle 17, ÖNorm B 8110:6 Parameter $a_{m,s,c}$ zur Bewertung der Aktivierung von Sonnenschutzeinrichtungen .....	197
Abbildung 188 Einfluss Lage des Sonnenschutzes auf den Kühlbedarf .....	197
Abbildung 189 Einfluss 2-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf .....	198

Abbildung 190 Einfluss 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf .....	199
Abbildung 191 Einfluss Innendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf	200
Abbildung 192 Einfluss Außendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf .....	201
Abbildung 193 Einfluss Außendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung auf den Kühlbedarf bei etwas höherem Luftwechsel.....	202
Abbildung 194 Einfluss der Zielkühltemperatur auf den Kühlbedarf, Außendämmung + 3-Scheiben-Isolier-Verglasung, bei Luftwechsel 0,38.....	203
Abbildung 195 M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Transmissionswärmestrom Fenster, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38, Klimadatensatz Wien 2007 ..	204
Abbildung 196 M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Transmissionswärmestrom Fenster, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38, Klimadatensatz Wien 2007 ..	204
Abbildung 197 M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Transmissionswärmestrom Fenster, Gesamtwärmestrom über Wandaußenflächen, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38, Klimadatensatz Wien 2007, .....	205
Abbildung 198 M1 Bestand, südwestorientiert, Strahlungswärmestrom Fenster, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38, Klimadatensatz Wien 2007, .....	205
Abbildung 199 M1 Bestand, südwestorientiert, thermischer Komfort, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38.....	206
Abbildung 200 M1 Bestand, südwestorientiert, Wärmebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38.....	206
Abbildung 201 M1 Bestand, südwestorientiert, Operative Temperatur, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38.....	207
Abbildung 202 M1 Bestand, südwestorientiert, Wärmebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung mit erhöhtem Luftwechsel .....	207
Abbildung 203 M1 Bestand, südwestorientiert, Operative Temperatur, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung mit erhöhtem Luftwechsel .....	207
Abbildung 204 M1 Bestand, südwestorientiert, thermischer Komfort, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38; $T_{\text{max}}$ 35,2 °C; Stunden über 26 °C 2383.....	208
Abbildung 205 M1 Bestand, südwestorientiert, Operative Temperatur, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung mit aktiver Kühlung .....	208
Abbildung 206 M1 Bestand, südwestorientiert, thermischer Komfort, Klimadatensatz Wien 2007, mit aktiver Kühlung $T_{\text{max}}$ 26,2 °C.....	208
Abbildung 207 M1 Bestand, südwestorientiert, Wärmebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38; mit aktiver Kühlung .....	209
Abbildung 208 M1 Bestand, südwestorientiert, monatliche Energiebilanz, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38; mit aktiver Kühlung .....	209
Abbildung 209 M1 Bestand, südwestorientiert, Jahresenergiebedarf, spezifische Heiz- und Kühllast, Klimadatensatz Wien 2007, Natürliche Lüftung $n_{\text{hyg}}$ 0,38; mit aktiver Kühlung .....	210
Abbildung 210 Sommer-Komfort, Übertemperaturgradstunden, Komfortklassen und operative Maximaltemperatur ausgewählter Varianten .....	210
Abbildung 211 Zusammenstellung der in den Variantenstudien der Raumsimulation untersuchten Parameter.....	211
Abbildung 212 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, für ausgewählte Varianten, Klimadatensatz 2007, Modellraum M1 südwest-orientiert.....	212
Abbildung 213 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007 .....	212
Abbildung 214 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85 2050.....	213

Abbildung 215 V6, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007 .....	214
Abbildung 216 V6, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85 2050.....	214
Abbildung 217 V6, Ergebnisse Übertemperaturstunden, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz, Klimadatensatz 2007 .....	215
Abbildung 218 V6, Ergebnisse Übertemperaturstunden, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85.....	215
Abbildung 219 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007.....	216
Abbildung 220 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85 2050.....	216
Abbildung 221 V12, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007, Verglasungsarten .....	217
Abbildung 222 V12, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz RCP 85, Verglasungsarte .....	217
Abbildung 223 V12, Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer, Modellraum M1 südwest-orientiert, Klimadatensatz 2007, Verschattung/Behang.....	218
Abbildung 224 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer , Modellraum M1 südwest-orientiert, Außenliegende Verschattung, Glasflächenanteil, Gründerzeit, V12, Klimadatensatz 2007.....	220
Abbildung 225 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer , Modellraum M1 südwest-orientiert, Außenliegende Verschattung, Glasflächenanteil, Gründerzeit, Klimadatensatz RCP 85 .....	221
Abbildung 226 Ergebnisse zum Thermischen Komfort im Sommer , Modellraum M1 südwest-orientiert, Außenliegende Verschattung, Klimadatensatz 2007, Glasflächenanteil, V6 Neubau Holzbau .....	222
Abbildung 227 Gesamtbewertung thermischer und auditiver Komfort, sowie Tageslicht- und Raumluftqualität, nach Strategien .....	227
Abbildung 228 Gesamtbewertung thermischer und auditiver Komfort, sowie Tageslicht- und Raumluftqualität, nach Nutzungsprofilen .....	228
Abbildung 229 Bewertung, thermischer Komfort reduziert auf Kriterium $h > 27^{\circ}\text{C}$ , nach Strategien .....	229
Abbildung 230 Bewertung, thermischer Komfort reduziert auf Kriterium $h > 27^{\circ}\text{C}$ , nach Strategien, für Teilzeit bzw. geringe Anwesenheit.....	230
Abbildung 231 Bewertung für Strategie 4 – Teilzeit für thermischen Komfort, Raumluftqualität, Tageslichtqualität und Lärmbelastung .....	231
Abbildung 232 Bewertung für Strategie 5 – Teilzeit für thermischen Komfort, Raumluftqualität, Tageslichtqualität und Lärmbelastung .....	231
Abbildung 233 Auswahl mit Priorität thermischer Komfort $h > 27^{\circ}\text{C}$ „gering“ und „mittel“ für Vollzeit .....	232
Abbildung 234 Weitere Eingrenzung durch Auswahl mit Priorität Lärmbelastung „gering“ für Vollzeit .....	233
Abbildung 235 Auswahl mit Priorität thermischer Komfort $h > 27^{\circ}\text{C}$ „gering“ für Teilzeit und Vollzeit .....	234
Abbildung 236 Weitere Eingrenzung durch Auswahl mit Priorität Tageslichtqualität „sehr hoch“ .....	234
Abbildung 237 Auswahl mit Priorität Tageslichtqualität „sehr hoch“, für Teilzeit .....	235
Abbildung 238 Auswahl mit Priorität Lärmbelastung „gering“, für Vollzeit .....	236

Abbildung 239 Auswahl mit Priorität Raumlufthqualität „hoch“ .....	237
Abbildung 240 Profil G liegt vor .....	238
Abbildung 241 G1 Lärm gering .....	238
Abbildung 242 G4 Temperatur beste und raumlufthqualität möglichst hoch .....	238
Abbildung 243 G3 Raumlufthqualität und Tageslichtqualität möglichst hoch .....	239
Abbildung 244 Auswahl mit Priorität Tageslichtqualität „sehr hoch“, Teilzeit .....	239
Abbildung 245 Auswahl des Nutzungsprofils A und Betrachtung der verschiedenen Lüftungs- und Verschattungsstrategien in diesem Nutzungsprofil .....	240
Abbildung 246 Durch Wechsel von Strategie 2 (A2) auf Strategie 1 (A1) kann die Lärmbelastung etwas reduziert werden, allerdings mit einer leichten Verschlechterung der Raumlufthqualität ..	240
Abbildung 247 Analyse Temperaturverteilung und Maximaltemperaturen für Klimadaten verschiedener Szenarien.....	241
Abbildung 248 Auswirkung Klimaszenarien 2050, 2100, RCP4.5 und RCP8.5 am Beispiel Profil G - Vollzeit, bewertet anhand der Anzahl Stunden über 27 °C.....	242
Abbildung 249 Einfluss Klimaszenarien 2050, 2100, RCP4.5 und RCP8.5, bewertet am Beispiel Profil G - Vollzeit, bewertet anhand der Anzahl Stunden über 27 °C.....	242

## 13 Tabellen

Tabelle 1 Verfahren zur Langzeitbewertung des allgemeinen thermischen Komforts .....	85
Tabelle 2 Grenzwerte für thermische Behaglichkeit.....	86
Tabelle 3 Komfortbewertung - Auszug.....	103
Tabelle 4 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW02“ (1 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Geschoße .....	112
Tabelle 5 Einfluss der Verschattung auf Klassifikation, Modellraum „SW03“ (2 Fenster), zusammengefasst Innendämmsysteme, Nachtlüftung, Fenster, Stockwerke und Standorte ...	113

## 14 Literatur

### Normen und Richtlinien

#### DIN

- DIN 1946-6:2019 Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung Von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung. 2019.
- DIN 45645-2:2012 Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 2: 2012.

#### EN, DIN

- DIN EN 15251:2007 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik. (2007).
- DIN EN 15251:2012 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik. 2012.

#### EN, ÖNORM

- ÖNorm EN 12464-1:2011 Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. 2011.
- ÖNorm EN 12665:2018 Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung. 2018.
- ÖNorm EN 13032-1:2012 Licht und Beleuchtung - Messung und Darstellung Photometrischer Daten von Lampen und Leuchten - Teil 1: Messung und Datenformat. 2012.
- ÖNorm EN 13182:2002 Lüftung von Gebäuden - Gerätetechnische Anforderungen für Messungen der Luftgeschwindigkeit in belüfteten Räumen. 2002.
- ÖNorm EN 13779:2008 Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme. 2008.
- ÖNorm EN 14500:2021 Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren. 2021.
- ÖNorm EN 14501:2021 Abschlüsse - Thermischer und Visueller Komfort Leistungsanforderungen und Klassifizierung. 2021.

- ÖNorm EN 15242:2009 Lüftung von Gebäuden - Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration. 2009.
- ÖNorm EN 15251:2012 Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. 2007.
- ÖNorm EN 16798-1:2019 Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden Teil 1: Eingangsparmeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Modul M1-6. 2019.
- ÖNorm EN 17037:2019 Tageslicht in Gebäuden. 2019.

### ISO, DIN EN

- DIN EN ISO 7726:2001 Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen. 2002.
- DIN EN ISO 7730:2006 Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. 2006.

### ISO, ÖNORM EN

- ÖNorm EN ISO 7730:2006 Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. 2006.
- ÖNorm EN ISO 52016-1:2018 Energetische Bewertung von Gebäuden — Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie der Heiz- und Kühllast in einem Gebäude oder einer Gebäudezone Teil 1: Berechnungsverfahren. 2018.

### ISO/TS

- ISO/TS 15666:2021 Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. 2021.

### OIB

- OIB-Richtlinie 3:2019 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. 2019.
- OIB-Richtlinie 6:2019 Energieeinsparung und Wärmeschutz. 2019.

### ÖNORM

- ÖNorm B 8110-3:2012 Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. 2012.
- ÖNorm B 8110-3:2020 Wärmeschutz Im Hochbau Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall - (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung). 2020.
- ÖNorm B 8110-3:2020 Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung). 2020.

- ÖNorm B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. 2019.
- ÖNorm B 8115-2:2021 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau Teil 2: Methodik zur Ermittlung von Schallschutzniveaus. 2021.
- ÖNorm H 5058-1:2019 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Kühltechnikenergiebedarf. 2019.

### VDI

- VDI 2569:2019 Schallschutz Und Akustische Gestaltung in Büros. 2019.
- VDI 4300 Blatt 9:2005 Messen Von Innenraumluft-verunreinigungen - Messstrategie Für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). 2005.
- VDI 6022 Blatt 1:2011 Raumluftechnik, Raumlufqualität - Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln). 2011.
- VDI 6022 Blatt 1:2018 Raumluftechnik, Raumlufqualität Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln). 2018.
- VDI 6022 Blatt 1:2018 Raumluftechnik, Raumlufqualität Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen Und Geräte (VDI-Lüftungsregeln). 2018.
- VDI 6022 Blatt 3:2011 Raumluftechnik, Raumlufqualität Beurteilung der Raumlufqualität. 2011.

### Leitfäden und Berichte

- Bruck, M., S. Geissler, u. R. Lechner. TQ Leitfaden. Wien: Österreichisches Ökologie-Institut, (2021).
- Haselsteiner, E. Low Tech – High Effect! Eine Übersicht über Nachhaltige Low Tech Gebäude. (2017).
- Ipser, C., G. Radinger, M. Winkler, H. Flögl, u. S. Geissler. "Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung." (2015).
- Marton, V., J. Gerstmann, C. Kuh, u. G. Hofer. Leitfaden Sonnenschutzsysteme, Wien (2013).
- Schakib-Ekbatan, K. , T. Gropp, u. A. Wagner. Inka Instrument für Nutzerbefragungen zum Komfort, Karlsruhe (2011).
- Steiner, T., V. Huemer-Kals, R. Binting, u. B. Lipp. Leitfaden - Monitoring von Plusenergie-Gebäuden - Monitoring der Leitprojekte aus Hausderzukunft. IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH in Kooperation mit Österreichisches Ökologie-Institut, Wien (2015).
- Steiner, T., V. Huemer-Kals, C. Thurner, F. Heisinger, A. Galosi, and B. Lipp. Idsolutions - Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung im mehrgeschoßigen Gebäudebestand auf Ebene der Nutzungseinheit. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien (2016).  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/publikationen/schriftenreihe-2016-24-idsolutions.php>.
- Steiner, T., and B. Lipp. Leitfaden Monitoring Plusenergiegebäude Teil2 Messaufgabe, Messkonzept, Messtechnik, Messequipment. IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien (2015).
- WMO. State of the Global Climate 2021. (2022).

## Beiträge und Publikationen

- Bundeskanzleramt. Regierungsprogramm 2025 – 2029. Wien (2025).
- Die neue Volkspartei/Die Grünen-De Grüne Alternative. Regierungsprogramm 2020 – 2024. (2020)
- Fezer, Fritz. Das Klima Der Städte. Edited by Perthes [u.a.]. Gotha, (1995).
- Helbig, A., J. Baumüller, u. M.J. Kerschgens. Stadtklima Und Luftreinhaltung. Springer, (1999).
- Hupfer, W. Kuttler, Chmielewski F., u. H. Pethe. Witterung Und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. Edited by Vieweg+Teubner Verlag. Wiesbaden, 2005. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-322-96749-7>.
- "Lumos Maxima - Ein Leitfaden zur Anwendung der Norm EN 17037 - Tageslicht in Gebäuden." (2022).
- Magistrat der Stadt Wien. Raus aus Gas - Wiener Wärme und Kälte 2024. Magistratsabteilung 20 - Energieplanung der Stadt Wien. (2023).
- Magistrat der Stadt Wien. Wiener Klimafahrplan. Magistratsabteilung 20- Energieplanung der Stadt Wien. (2022).
- Meis, M., und K. Klink. "Schall- Und Lärmwirkung - Grundlagen des Hörens, Schallwirkungen und Maßnahmen im Büroumfeld." (2020).  
<https://www.yumpu.com/de/document/read/44894835/schall-und-larmwirkung-11-im-buero-forum-des-bso>.
- Munoz-Czerny, U. "Nutzerkomfort durch Low-Tech Konzepte in Gebäuden." (2022).
- Schick, A. Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung, Berlin. (2017).
- Schirmer, W. Kuttler, J. Löbel, und K. Weber. Lufthygiene Und Klima - Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Edited by Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN Springer-Verlag Berlin. Berlin, (1993).
- Settembrini, G. Climabau – Planen angesichts des Klimawandels. Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten bis ins Jahr 2100. Bundesamt für Energie BFE Forschung und Entwicklung, Bern. (2017).
- Stadt Wien, Wiener Hitze Ratgeber, Rathaus, Wien (o. J.)
- Stadt Wien – Bereichsleitung für Klimaangelegenheiten. Wiener Hitzeaktionsplan: für ein cooles Wien der Zukunft. (2025).
- Steiner, T. "Innendämmung - Einfluss von Innendämmung auf das Temperaturverhalten von Räumen und Untersuchungen zur Anwendungssicherheit von Innendämmsystemen in Abhängigkeit des Innenraumklimas." Dr. techn., Technische Universität Wien, (2020).
- Steiner, T. "Objektstudie Vermeidung sommerliche Überwärmung." (2021).
- Steiner, T. "Wiener Hitzewellentage - Maßnahmen für mehr Komfort." IBOmagazin 03/21 (2021).
- Steiner, T. "Wiener Tropennächte - Hitzeschutzmaßnahmen für den privaten Wohnbereich." IBOmagazin 3/20 (2020).
- Treberspurg, M., Österreicher, D., Inigo, Vicente, C. Hitze! Vermeiden: Vermeiden sommerliche Überwärmung im Wohnbau. Magistrat der Stadt Wien. Magistratsabteilung 20 – Energieplanung. (2017).
- "Urban Heat Vulnerability Index (UHVI) Wien." Bundesministerium für Finanzen, Updated 28.05.2023, (2023), [www.data.gv.at/katalog/dataset/67d4a45f-2031](http://www.data.gv.at/katalog/dataset/67d4a45f-2031).
- Wagner, A., G. Höfker, T. Lützkendorf, C. Moosmann, K. Schakib-Ekbatan, und M. Schweiker. Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden - Empfehlungen für Planung Und Betrieb. (2015).

- Wagner, A., G. Höfker, T. Lützkendorf, C. Moosmann, K. Schakib-Ekbatan, und M. Schweiker. Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Empfehlungen für Planung Und Betrieb. Fraunhofer IRB Verlag. (2015).
- Wagner, A., und K. Schakib-Ekbatan. "Nutzerzufriedenheit als ein Indikator für die Beschreibung und Beurteilung der sozialen Dimension der Nachhaltigkeit - Mit Leitfaden INKA (Instrument für Nutzerbefragungen zum Komfort)." (2010).
- ZAMG. "Erklärung Zum Jahrbuch Der ZAMG." (2020).

### Verordnungen

- Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales. "Arbeitsstättenverordnung AstV." 2018.

### Webdatenbanken

- Bundesministerium. "Strategische Lärmkarten." 2023.  
[https://maps.laerminfo.at/?g\\_card=landesstrasse\\_22\\_24h](https://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_22_24h).
- DWD. "Deutscher Wetter Dienst - Glossar." edited by Deutscher Wetter Dienst, 28.05.2023 2023. [www.dwd/DE/service/lexikon/Functions/glossar](http://www.dwd/DE/service/lexikon/Functions/glossar).
- ZAMG. "Jahrbuch Klimaübersichten." 2022.  
[www.zamg.ac.at/cms/de/klima/Klimauebersichten/jahrbuch](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/Klimauebersichten/jahrbuch).

## 15 Anhang

### Normen und Richtlinien

- DIN. *Din 45645-2:2012 Ermittlung Von Beurteilungspegeln Aus Messungen - Teil 2: Ermittlung Des Beurteilungspegels bei Tätigkeiten Unterhalb Des Pegelbereiches Der Gehörgefährdung.* 2012.
- EN, DIN. *Din En 15251:2012 Eingangsparemeter Für Das Raumklima Zur Auslegung Und Bewertung Der Energieeffizienz Von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht Und Akustik.* 2012.
- EN, ÖNORM. *ÖNorm En 12464-1:2011 Licht Und Beleuchtung - Beleuchtung Von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten In Innenräumen.* 2011.
- — —. *ÖNorm En 12665:2018 Licht Und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe Und Kriterien Für Die Festlegung Von Anforderungen An Die Beleuchtung.* 2018.
- — —. *ÖNorm En 13032-1:2012 Licht Und Beleuchtung - Messung Und Darstellung Photometrischer Daten Von Lampen Und Leuchten - Teil 1: Messung Und Datenformat.* 2012.
- — —. *ÖNorm En 13182:2002 Lüftung Von Gebäuden - Gerätetechnische Anforderungen Für Messungen Der Luftgeschwindigkeit In Belüfteten Räumen.* 2002.
- — —. *ÖNorm En 13779:2008 Lüftung Von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen Und Anforderungen Für Lüftungs- Und Klimaanlageanlagen Und Raumkühlsysteme.* 2008.
- — —. *ÖNorm En 14500:2021 Abschlüsse - Thermischer Und Visueller Komfort - Prüf- Und Berechnungsverfahren.* 2021.
- — —. *ÖNorm En 14501:2021 Abschlüsse - Thermischer Und Visueller Komfort Leistungsanforderungen Und Klassifizierung.* 2021.
- — —. *ÖNorm En 15242:2009 Lüftung Von Gebäuden - Berechnungsverfahren Zur Bestimmung Der Luftvolumenströme In Gebäuden Einschließlich Infiltration.* 2009.
- — —. *ÖNorm En 15251:2012 Eingangsparemeter Für Das Raumklima Zur Auslegung Und Bewertung Der Energieeffizienz Von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht Und Akustik.* 2007.
- — —. *ÖNorm En 17037:2019 Tageslicht In Gebäuden.* 2019.
- ISO, DIN EN. *Din En Iso 7726:2001 Umgebungsklima - Instrumente Zur Messung Physikalischer Größen.* 2002.
- — —. *Din En Iso 7730:2006 Ergonomie Der Thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung Und Interpretation Der Thermischen Behaglichkeit Durch Berechnung Des Pmv- Und Des Ppd-Indexes Und Kriterien Der Lokalen Thermischen Behaglichkeit.* 2006.
- — —. *Din En Iso 7730:2007 Ergonomie Der Thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung Und Interpretation Der Thermischen Behaglichkeit Durch Berechnung Des Pmv- Und Des Ppd-Indexes Und Kriterien Der Lokalen Thermischen Behaglichkeit.* 2007.
- ISO, ÖNORM EN. *ÖNorm En Iso 7730:2006 Ergonomie Der Thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung Und Interpretation Der Thermischen Behaglichkeit Durch Berechnung Des Pmv- Und Des Ppd-Indexes Und Kriterien Der Lokalen Thermischen Behaglichkeit.* 2006.
- — —. *ÖNorm En Iso 52016-1:2018 Energetische Bewertung Von Gebäuden – Berechnung Des Energiebedarfs Für Heizung Und Kühlung, Innentemperaturen*

- Sowie Der Heiz- Und Kühllast in Einem Gebäude Oder Einer Gebäudezone Teil 1: Berechnungsverfahren.* 2018.
- ISO/TS. *Iso/Ts 15666:2021 Acoustics – Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socio-Acoustic Surveys.* 2021.
- OIB. *Oib-Richtlinie 3:2019 Hygiene, Gesundheit Und Umweltschutz.* 2019.
- — —. *Oib-Richtlinie 6:2019 Energieeinsparung Und Wärmeschutz.* 2019.
- ÖNORM. *ÖNorm B 8110-3:2012 Wärmeschutz Im Hochbau Teil 3: Vermeidung Sommerlicher Überwärmung.* 2012.
- — —. *ÖNorm B 8110-3:2020 Wärmeschutz Im Hochbau Teil 3: Ermittlung Der Operativen Temperatur Im Sommerfall - (Parameter Zur Vermeidung Sommerlicher Überwärmung).* 2020.
- — —. *ÖNorm B 8110-3:2020 Wärmeschutz Im Hochbau Teil 3: Ermittlung Der Operativen Temperatur Im Sommerfall (Parameter Zur Vermeidung Sommerlicher Überwärmung).* 2020.
- — —. *ÖNorm B 8110-5:2019 Wärmeschutz Im Hochbau Teil 5: Klimamodell Und Nutzungsprofile.* 2019.
- — —. *ÖNorm B 8115-2:2021 Schallschutz Und Raumakustik Im Hochbau Teil 2: Methodik Zur Ermittlung Von Schallschutzniveaus.* 2021.
- — —. *ÖNorm H 5058-1:2019 Gesamtenergieeffizienz Von Gebäuden – Teil 1: Kühltechnikenergiebedarf.* 2019.
- VDI. *Vdi 2569:2019 Schallschutz Und Akustische Gestaltung in Büros.* 2019.
- — —. *Vdi 4300 Blatt 9:2005 Messen Von Innenraumlufverunreinigungen - Messstrategie Für Kohlendioxid (Co2).* 2005.
- — —. *Vdi 6022 Blatt 1:2011 Raumluftechnik, Raumlufqualität - Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen Und Geräte (Vdi-Lüftungsregeln).* 2011.
- — —. *Vdi 6022 Blatt 1:2018 Raumluftechnik, Raumlufqualität Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen Und Geräte (Vdi-Lüftungsregeln).* 2018.
- — —. *Vdi 6022 Blatt 1:2018 Raumluftechnik, Raumlufqualität hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen Und Geräte (Vdi-Lüftungsregeln).* 2018.
- — —. *Vdi 6022 Blatt 3:2011 Raumluftechnik, Raumlufqualität Beurteilung Der Raumlufqualität.* 2011.

## Leitfäden und Berichte

- Bruck, M., S. Geissler, and R. Lechner. *Tq Leitfaden.* Wien: Österreichisches Ökologie-Institut, 2021.
- Haselsteiner, E. *Low Tech – High Effect! Eine Übersicht Über Nachhaltige Low Tech Gebäude.* 2017.
- Ipser, C., G. Radinger, M. Winkler, H. Flögl, and S. Geissler. "Reduktion Des Kühlenergiebedarfs Durch Optimierte Bebauungsstrukturen Und Prozess- Und Entwurfoptimierung in Der Gebäudeplanung." (2015).
- Marton, V., J. Gerstmann, C. Kuh, and G. Hofer. *Leitfaden Sonnenschutzsysteme.* (Wien: 2013).
- Schakib-Ekbatan, K., T. Gropp, and A. Wagner. *Inka Instrument Für Nutzerbefragungen Zum Komfort.* (Karlsruhe: 2011).
- Steiner, T., V. Huemer-Kals, R. Binting, and B. Lipp. *Leitfaden Monitoring Von Plusenergie-Gebäuden - Monitoring Der Leitprojekte Aus Hausderzukunft.* IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH in Kooperation mit Österreichisches Ökologie-Institut (Wien: 2015).
- — —. "Leitfaden Monitoring Von Plusenergiegebäuden - Monitoring Der Leitprojekte Aus Hausderzukunft." (2015).

- Steiner, T., V. Huemer-Kals, C. Thurner, F. Heisinger, A. Galosi, and B. Lipp. *Idsolutions - Lösungen Für Die Sanierung Mit Innendämmung Im Mehrgeschoßigen Gebäudebestand Auf Ebene Der Nutzungseinheit*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (Wien: 2016). <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/publikationen/schriftenreihe-2016-24-idsolutions.php>.
- Steiner, T., and B. Lipp. *Leitfaden Monitoring Plusenergiegebäude Teil2 Messaufgabe Messkonzept Messtechnik Messequipment*. IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH (Wien: 2015).
- WMO. *State of the Global Climate 2021*. (2022).

### Beiträge und Publikationen

- Fezer, Fritz. *Das Klima Der Städte*. Edited by Perthes [u.a.]. Gotha, 1995.
- Helbig, A., J. Baumüller, and M.J. Kerschgens. *Stadtklima Und Luftreinhaltung*. Springer, 1999.
- Hupfer, W. Kuttler, Chmielewski F., and H. Pethe. *Witterung Und Klima - Eine Einführung in Die Meteorologie Und Klimatologie*. Edited by Vieweg+Teubner Verlag. Wiesbaden, 2005. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-322-96749-7>.
- "Lumos Maxima - Ein Leitfaden Zur Anwendung Der Norm En 17037 - Tageslicht in Gebäuden." (2022).
- Meis, M., and K. Klink. "Schall- Und Lärmwirkung - Grundlagen Des Hörens, Schallwirkungen Und Maßnahmen Im Bürorumfeld." (2020). <https://www.yumpu.com/de/document/read/44894835/schall-und-larmwirkung-11-im-buero-forum-des-boo>.
- Munoz-Czerny, U. "Nutzerkomfort Durch Low-Tech Konzepte in Gebäuden." (2022).
- Schirmer, W. Kuttler, J. Löbel, and K. Weber. *Lufthygiene Und Klima - Ein Handbuch Zur Stadt- Und Regionalplanung*. Edited by Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN Springer-Verlag Berlin. Berlin, 1993.
- Steiner, T. "Innendämmung - Einfluss Von Innendämmung Auf Das Temperaturverhalten Von Räumen Und Untersuchungen Zur Anwendungssicherheit Von Innendämmsystemen in Abhängigkeit Des Innenraumklimas." Dr. techn., Technische Universität Wien, 2020.
- — —. "Objektstudie Vermeidung Sommerliche Überwärmung." (2021).
- — —. "Wiener Hitzewellentage - Maßnahmen Für Mehr Komfort." *IBOmagazin* 03/21 (2021).
- — —. "Wiener Tropennächte - Hitzeschutzmaßnahmen Für Den Privaten Wohnbereich." *IBOmagazin* 3/20 (2020).
- "Urban Heat Vulnerability Index (Uhvi) Wien." Bundesministerium für Finanzen, Updated 28.05.2023, 2023, [www.data.gv.at/katalog/dataset/67d4a45f-2031](http://www.data.gv.at/katalog/dataset/67d4a45f-2031).
- Wagner, A., G. Höfker, T. Lützkendorf, C. Moosmann, K. Schakib-Ekbatan, and M. Schweiker. *Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden - Empfehlungen Für Planung Und Betrieb*. 2015.
- — —. *Nutzerzufriedenheit in Bürogebäuden – Empfehlungen Für Planung Und Betrieb*. Fraunhofer IRB Verlag, 2015.
- Wagner, A., and K. Schakib-Ekbatan. "Nutzerzufriedenheit Als Ein Indikator Für Die Beschreibung Und Beurteilung Der Sozialen Dimension Der Nachhaltigkeit - Mit Leitfaden Inka (Instrument Für Nutzerbefragungen zum Komfort)." (2010).
- ZAMG. "Erklärung Zum Jahrbuch Der ZAMG." (2020).

## Verordnungen

Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales. "Arbeitsstättenverordnung Astv." 2018.

## Webdatenbanken

- Bundesministerium. "Strategische Lärmkarten." 2023.  
[https://maps.laerminfo.at/?g\\_card=landesstrasse\\_22\\_24h](https://maps.laerminfo.at/?g_card=landesstrasse_22_24h).
- DWD. "Deutscher Wetter Dienst - Glossar." edited by Deutscher Wetter Dienst, 28.05.2023 2023. [www.dwd/DE/service/lexikon/Functions/glossar](http://www.dwd/DE/service/lexikon/Functions/glossar).
- ZAMG. "Jahrbuch Klimaübersichten." 2022.  
[www.zamg.ac.at/cms/de/klima/Klimauebersichten/jahrbuch](http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/Klimauebersichten/jahrbuch).

## Uncategorized References

- DIN. *Din 1946-6:2019 Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung Von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an Die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme Und Übergabe Sowie Instandhaltung.* 2019.
- EN, ÖNORM. *ÖNorm En 16798-1:2019 Energetische Bewertung Von Gebäuden - Lüftung Von Gebäuden Teil 1: Eingangsparameter Für Das Innenraumklima Zur Auslegung Und Bewertung Der Energieeffizienz Von Gebäuden Bezüglich Raumlufqualität, Temperatur, Licht Und Akustik - Modul M1-6.* 2019.

