HeatResilientCity

Hitzeresiliente Stadt- und Quartiersentwicklung in Großstädten –
Bewohnerorientierte Wissensgenerierung und Umsetzung in Dresden und Erfurt

Wissenschaftliches Konzept zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes im Gebäudebestand der Eisenbahner-Wohnungsbaugenossenschaft Dresden eG

Teilprojekt 6:	Pilothafte Umsetzung, Erprobung und Bewertung ausgewählter Anpassungsmaßnahmen im Gebäudebestand der EWG
Förderkennzeichen:	01LR1724F

Erstellt von:

IÖR	David Schiela
	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1, 01277 Dresden
HTW	Stefanie Kunze
	Thomas Naumann
	Jens Bolsius
	Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
EWG	Steffen Zweinert
	Eisenbahner-Wohnungsbaugenossenschaft Dresden eG, Kesselsdorfer Str. 161, 01169 Dresden

Dresden, den 08.02.2019 *(korrigierte Version vom 08.11.2022)*

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 4

1 Vorstellung der ausgewählten Gebäude 5

1.1 Allgemeine Objektbeschreibung 5
1.2 Gebäudestruktur 8
1.3 Baukonstruktionen 9
1.4 Geplante Sanierungsmaßnahmen 11

2 Entwicklung von Anpassungskonzepten 13

2.1 Vorbemerkungen 13
2.2 Bewertung der Umsetzbarkeit ausgewählter Maßnahmen 16
2.3 Darstellung der finalen Maßnahmenkombinationen 18

3 Analyse der Wirksamkeit ausgewählter Anpassungsmaßnahmen mit Hilfe thermischer Gebäudesimulationen 19

3.1 Grundlagen zur thermischen Gebäudesimulation 19
3.1.1 Verwendetes Simulationsprogramm 19
3.1.2 3D-Geometriemodelle für die Referenzgebäude im Beispielquartier „Dresden-Gorbitz“ 19
3.1.3 Festlegung von Simulationsrandbedingungen 20
3.1.4 Verwendete Wetterdatensätze 21
3.2 Bewertungsgrundlagen zum sommerlichen Wärmeschutz 22
3.3 Auswertung der Simulationsergebnisse für untersuchte Anpassungsoptionen 23
3.3.1 Vorbemerkungen 23
3.3.2 Strategie 1 – Minderung der Wärmeeinträge 24
3.3.3 Strategie 2 – Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit 26
3.3.4 Strategie 3 – Optimierung des Luftwechsels 29

4 Bewertung der Umsetzbarkeit 31

Literaturverzeichnis 33
Anlagenverzeichnis 34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Westliche Ansicht des ausgewählten Gebäudekomplexes Leutewitzer Ring 21/23 5

Abbildung 2: Östliche Ansicht des ausgewählten Gebäudekomplexes Leutewitzer Ring 25-31 6

Abbildung 3: Schnittdarstellung zum Referenzgebäude Leutewitzer Ring 25 (Schnitt A-A) 7

Abbildung 4: Leutewitzer Ring 23 - Grundriss Erdgeschoss 8

Abbildung 5: Leutewitzer Ring 25-29 - Grundriss Erdgeschoss 8

Abbildung 6: Anpassungskonzepte zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes 14

Abbildung 7: Auszug aus den Befragungsergebnissen, Quelle: ISP FHE 15

Abbildung 8: Schematische Darstellung der finalen Anpassungsmaßnahmen 18

Abbildung 9: Schematische Zusammensetzung einer thermischen Gebäudesimulation mit TRNSYS 18 19

Abbildung 10: 3D-Geometriemodelle für die Referenzgebäude Leutewitzer Ring 23 (links) sowie Leutewitzer Ring 25 (rechts) 20

Abbildung 11: Prozentuale Anwesenheit eines berufstätigen Nutzers im Tagesverlauf 21

Abbildung 12: Beispielhafte Ermittlung der Übertemperaturgradstunden mit zugrunde gelegtem Bezugswert der Innenraumtemperatur von 27°C 23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gebäudestruktur vor der Sanierung ... 9

Tabelle 2: Ausgewählte Parameter der Bestandsfenster ... 10

Tabelle 3: Ausgewählte Ergebnisse des Sonneneintragskennwerteverfahrens nach DIN 4108-2:2013-02 ... 11

Tabelle 4: Gebäudestruktur nach der Sanierung ... 11

Tabelle 5: Auswahl möglicher Anpassungsmaßnahmen ... 18

Tabelle 6: Zusammenstellung der drei festgelegten Nutzungsprofile ... 20

Tabelle 7: Verfügbare Testreferenzjahre zur Untersuchung des sommerlichen Wärmeschutzes ... 21

Tabelle 8: Auswertung der Außenlufttemperaturen für die vorliegenden TRY-Datensätze ... 22

Tabelle 9: Auswertung der solaren Einstrahlung für die vorliegenden TRY-Datensätze ... 22

Tabelle 10: Farbskalen zur Bewertung der Simulationsergebnisse ... 24

Tabelle 11: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 1 – Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Süd, West ... 24

Tabelle 12: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 1 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnzimmer, Ausrichtung der Außenwände: West ... 25

Tabelle 13: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 1 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Ost ... 26

Tabelle 14: Übersicht zu den untersuchten Ausführungsvarianten, Änderungen zum Ausgangszustand rot gekennzeichnet ... 26

Tabelle 15: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 2 – Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Süd, West ... 27

Tabelle 16: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 2 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnzimmer, Ausrichtung der Außenwände: West ... 28

Tabelle 17: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 3 – Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Süd, West ... 29

Tabelle 18: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 3 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnzimmer, Ausrichtung der Außenwände: West ... 29

1 Vorstellung der ausgewählten Gebäude

1.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Im Rahmen des Forschungsprojektes „HeatResilientCity“ wurden im Beispielquartier Dresden-Gorbitz drei Wohngebäude aus dem Bestand der Eisenbahner-Wohnungsbaugenossenschaft Dresden eG ausgewählt, für die während der Projektphase umfassende Sanierungen vorgesehen sind. Gegenstand der Sanierungskonzepte ist u. a. eine wärmeschutztechnische Ertüchtigung der Fassaden, der Einbau von Aufzügen, eine bereichsweise Änderung der Grundrisse sowie die Schaffung von barrierefreien Wohneinheiten.

Die drei ausgewählten Gebäude sind typische Vertreter für Mehrfamilienwohnhäuser, die in hoher Anzahl in industrieller Plattenbauweise auf dem Gebiet der ehemaligen DDR errichtet wurden [1, Seite 4]. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen können somit auch auf andere Städte mit ähnlichen Gebäudetypen übertragen werden. Charakteristisch für die in der ehemaligen DDR eingeführte Plattenbauweise war eine systematische Serienfertigung von einheitlichen Bauelementen in ortsfesten Plattenwerken. Durch die Einführung von einheitlichen Systemabmessungen konnte der zeitliche Aufwand für die Produktion der Bauelemente deutlich verringert werden, sodass in kurzer Zeit Wohnraum geschaffen werden konnte [2, Seite 42]. Zudem wurden die Konstruktionen im Hinblick auf die statische Ausbildung optimiert, um den Lastabtrag möglichst effektiv zu gestalten. Durch dieses Vorgehen konnte die Menge der Ausgangsmaterialien, wie z. B. Beton und Bewehrungsstahl, reduziert werden.

Abbildung 1: Westliche Ansicht des ausgewählten Gebäudekomplexes Leutewitzer Ring 21/23

Abbildung 2: Östliche Ansicht des ausgewählten Gebäudekomplexes Leutewitzer Ring 25-31

Bei den ausgewählten Gebäuden handelt es sich konkret um die im Jahr 1984 errichteten Wohngebäude Leutewitzer Ring 21/23, Leutewitzer Ring 35/37 sowie Leutewitzer Ring 25-31, die der Wohnungsbauserie WBS 70/14.40 zuzuordnen sind. Die Bezeichnung „14.40“ entspricht dabei der Gebäudebreite in Metern.

Um innerhalb des Projektes systematisch und gezielt vorzugehen, wurden zur Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes die Gebäudeteile Leutewitzer Ring 23 und Leutewitzer Ring 25 exemplarisch ausgewählt, da aufgrund der jeweiligen Gebäudeausrichtung und Fensterflächenanteile eine hohe thermische Belastung innerhalb der Gebäude während Hitzeperioden zu erwarten ist. In den nachfolgenden Abschnitten wird für diese beiden Untersuchungsbereiche der Begriff „Referenzgebäude“ verwendet.

Darüber hinaus werden durch dieses Vorgehen zwei charakteristische Gebäudeformen der Wohnungsbauserie 70 berücksichtigt. Bei dem Gebäudeteil Leutewitzer Ring 25 handelt es sich um den nördlichen Abschnitt der in Abbildung 2 dargestellten Reihenbebauung. Die Ergebnisse sind somit unter Berücksichtigung einiger Randbedingungen auch auf die angrenzenden Gebäudebereiche 27 und 29 übertragbar. Das Gebäude Leutewitzer Ring 23 hat die charakteristische Form eines Punkthochhauses und steht repräsentativ für weitere Gebäude im Beispielquartier „Dresden-Gorbitz“, die in dieser Kubatur errichtet wurden. Als Beispiel ist in diesem Zusammenhang der Leutewitzer Ring 31 zu nennen.

Die Gebäudekomplexe erheben sich über einen rechteckigen Grundriss auf insgesamt sechs Stockwerke. Die Regelgeschosse weisen dabei im Durchschnitt eine lichte Raumhöhe von ca. 2,60 m auf. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch einen Querschnitt des ausgewählten Gebäudeteils Leutewitzer Ring 25.

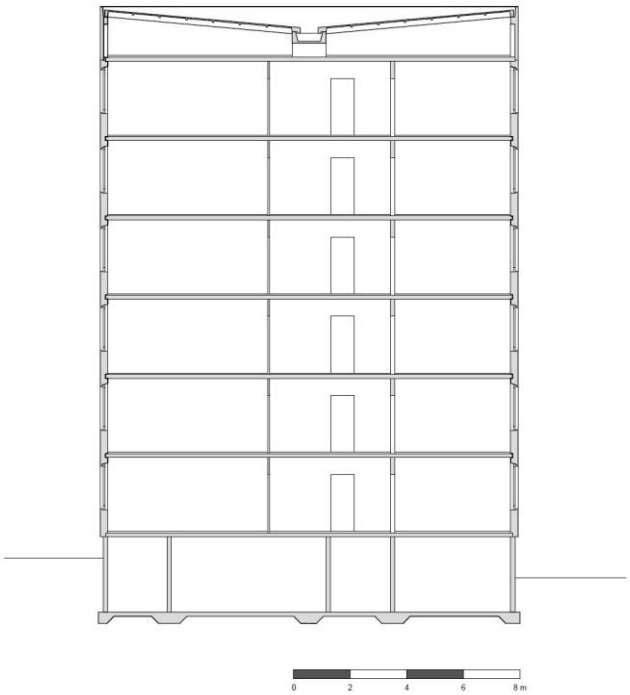

Abbildung 3: Schnittdarstellung zum Referenzgebäude Leutewitzer Ring 25 (Schnitt A-A)

Die Dächer der Referenzgebäude haben die Form von Trogdächern. Die Abführung von Niederschlagswasser erfolgt somit über eine innen liegende Entwässerung. Zwischen der obersten Geschossdecke und der Dachfläche ist ein Luftzwischenraum realisiert, der durch Öffnungen in den außen liegenden Wandelementen belüftet wird. Der Vorteil dieser Kaltdachkonstruktion besteht darin, dass evtl. eingedrungene Feuchtigkeit durch die Luftzirkulation wieder abgeführt werden kann. Zudem besteht die Möglichkeit, die auf der obersten Geschossdecke befindliche Wärmedämmung in regelmäßigen Intervallen durch eine Inaugenscheinnahme zu inspizieren, um die Funktionsfähigkeit zu jeder Zeit sicherzustellen.

Die Fassaden der Referenzgebäude sind durch die typischen Gestaltungselemente des Plattenbaus gekennzeichnet. Die Elemente der außen liegenden Wetterschale werden dabei durch Fugen voneinander entkoppelt. Die Oberflächen der Platten sind mit einer Steinsplittbeschichtung versehen. In den Fassaden sind außerdem Einzelfenster, aneinander gereihte Fenster sowie Türen integriert.

Die Gebäude sind vollständig unterkellert. Im Kellergeschoss sind u. a. die Hausanschlüsse für die Haustechnik realisiert. Die Untersuchungsobjekte sind an das Fernwärmenetz angeschlossen und verfügen jeweils über eine zentrale Wärme- und Warmwasserversorgung.

1.2 Gebäudestruktur

Die untersuchten Referenzgebäude werden im aktuellen IST-Zustand zu Wohnzwecken genutzt. In vergleichbaren Gebäuden im Beispielquartier sind in den Erdgeschossen auch Gewerbeeinheiten vorzufinden. Einen Überblick über die Gebäudestrukturen zeigen die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Grundrisse der Erdgeschosse.

Abbildung 4: Leutewitzer Ring 23 - Grundriss Erdgeschoss

Abbildung 5: Leutewitzer Ring 25-29 - Grundriss Erdgeschoss

Aufgrund der Eingangssituationen im Erdgeschoss unterscheidet sich der Grundriss des Erdgeschosses leicht vom Grundriss der Regelgeschosse. Die nachfolgende Tabelle zeigt dazu eine Übersicht zu den Grundrissstrukturen in den ausgewählten Gebäudeteilen:

Gebäudeteil	Erdgeschoss	Obere Geschosse
Leutewitzer Ring 25	Zweispänner: 2 Zweiraumwohnungen	Zweispänner: 1 Zwei- und 1 Dreiraumwohnung
Leutewitzer Ring 23	Vierspänner: 2 Einraumwohnungen, 1 Zwei- und 1 Dreiraumwohnung	Vierspänner: 2 Einraumwohnungen, 1 Zwei- und 1 Dreiraumwohnung

Tabelle 1: Gebäudestruktur vor der Sanierung

Der Zugang zu den Gebäuden erfolgt beim Gebäude Leutewitzer Ring 25 von westlicher und östlicher Richtung. Beim Gebäude Leutewitzer Ring 23 sind die Hauszugänge im Norden und Süden realisiert. Für die innere Erschließung der Gebäude befinden sich in den innen liegenden Treppenhäusern zweiläufige, gegenläufige Treppen mit Zwischenpodesten. Die Treppen sind als Rechtstreppen ausgeführt und setzen sich aus verschiedenen Stahlbetonelementen zusammen.

Ausgehend vom Treppenhaus sind die in Tabelle 1 aufgeführten Wohneinheiten zu erreichen. In jeder Wohneinheit ist zunächst ein Flur, von welchem aus alle anderen Räumlichkeiten zugänglich sind, angeordnet. Besonders die Wohnräume, wie Wohnzimmer, Schlafzimmer und Kinderzimmer haben einen großen Flächenanteil an den Wohnungen. Außerdem sind in jedem dieser Zimmer Fenster vorhanden, so dass die Räume mit Tageslicht durchflutet werden. Im Gegensatz zu den Wohnräumen befinden sich die Räumlichkeiten für Küche und Bad innen liegend und sind kleiner ausgeführt. In diesen Bereichen sind Schächte mit Lüftungsleitungen installiert, so dass die Abluft abgeführt werden kann.

Ein besonderes Merkmal des Referenzgebäudes Leutewitzer Ring 23 sind die an der westlichen und südlichen Gebäudeseite vorgestellten Balkone, die aus Stahlbetonplatten gefertigt sind. Zu bestimmten Jahres- und Tageszeiten wird in diesen Bereichen im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz eine Verschattung der dahinterliegenden Fenster bzw. Türen erreicht.

Neben den Hausanschlüssen für die Haustechnik sind in den Kellergeschossen Technikräume, Mieterkammern, Fahrrad-, Waschmaschinen- und Trockenräume angeordnet.

1.3 Baukonstruktionen

Die Außenwände der oberen Geschosse sind als 3-schichtige Sandwichelemente ausgeführt und setzen sich von innen nach außen aus

- einer 14 cm breiten Stahlbetontragschale,
- einer 6 cm dicken Kerndämmung aus Schaumpolystyrenplatten und
- einer 6 cm starken Wetterschutzschicht aus Stahlbeton

zusammen. Die Außenwände der Kellergeschosse sind aus 15 cm dicken Stahlbetonfertigteilen gefertigt. Die tragenden Innenwände, die gleichzeitig als Wohnungstrennwände fungieren, sind ebenfalls aus 15 cm starken Stahlbetonwandelementen konstruiert. Die nicht-tragenden Trennwände in den Wohneinheiten besitzen eine Querschnittsbreite von 7 cm und sind ebenfalls aus Stahlbeton ausgeführt.

In den Referenzgebäuden fungieren Spannbetonfertigteile als Geschossdecken. Auf den Geschossdecken sind ein Anhydritspachtel und verschiedene Bodenbeläge als Fußbodenkonstruktionen aufgebracht. Im Vergleich zu anderen Ausführungsvarianten der Wohnungsbauserie WBS 70/14.40 wurde

bei den Referenzgebäuden auf den Anhydritestrich und die Fußbodendämmung verzichtet, um den Bauablauf zu beschleunigen und Kosten zu sparen.

Die Dächer der Referenzgebäude haben die Form von Trogdächern und sind jeweils als Kaltdächer ausgeführt. Aufgrund dieser Ausführung ist ein Kriechgang zwischen der obersten Geschossdecke und der Dachfläche vorhanden. Bei dem Tragwerk handelt es sich um ein Kassettendach, welches auf einem innen liegenden Trogträger und auf den außen liegenden Wandelementen aufliegt. Die oberste Geschossdecke ist oberseitig mit einer Wärmedämmschicht aus künstlichen Mineralfasern („alte“ Mineralwolle) versehen. Dabei handelt es sich um das in der ehemaligen DDR häufig verwendete „Kamilit“, welches bei Kontakt einen feinen Faserstaub freisetzt, der ohne Schutz in die Atemwege des Menschen gelangt. Dieser feine Faserstaub wird den krebserzeugenden Stoffen zugeordnet, so dass bei Arbeiten im Dachbereich besondere Sicherheitsmaßnahmen eingehalten werden müssen.

In den Fensteröffnungen sind Holzrahmenfenster mit einer 2-Scheiben-Isolierverglasung integriert. Die zu den Balkonen führenden Fenstertüren sind ebenfalls mit einer 2-Scheiben-Isolierverglasung ausgeführt. An den Fensteröffnungen sind im Bestand keine außen oder innen liegenden Verschattungen vorhanden. Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick über ausgewählte Eigenschaften der Bestandsfenster.

U_w-Wert [W/m²K]	g-Wert [-]	Fensterrahmenanteil [%]
2,8	0,7	29 - 40

Tabelle 2: Ausgewählte Parameter der Bestandsfenster

Erste Einschätzungen zum sommerlichen Wärmeschutz

Zur Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes der Bestandsgebäude wurde das Sonneneintragskennwerteverfahren nach DIN 4108-2:2013-02 für ausgewählte Räume durchgeführt [3]. Im Referenzgebäude Leutewitzer Ring 23 erfolgte der Nachweis zum Beispiel für das südliche Kinderzimmer (6. Ebene) der südlichen Wohneinheit. Im Wohngebäude Leutewitzer Ring 25 wurde der Nachweis zum Beispiel für das westliche Wohnzimmer (6. Ebene) der südlichen Wohneinheit geführt. Die untersuchten Räume sind aufgrund der einheitlichen Gebäudestruktur auch in den Grundrissen der Erdgeschosse vorzufinden (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in den Anlagen 1 und 2 dargestellt.

In einem ersten Schritt erfolgte, aufgrund des Standortes in Dresden, die Zuordnung zur Sommerklimaregion C nach DIN 4108-2. Im Anschluss wurden die geometrischen Randbedingungen der untersuchten Räume zusammengestellt und eine Berechnung der vorhandenen wirksamen Speichermasse mit Hilfe des vereinfachten Verfahrens nach DIN 4108-6:2003-06 durchgeführt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die untersuchten Räume eine hohe wirksame Wärmespeicherkapazität aufweisen und somit der schweren Bauart nach DIN 4108-2:2013-02 zuzuordnen sind. Zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes ist somit eine wichtige Randbedingung gegeben.

Für das Sonneneintragskennwerteverfahren sind insbesondere die vorhandenen Fenster von Interesse. Diese sind im Kinderzimmer des Leutewitzer Ringes 23 in Richtung Süden und im Wohnzimmer des Leutewitzer Ringes 25 in Richtung Westen ausgerichtet und weisen eine Neigung von 90° gegenüber der Horizontalen auf. Nach der Zusammenstellung der Ausgangsparameter wurden der vorhandene und der zulässige Sonneneintragskennwert sowie der Ausnutzungsgrad ermittelt. Die nachfolgende Tabelle stellt die Endergebnisse dar:

Gebäude	Raum	Ausnutzungsgrad	Bemerkung
Leutewitzer Ring 23	Kinderzimmer	1,23	Nachweis nicht erfüllt
Leutewitzer Ring 25	Wohnzimmer	0,67	Nachweis erfüllt

Tabelle 3: Ausgewählte Ergebnisse des Sonneneintragskennwerteverfahrens nach DIN 4108-2:2013-02

Die Berechnungen zeigen auf, dass der Nachweis für das Kinderzimmer nicht erfüllt werden kann und somit zwingend Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes erforderlich sind. Der Nachweis für das Wohnzimmer ist hingegen erfüllt, da der Raum einen geringeren grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil aufweist.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass das Sonneneintragskennwertverfahren nach DIN 4108-2:2013-02 ein vereinfachtes Verfahren darstellt, um den sommerlichen Wärmeschutz im Bestand nachzuweisen. Die innen liegenden Bäder und Küchen können in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden. In diesem Falle sind dynamisch-thermische Gebäudesimulationen erforderlich, um insbesondere die Auswirkungen der haustechnischen Anlagen und der inneren Wärmeeinträge zu berücksichtigen.

1.4 Geplante Sanierungsmaßnahmen

Neben der wohnungswirtschaftlichen Zielstellung ist eine umfangreiche energetische Gebäudesanierung nach den Anforderungen der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung vorgesehen [4]. Hierzu werden innerhalb der Gebäude Grundrissänderungen vorgenommen und barrierefreie Wohneinheiten geschaffen. Nach der Sanierung werden den Bewohnerinnen und Bewohnern folgende Wohnungsgrößen zur Verfügung stehen:

Gebäudeteil	Erdgeschoss	Obere Geschosse
Leutewitzer Ring 25	Dreispänner: 2 Zweiraumwohnungen und 1 Dreiraumwohnung	Dreispänner: 2 Zweiraumwohnungen und 1 Dreiraumwohnung
Leutewitzer Ring 23	Dreispänner: 1 Zweiraumwohnung und 2 Dreiraumwohnungen	Dreispänner: 3 Dreiraumwohnungen

Tabelle 4: Gebäudestruktur nach der Sanierung

Die oben aufgeführten Zielstellungen wurden zunächst unabhängig vom Projekt „HeatResilientCity“ durch die EWG erarbeitet und festgelegt. Im Detail umfassen die Sanierungen folgende Einzelmaßnahmen:

- Errichtung von gebäudeintegrierten Aufzügen (Grundrissänderungen, bedingt auch durch die nachträgliche Aufzugsintegration),
- Fassaden-, Dachdrempel und Kellerdeckendämmung,
- teilweiser Erhalt und Neuerstellung von Brüstungselementen von Bestandsbalkonen,
- Anbau von zusätzlichen Balkonen,
- Erneuerung der Fenster,
- Renovierung Treppenhäuser, Kellervorräume und Allgemeinbereiche,
- Erneuerung der kompletten Elektroanlage,
- Erneuerung der Heizungsanlage,
- Erneuerung der Lüftungs- und Sanitäranlagen,
- Sanierung der Bäder und Küchen, einschl. Fliesenarbeiten,

- Erneuerung aller Innen- und Außentüren sowie
- Maler- und Bodenbelagsarbeiten.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass die in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Konzepte zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes unter Berücksichtigung der bestehenden Sanierungskonzepte der EWG entwickelt wurden. Aufgrund dieser Tatsache sind einige potentielle Anpassungsmaßnahmen an den Gebäuden nur teilweise bzw. nicht umsetzbar. Andere Maßnahmen wären nur mit einem erheblichen zusätzlichen Kostenaufwand möglich.

2 Entwicklung von Anpassungskonzepten

2.1 Vorbemerkungen

Bei der Entwicklung von Anpassungskonzepten zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes von Bestandsgebäuden oder Neubauvorhaben sind im Allgemeinen vielfältige Randbedingungen zu beachten. So gilt es vorrangig, den Anforderungen des winterlichen Wärmeschutzes, u. a. nach der jeweils aktuell gültigen Energieeinsparverordnung, gerecht zu werden. Neben der Klimaanpassung muss somit zwingend auch der Klimaschutz in den Anpassungskonzepten berücksichtigt werden.

Dabei ist zu beachten, dass Einzelmaßnahmen unterschiedliche Wirkungen auf die gewünschten Zielstellungen haben können. Einige Maßnahmen verbessern sowohl den sommerlichen als auch den winterlichen Wärmschutz. Andere Maßnahmen wiederum verbessern den sommerlichen Wärmeschutz, haben aber negative Auswirkungen auf den winterlichen Wärmeschutz oder umgekehrt. Infolge dessen ist es erforderlich, dass die positiven als auch die negativen Wirkungen von gebäudebezogenen Maßnahmen im Detail untersucht werden, um die nachhaltige Wirkung am oder im Gebäude bewerten zu können.

Für die Erarbeitung der Gebäudekonzepte wurden in einem ersten Schritt vier verschiedene, einander ergänzende Anpassungsstrategien definiert:

(1) Minderung der Wärmeeinträge
(2) Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit
(3) Optimierung des Luftwechsels
(4) Kühlung

Die Anpassungsstrategien sind stets in der aufgeführten Reihenfolge zu bearbeiten, da sie die Mechanismen einer Innenraumerwärmung bzw. -abkühlung vom Wärmeeintrag bis zum Wärmeaustrag berücksichtigen. Um priorisiert vorzugehen, ist es erforderlich, dass in einer Maßnahmenstrategie (1) zunächst Maßnahmen geplant werden, die die Wärmeeinträge ins Gebäude mindern bzw. reduzieren. Dabei sind sowohl die äußeren als auch die inneren Wärmeeinträge zu berücksichtigen. Im Anschluss sind in der Strategie (2) Maßnahmen zu entwickeln, welche die Wärme gezielt zwischenspeichern, so dass während kühlerer Außentemperaturen die gespeicherte Wärme, z. B. durch Lüftung, wieder abgegeben werden kann. Zudem besteht mittels Strategie (3) die Möglichkeit, durch Lüftungsanlagen auch während hoher Außentemperaturen einen ausreichenden Luftwechsel sicherzustellen. Sind die Maßnahmen der Strategien (1), (2) und (3) nicht umsetzbar oder nur begrenzt wirksam, müssen in einer Strategie (4), maschinelle Kühlanlagen eingesetzt werden.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass aufgrund der vielfältigen Randbedingungen und Anforderungen im Regelfall keine Einzelmaßnahmen, sondern nur Maßnahmenkombinationen die gewünschten Wirkungen am und im Gebäude erzielen können.

Nach dem Aktuellen Stand der Technik können eine Vielzahl von Maßnahmen umgesetzt werden, um den sommerlichen Wärmeschutz sowohl im Bestand als auch im Neubau zu optimieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt dazu eine Auswahl an baukonstruktiven sowie haustechnische Anpassungskonzepten, die den beschriebenen vier Anpassungsstrategien zugeordnet sind:

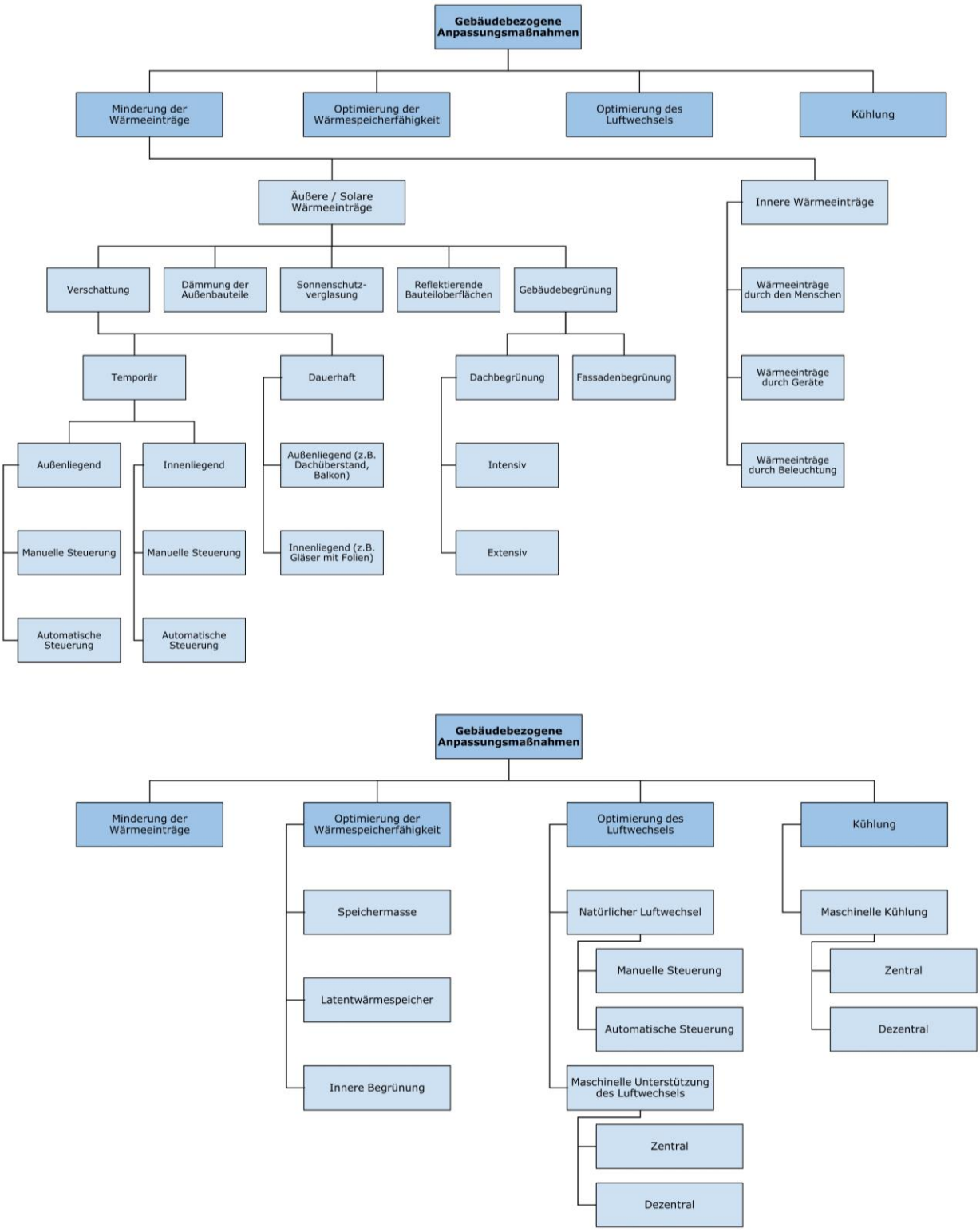

Abbildung 6: Anpassungskonzepte zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes

Außerdem ist festzuhalten, dass die aus technischer Sicht umzusetzenden Maßnahmen nur dann ihre vollen Wirkungen erzielen können, wenn der Nutzer diese korrekt anwendet. Akzeptiert ein Nutzer eine Maßnahme, wie z. B. ein außen liegendes Verschattungssystem oder eine gesteuerte Lüftungsanlage, aus bestimmten Gründen nicht oder wendet die Maßnahme falsch an, so wird diese im Regelfall wirkungslos sein.

Zur Berücksichtigung der Nutzerakzeptanz von gebäudebezogenen Anpassungsmaßnahmen wurden vom Projektpartner ISP (Institut für Stadtforschung, Planung und Kommunikation der Fachhochschule Erfurt) in der Sommerperiode 2018 Befragungen in Dresden-Gorbitz durchgeführt. Ein wichtiger Bestandteil der Befragung war u. a. die Frage, welche Maßnahmen an und in Wohngebäuden die Teilnehmer und Teilnehmerinnen für sinnvoll halten. Die nachfolgende Abbildung zeigt dazu eine Priorisierung von ausgewählten Maßnahmen.

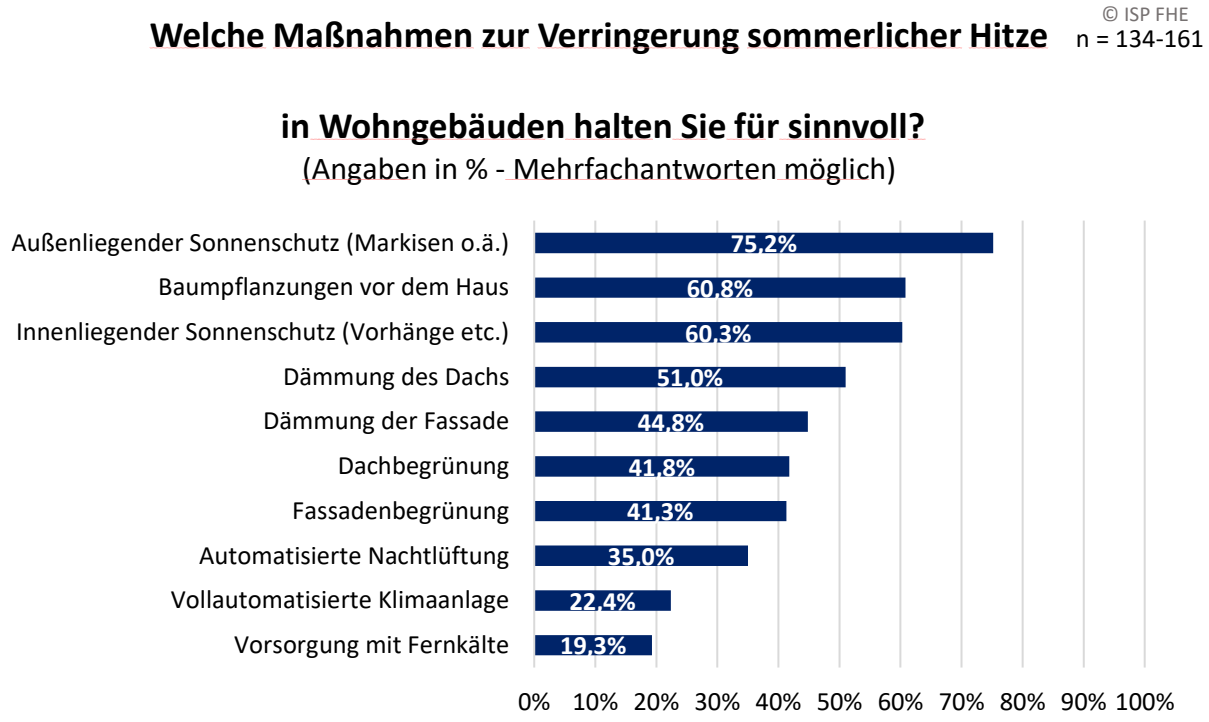

Abbildung 7: Auszug aus den Befragungsergebnissen, Quelle: ISP FHE

2.2 Bewertung der Umsetzbarkeit ausgewählter Maßnahmen

Im Laufe des Projektes wurde mit den beteiligten Projektpartnern regelmäßig über vielfältige Anpassungsoptionen für die Gebäude am Leutewitzer Ring beraten. Der nachfolgende Abschnitt stellt eine Auswahl der diskutierten Maßnahmen dar und soll weiterhin aufzeigen, welche Schwierigkeiten bzw. welche neuen Anforderungen sich mit einigen Maßnahmen ergeben können.

Minderung der Wärmeeinträge

Um die Wärmeeinträge in die Gebäude während Hitzeperioden zu mindern, wurde zunächst über innen liegende und außen liegende Verschattungssysteme diskutiert. Dabei konnte festgehalten werden, dass die außen liegenden Systeme grundsätzlich immer zu bevorzugen sind, da ihre Wirksamkeit während Hitzeperioden den größten Effekt bewirken. Außen liegende Systeme geben ihre gespeicherte Wärme wieder an die Außenumgebung ab. Innen liegende Systeme dagegen erwärmen durch die Wärmeabgabe zusätzlich den Innenraum. An das außen liegende Verschattungssystem werden dabei folgende Anforderungen gestellt:

- Hoher Windwiderstand
- Manuelle Steuerung
- Geringer Wartungsaufwand

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, können z. B. außen liegende Rollläden verwendet werden. Bei der Montage von Rollläden an Bestandsgebäuden muss insbesondere der Tageslichteinfall in die dahinterliegenden Räume berücksichtigt werden. Durch den Rollladenkasten, der an den Gebäuden als Vorbau- oder Aufsatzelement ausgeführt werden kann, verringert sich die Fensterhöhe, was negative Auswirkungen auf den natürlichen Lichteinfall hat. Eine Vergrößerung der Fensteröffnungen nach oben oder unten wäre an den Untersuchungsobjekten nur mit einem erheblichen Kostenaufwand möglich, da aufwendige Schneidarbeiten durchgeführt und Bauteile zusätzlich statisch ertüchtigt werden müssten. Zudem müssen die in der Sächsischen Bauordnung festgelegten Brüstungshöhen eingehalten werden. Die Realisierung von vorgesetzten Kästen ist an den Untersuchungsobjekten ebenfalls nicht möglich, da diese nicht im Einklang mit den geplanten Gestaltungskonzepten stehen. Infolge dessen wurde ein Rollladensystem mit Aufsatzkasten gewählt, das als Verbundbauteil mit den Fenstern in die Fensteröffnungen montiert wird.

Mit den Projektpartnern wurde zudem die Thematik der Sonnenschutzverglasung besprochen. Diese Verglasungsart erzielt in Kombination mit einer außen liegenden Verschattung jedoch keine zusätzliche Wirkung, so dass sie bei der Planung keine prioritäre Anwendung fand.

Im Hinblick auf reflektierende Bauteiloberflächen fand eine grundsätzliche Erörterung zum Einsatz eines Außenanstriches mit einem hohen Reflexionsgrad statt. Das geplante Gestaltungskonzept sieht jedoch bereits einen Außenanstrich mit einer hellen Farbe vor, so dass nach der Erfahrung der Bearbeiter damit bereits ein wichtiger Beitrag zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes geleistet wird und hierfür keine zusätzlichen Kosten aufgewendet werden müssen. Durch das bestehende Gestaltungskonzept ist auch die Anordnung einer Fassadenbegrünung nicht möglich. Die Realisierung einer nachträglichen Dachbegrünung erzielt bei den Referenzgebäuden nur eine sehr geringe Wirkung auf das Innenraumklima, da die Dachfläche und die oberste Geschossdecke (Kaltdach) thermisch voneinander entkoppelt sind. Zudem müsste in diesem Fall die Dachkonstruktion ggf. statisch verstärkt werden.

Optimierung der Speicherfähigkeit

Zur Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit wurde insbesondere der Kriechgang (Drempelbereich) über der besonders wärmebelasteten obersten Geschossdecke betrachtet. Im Rahmen des Projektes erfolgten hierzu eine Auswahl verschiedener Produktgruppen, eine wärmeschutztechnische Untersuchung zu deren Wirksamkeit und eine Bewertung der Umsetzbarkeit. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse ist in den Anlagen 3 und 4 zu finden. Anhand der Ergebnisse wurden im weiteren Projektverlauf folgende Varianten vertieft untersucht:

- Mineraldämmplatten (Xella-Multipor),
- Dämmplatten aus Perlite (Knauf-TecTem Insulation Board Indoor),
- Zellulosefaserdämmstoff (Isofloc),
- Estrichplatte und Mineralwolle-Dämmung (weber.floor),

Darüber hinaus erfolgte eine Diskussion über ggf. bestehende Änderungsmöglichkeiten der Wandquerschnitte. Eine Aufdoppelung der Wände nach innen ist dabei nicht möglich, da zu viel Wohnraum für den barrierefreien Umbau verloren gehen würde. Das Ziel des barrierefreien Wohnens wäre somit nicht erreichbar. Die Variante einer hinterlüfteten Vorhangfassade ist aus Tragwerks- und Kostengründen nicht umsetzbar, wird aber im weiteren Projektverlauf durch die Projektpartner wissenschaftlich untersucht.

Optimierung des Luftwechsels / Kühlung

Da zur Optimierung des Luftwechsels die Fenster der Gebäude nicht vergrößert werden können, wurde im Projekt die Möglichkeit der Vergrößerung des Abluftvolumens untersucht. Mit dem am Bau Beteiligten konnte beschlossen werden, diese Anpassungsmaßnahme pilothaft für den Leutewitzer Ring 27 durchzuführen.

In der Anpassungsstrategie der Kühlung fanden Überlegungen über die Nutzung von Fernkälte statt. Hierfür wären jedoch erhebliche Beschaffungs- und Wartungskosten für die Maschinen notwendig, was aus wirtschaftlicher Sicht nicht möglich ist. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit der Errichtung eines unteririschen Schotterspeichers zur passiven Kühlung der Luft in Erwägung gezogen. Hier besteht jedoch die Schwierigkeit, wie die abgekühlte Luft in die Räume geleitet wird, da die entsprechende haustechnische Infrastruktur bzw. der erforderliche Installationsraum in den Gebäuden fehlen. Eine Erweiterung um diese wäre mit unverhältnismäßigem Aufwand für die Bestandsgebäude verbunden.

2.3 Darstellung der finalen Maßnahmenkombinationen

Die folgenden Untersuchungsergebnisse der ausgewählten drei Gebäudekomplexe im Beispielquartier „Dresden-Gorbitz“ wurden auf der Grundlage der technischen Umsetzbarkeit sowie der Nutzerakzeptanz (siehe Abbildung 7) folgende Anpassungsmaßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz in die Sanierungskonzepte der EWG aufgenommen:

Bezeichnung	Maßnahmentyp	Konkrete Maßnahme
A	Minderung der Wärmeeinträge	– Außen liegende Verschattungen an ausgewählten Fenstern – Maßnahme: Einbau von Rollladen – Nutzerakzeptanz: 75,2%
B	Optimierung der Speicherfähigkeit	– Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit im Kriechgang (Dachbereich) – Maßnahme: Einbau von Materialien, die eine hohe Wärmespeicherfähigkeit und gleichzeitig eine hohe Dämmwirkung haben – Nutzerakzeptanz: 51,0%
C	Optimierung des Luftwechsels	– Optimierung des Lüftungskonzeptes zur Verbesserung der Möglichkeit der Nachtlüftung – Einbau von Fenstern mit Außenluftdurchlasselementen, welche die notwendige Infiltration und den nutzerunabhängigen Luftwechsel sicherstellen – Maßnahme: Vergrößerung des Abluftvolumens im Leutewitzer Ring 27

Tabelle 5: Auswahl möglicher Anpassungsmaßnahmen

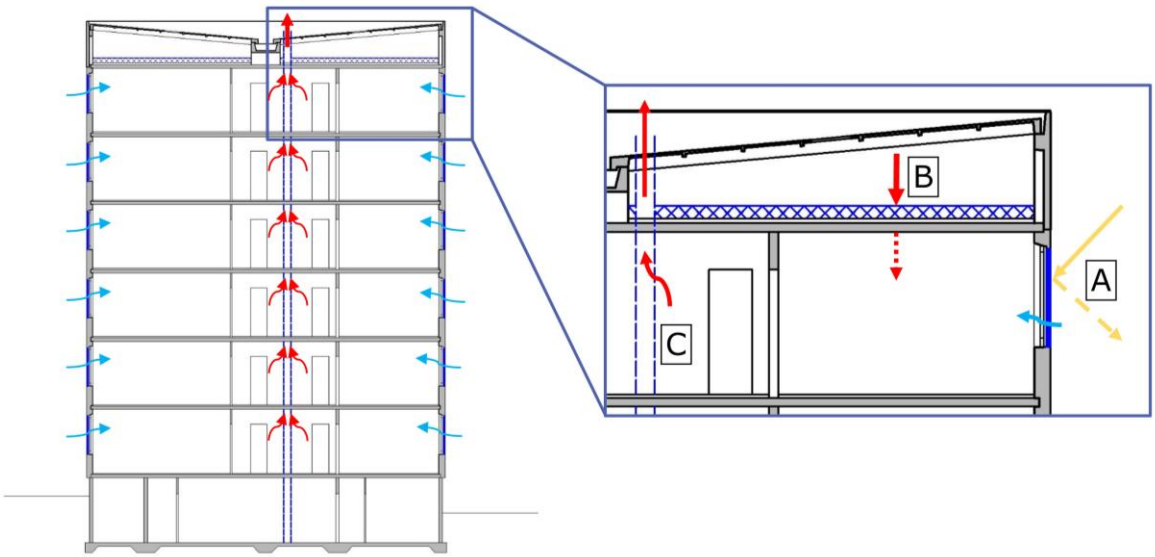

Abbildung 8: Schematische Darstellung der finalen Anpassungsmaßnahmen

3 Analyse der Wirksamkeit ausgewählter Anpassungsmaßnahmen mit Hilfe thermischer Gebäudesimulationen

3.1 Grundlagen zur thermischen Gebäudesimulation

3.1.1 Verwendetes Simulationsprogramm

Die thermische Gebäudesimulation stellt momentan die genaueste Methode dar, um den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden bzw. Räumen zu bewerten. Die Einstellbarkeit der Simulationszeitschrittweite, von sekunden- bis tageweise, ermöglicht es, Einfluss auf die Detailliertheit der Simulationsergebnisse zu nehmen. Folglich können die Tagesgänge der Innenraumtemperaturen in Abhängigkeit von dynamischen Einflüssen wie beispielsweise der Sonneneinstrahlung, der Außenlufttemperatur sowie der inneren Wärmeeinträge aus der Nutzung detailliert abgebildet werden.

Innerhalb des Projektes „HeatResilientCity“ wird für die thermischen Gebäudesimulationen die Software TRNSYS 18 eingesetzt, welche vom Solar Energy Laboratory der University of Wisconsin-Madison entwickelt wurde. Abbildung 9 zeigt schematisch die notwendigen Bestandteile einer thermischen Gebäudesimulation mit TRNSYS 18 zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes.

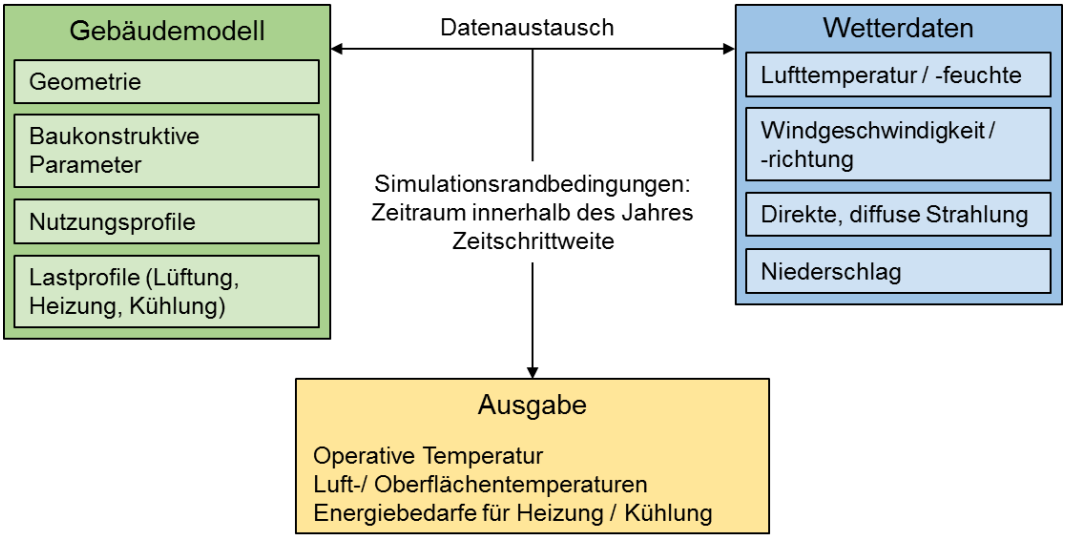

Abbildung 9: Schematische Zusammensetzung einer thermischen Gebäudesimulation mit TRNSYS 18

3.1.2 3D-Geometriemodelle für die Referenzgebäude im Beispielquartier „Dresden-Gorbitz“

Für die bereits in Abschnitt 1.3 baukonstruktiv und haustechnisch beschriebenen Referenzgebäude Leutewitzer Ring 23 und Leutewitzer Ring 25 wurden für die thermische Gebäudesimulation detaillierte 3D-Geometriemodelle entwickelt. Diese Geometriemodelle für die Referenzgebäude weisen 123 Gebäudezonen und 1863 Bauteile (Leutewitzer Ring 23) sowie 69 Gebäudezonen und 867 Bauteile (Leutewitzer Ring 25) auf. In den einzelnen Wohnungen ist jeder Raum durch eine separate Gebäudezone abgebildet, so dass die Innenraumtemperaturen raumgenau ausgewertet werden können. Anschließend wurden die Geometriemodelle in das Simulationsprogramm importiert und den einzelnen Bauteilen die entsprechenden baukonstruktiven Parameter zugewiesen. Abbildung 10 zeigt die beiden 3D-Geometriemodelle der Referenzgebäude im Beispielquartier „Dresden-Gorbitz“.

Abbildung 10: 3D-Geometriemodelle für die Referenzgebäude Leutewitzer Ring 23 (links) sowie Leutewitzer Ring 25 (rechts)

3.1.3 Festlegung von Simulationsrandbedingungen

Um die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Gebäuden sowie bau- und haustechnischen Anpassungsmaßnahmen untereinander zu ermöglich, müssen einheitliche Simulationsrandbedingungen festgelegt werden.

Für die Untersuchungen innerhalb des Projektes wurden aus diesem Grund unter Berücksichtigung von DIN 4108-2 [3] und E DIN EN 16798-1 [5] drei Nutzungsprofile definiert, welche in der nachfolgenden Tabelle 6 übersichtlich dargestellt sind. Durch die Verwendung dieser Nutzungsprofile wird die große Bandbreite an möglichen Nutzungen innerhalb von Wohngebäuden abgebildet.

	I: Gering	II: Mittel	III: Hoch
Anwesenheit des Nutzers	Berufstätig	Berufstätig	Dauerhaft anwesend
Wärmegewinne durch Geräte	Gering	Mittel	Hoch
Summe der Wärmeeinträge durch **Personen** pro Tag	24,5 Wh/m² d	43 Wh/m² d	72 Wh/m² d
Summe der Wärmeeinträge durch **Geräte** pro Tag	21 Wh/m² d	53,5 Wh/m² d	80 Wh/m² d
Summe der Wärmeeinträge durch **Beleuchtung** pro Tag	2,5 Wh/m² d	3,5 Wh/m² d	3,5 Wh/m² d
Gesamtsumme der inneren Wärmeeinträge pro Tag	**48 Wh/m² d**	**100 Wh/m² d**	**155,5 Wh/m² d**

Tabelle 6: Zusammenstellung der drei festgelegten Nutzungsprofile

Bei berufstätigen Nutzern wird folglich davon ausgegangen, dass sich die Nutzer durchschnittlich im Zeitraum zwischen 7:00 und 22:00 Uhr nur anteilig in der Wohnung aufhalten. Die zugrunde gelegte Verteilung der Anwesenheit des Nutzers im Tagesverlauf ist in Abbildung 11 dargestellt.

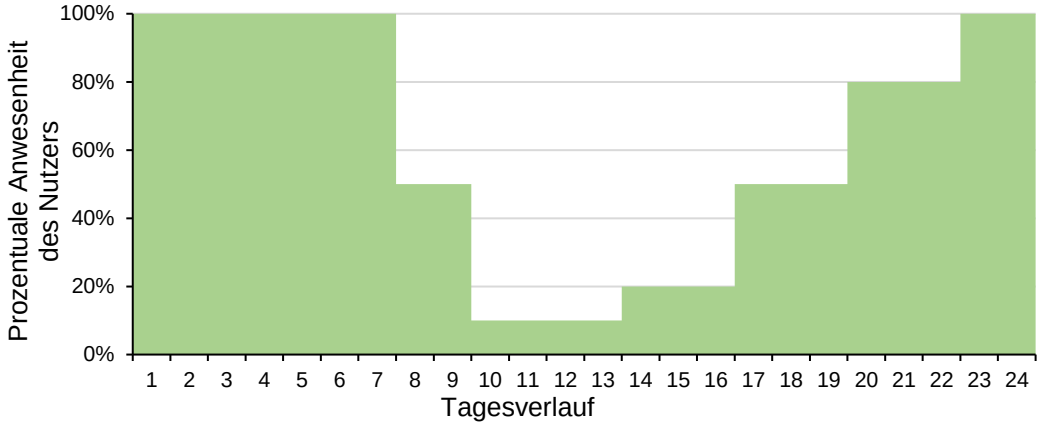

Abbildung 11: Prozentuale Anwesenheit eines berufstätigen Nutzers im Tagesverlauf

Das mittlere Nutzungsprofil mit einer Gesamtsumme der inneren Wärmeeinträge pro Tag von 100 Wh/m² d entspricht dabei den Berechnungsrandbedingungen für thermische Gebäudesimulationsrechnungen nach DIN 4108-2:2013-02 [3] für Wohngebäude. Innerhalb dieses Konzeptes liegt allen Simulationsrechnungen dieses „Nutzungsprofil II: mittel“ zugrunde.

3.1.4 Verwendete Wetterdatensätze

Da die Arbeiten in den Arbeitspaketen 1.1 sowie 1.2 noch nicht abgeschlossen sind, wurde für die hier zusammengefassten Ergebnisse auf die vom Deutschen Wetterdienst bereit gestellten Testreferenzjahres-Datensätze (TRY) zurückgegriffen. Diese stellen Datensätze bereit, welche für jede Stunde eines Jahres die für die Simulation notwendigen meteorologischen Parameter (siehe Abbildung 9) beinhalten. Für die Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes der Referenzgebäude im Beispielquartier „Dresden-Gorbitz“ unter den gegenwärtigen sowie zukünftigen Klimabedingungen stehen die in der folgenden Tabelle 7 zusammengefassten Testreferenzjahre mit einem Bezugskoordinatenpunkt mit Rechtswert 4248500 m und Hochwert 2703500 m zur Verfügung.

Bezeichnung (Abkürzung)	Beschreibung
TRY2015_42485002703500_Jahr (TRY 2015)	Gegenwärtiges mittleres TRY, Erstellungsjahr 2015, basierend auf interpolierten Mess- und Beobachtungsreihen des Zeitraums 1995-2012
TRY2015_42485002703500_Somm (TRY 2015_S)	Gegenwärtiges sommer-fokussiertes extrem warmes TRY, basierend auf interpolierten Mess- und Beobachtungsreihen des Zeitraums 1995-2012
TRY2045_42485002703500_Jahr (TRY 2045)	Zukünftiges mittleres TRY, basierend auf regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2031-2060 (mittleres Jahr 2045)
TRY2045_42485002703500_Somm (TRY 2045_S)	Zukünftiges sommer-fokussiertes extrem warmes TRY, basierend auf regionalen Klimamodellen für den Zeitraum 2031-2060 (mittleres Jahr 2045)

Tabelle 7: Verfügbare Testreferenzjahre zur Untersuchung des sommerlichen Wärmeschutzes [vgl. 6]

Um die Simulationsergebnisse mit den unterschiedlichen Wetterdatensätzen beurteilen zu können, ist ein Vergleich der Datensätze im Hinblick auf die Parameter, welche wesentlichen Einfluss auf die sommerlichen Bedingungen haben, notwendig. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt.

		Mittlere TRY		Extrem warme TRY	
		TRY 2015	TRY 2045	TRY 2015_S	TRY 2045_S
Jahresdurchschnittstemperatur	°C	10,0	11,2	10,5	11,6
Sommerliche Durchschnittstemperatur (Juni - August)	°C	19,5	20,3	20,7	21,7
Maximale Temperatur	°C	30,9	34,7	35,7	35,8
Jährliche Temperatursumme	Kh/a	87429,2	97900,8	92320,5	101904,6

Tabelle 8: Auswertung der Außenlufttemperaturen für die vorliegenden TRY-Datensätze

		Mittlere TRY		Extrem warme TRY	
		TRY 2015	TRY 2045	TRY 2015_S	TRY 2045_S
Durchschnittliche direkte Strahlungsintensität	W/m²	58,4	62,3	64,4	65,2
Durchschnittliche diffuse Strahlungsintensität	W/m²	64,4	63,6	64,1	64,6
Jahreswert direkte Strahlung	kWh/m² a	511,5	545,3	564,5	571,2
Jahreswert diffuse Strahlung	kWh/m² a	564,2	556,9	561,8	565,9

Tabelle 9: Auswertung der solaren Einstrahlung für die vorliegenden TRY-Datensätze

Alle ausgewerteten Parameter der Testreferenzjahre zeigen einen Anstieg in den betrachteten Zeiträumen. Jedoch ist festzuhalten, dass die Abweichung zwischen dem extrem warmen gegenwärtigen (TRY 2015_S) und zukünftigen Testreferenzjahr (TRY 2045_S) deutlich geringer ist. Folglich können die Werte, welche mit Hilfe des Datensatzes TRY 2045_S ermittelt werden, auf ein gegenwärtiges extrem warmes Jahr übertragen werden.

Die weiteren Betrachtungen innerhalb dieses Konzeptes beziehen sich deshalb auf das mittlere TRY 2015 für die Abbildung des gegenwärtigen Klimas und auf das extrem warme TRY 2045_S für die Abbildung des zukünftigen Klimas.

3.2 Bewertungsgrundlagen zum sommerlichen Wärmeschutz

Zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes der einzelnen Wohnräume der Referenzgebäude werden die operativen Temperaturen als Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation genutzt und die folgenden vier Parameter ermittelt:

- Maximalwert der operativen Temperatur,
- Übertemperaturgradstunden nach DIN 4108-2:2013-02,
- Überschreitungshäufigkeit zum Bezugswert 26 °C sowie
- Überschreitungshäufigkeit zum Bezugswert 30 °C.

Die operative Temperatur wird als Mittelwert der Raumlufttemperatur und der flächenanteilig gemittelten Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen ermittelt [3] und als Bezugswert zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit nach DIN 4108-2:2013-02 definiert.

Laut dieser Norm ist für ein Wohngebäude nachzuweisen, dass der Wert der Übertemperaturgradstunden während der Nutzungszeit (Wohngebäude: 24 h/d) in einem Jahr geringer als 1200 Kh beträgt.

Abbildung 12 zeigt hierfür beispielhaft die Ermittlung der Übertemperaturgradstunden mit einem zugrunde gelegten Bezugswert der operativen Innenraumtemperatur von 27 °C. Dieser Bezugswert ist für die beiden Referenzgebäude maßgebend, da der Gebäudestandort in Dresden liegt und somit der Sommerregion C laut DIN 4108-2:2013-02 zuzuordnen ist.

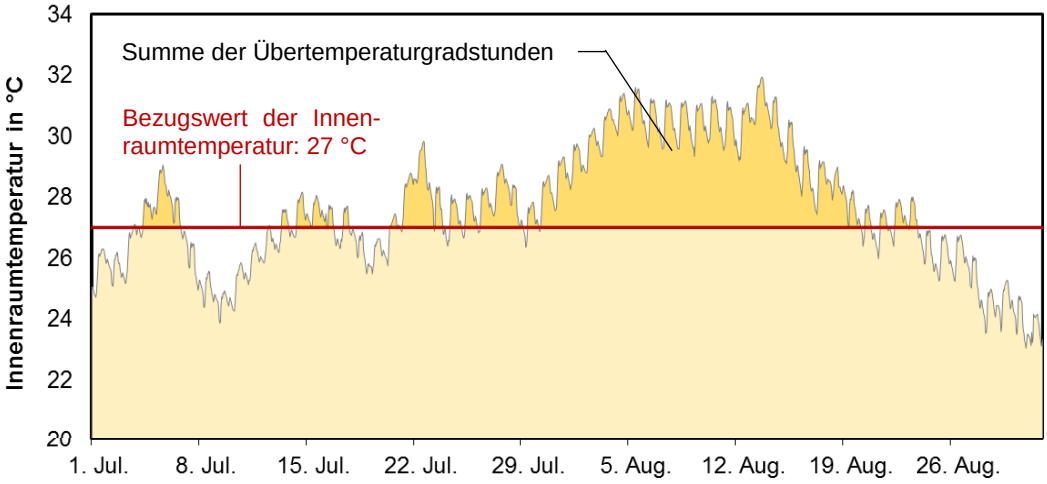

Abbildung 12: Beispielhafte Ermittlung der Übertemperaturgradstunden mit zugrunde gelegtem Bezugswert der Innenraumtemperatur von 27°C

Darüber hinaus erfolgt eine statistische Auswertung der Ergebnisse mit Hilfe von Überschreitungshäufigkeiten für den Zeitraum 15. April bis 15. Oktober. Innerhalb dieses Konzeptes werden diese Überschreitungshäufigkeiten für die Grenzwerte 26 °C sowie 30 °C ausgewertet. In DIN V 18599-10:2016-10 wird für Wohngebäude als Maximaltemperatur für die Auslegung des Kühlfalls 26 °C festgelegt. Im Entwurf der DIN EN 16798-1:2015-07 wird innerhalb der Standardeingaben für Berechnungen des Energieverbrauchs von Wohngebäuden ebenfalls der Wert 26 °C als Maximum der operativen Temperatur definiert. Folglich ist für die Bewertung der thermischen Belastung innerhalb eines Raumes die Überschreitungshäufigkeit von 26 °C relevant. Ergänzend dazu wird der Extremwert von 30 °C ausgewertet.

3.3 Auswertung der Simulationsergebnisse für untersuchte Anpassungsoptionen

3.3.1 Vorbemerkungen

Die Auswertung der Simulationsergebnisse wird in den nachfolgenden Kapiteln für ausgewählte Räume jedes Referenzgebäudes dargestellt. Die Ergebnisse für weitere Räume werden tabellarisch im Anhang zusammengefasst. Dabei werden für die untersuchten Varianten jeweils die Ergebnisse des Ausgangszustandes und der geplanten Sanierung abgeglichen.

Da die Validierung der Gebäudemodelle mit den Messwerten, welche in den Gebäuden während des Sommers 2018 erfasst wurden, noch nicht vollständig abgeschlossen ist, handelt es sich hierbei um fundierte Zwischenergebnisse. Erste Validierungsrechnungen zeigen jedoch, dass die Messergebnisse tendenziell ein wärmeres Innenraumklima als die entsprechenden Simulationsergebnisse dokumentieren. Folglich ist davon auszugehen, dass die Simulationsergebnisse mit dem validierten Gebäudemodell höhere Innenraumtemperaturen aufweisen werden als die hier aufgezeigten Simulationsergebnisse. Dementsprechend liegen diese Ergebnisse auf der sicheren Seite.

Für die Bewertung des Maximalwertes der operativen Temperatur sowie der Übertemperaturgradstunden werden die folgenden Farbskalen verwendet:

Farbskala	Wertebereiche	
	Maximum der operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden
	< 27 °C	< 1100 Kh/a
	27 °C - 30 °C	1100 Kh/a- 1300 Kh/a
	> 30 °C	> 1300 Kh/a

Tabelle 10: Farbskalen zur Bewertung der Simulationsergebnisse

3.3.2 Strategie 1 – Minderung der Wärmeeinträge

Wie in Abschnitt 2.2 bereits beschrieben, wird zur Verminderung der Wärmeeinträge ein Austausch der Fenster vorgesehen. An denjenigen Fenstern, welche nicht von vorgestellten, darüber angeordenten Balkonplatten teilweise verschattet werden, werden zusätzliche Außenrollläden als Verbundbauteil mit den Fenstern als außen liegende Verschattungseinrichtungen angebracht. Die Steuerung dieser Rollläden erfolgt manuell, das heißt der Nutzer muss diese aktiv verschließen. Um diese Anpassungsmaßnahme zu bewerten, wurde sie im Gebäudemodell umgesetzt und simuliert.

Um zu jeder Zeit einen gewissen Tageslichteinfall in die Räume zu ermöglichen, wurden für den Einsatz der Außenverschattungseinrichtung folgende Randbedingungen in der Simulation festgelegt:

- Nutzungszeit: 07:00 Uhr – 18:00 Uhr,
- Verschattungsgrad: 75 %,
- Einsatzbedingung: Mittelwert der Außentemperatur am vorherigen Tag > 23 °C.

In den Tabelle 11 bis 13 sind die Ergebnisse der berechneten Sanierungsvarianten für einen definierten Raum für jedes Referenzgebäude in Übersichtsform zusammengefasst.

Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	29,7	298	16%	0%
	Geplante Sanierung	28,1	27	8%	0%
	Geplante Sanierung mit Außenrollläden	27,0	0	1%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	32,5	2 027	32%	6%
	Geplante Sanierung	31,1	1 160	26%	3%
	Geplante Sanierung mit Außenrollläden	29,5	448	17%	0%

Tabelle 11: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 1 – Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Süd, West

Die Simulationsergebnisse der Berechnungen mit dem gegenwärtigen, mittleren Testreferenzjahr (TRY 2015) überschreiten in keiner der untersuchten Varianten den Grenzwert von 1 200 Kh/a. Aus diesem Grund beziehen sich alle weiteren Auswertungen in diesem Konzept auf die Berechnungen mit dem zukünftigen sommer-fokussierten, extrem warmen Testreferenzjahr (TRY 2045_S).

Im in Tabelle 11 betrachteten Raum wird die maximale operative Temperatur durch die Verwendung von Außenrollläden im Vergleich zum Ausgangszustand um 3 K und im Vergleich zur geplanten Sanierung um 1,6 K auf 29,5 °C gesenkt, so dass die Überschreitungshäufigkeit von 30 °C dadurch 0 % beträgt. Für den Ausgangszustand ist der Grenzwert der Übertemperaturgradstunden mit 2 027 Kh/a um 69 % überschritten. Durch die Umsetzung der geplanten Sanierung wird erreicht, dass dieser knapp eingehalten wird (Ausnutzung: 97 %). Erst durch den Einsatz der zusätzlichen Maßnahmen werden die Übertemperaturgradstunden deutlich reduziert und die Belastung im Innenraum nochmals um 61 % gesenkt.

Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnen		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	30,1	592	22%	0%
	Geplante Sanierung	28,6	99	17%	0%
	Geplante Sanierung mit Außenrollläden	27,1	0	3%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	32,8	2 810	36%	8%
	Geplante Sanierung	31,7	1 873	34%	6%
	Geplante Sanierung mit Außenrollläden	29,6	629	22%	0%

Tabelle 12: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 1 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnzimmer, Ausrichtung der Außenwände: West

Vergleichbare Ergebnisse wurden bei dem Referenzgebäude Leutewitzer Ring 25 erzielt. Auch hier wird der Maximalwert der operativen Temperatur um bis zu 3,2 K auf 29,6 °C reduziert. Für den betrachteten Raum ist jedoch nicht möglich, durch die Umsetzung der geplanten Sanierung den nach Norm geforderten Grenzwert der Übertemperaturgradstunden einzuhalten (Überschreitung: 56 %). Dieser Wert wird erst durch die geplanten Anpassungsmaßnahmen eingehalten.

Darüber hinaus wurde mit Hilfe der Simulationsergebnisse untersucht, inwieweit es sinnvoll ist, an Fenstern mit östlicher Ausrichtung ebenfalls außen liegende Verschattungseinrichtungen anzubringen. Da sich im Referenzgebäude Leutewitzer Ring 23 in der östlichen Außenwand keine Fensteröffnungen befinden, wurde hierfür im Referenzgebäude Leutewitzer Ring 25 das nach Osten orientierte Schlafzimmer der linken Wohnung in der 6. Etage ausgewertet. Die zugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Schlafen		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	29,1	220	16%	0%
	Geplante Sanierung	27,6	11	8%	0%
	Geplante Sanierung mit Außenrollläden	25,9	0	0%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	31,9	1 865	33%	6%
	Geplante Sanierung	30,7	1 058	28%	1%
	Geplante Sanierung mit Außenrollläden	28,5	154	13%	0%

Tabelle 13: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 1 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Ost

Im Vergleich zu dem nach Westen orientierten Wohnzimmer (Tabelle 12) ist die thermische Belastung im nach Osten ausgerichteten Schlafzimmer aufgrund der kürzeren direkten Bestrahlungszeit der Außenwand- und Fensterflächen geringer. Da jedoch der Maximalwert der operativen Temperatur auch nach erfolgter Sanierung über 30 °C liegt und der Grenzwert der Übertemperaturgradstunden mit 1 058 Kh/a zu 88 % erreicht ist, scheint der Einsatz von Außenrollläden auch hier zweifelsohne sinnvoll. Durch diese Anpassungsmaßnahmen werden annehmbare Temperaturen für ein Schlafzimmer erreicht. Die maximale operative Temperatur sinkt auf 28,5 °C und die Übertemperaturgradstunden auf 154 Kh/a.

Mit den dargestellten Simulationsergebnissen für die Anpassungsmaßnahme zur Minderung der Wärmeeinträge konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz von Außenrollläden an den nach Osten, Süden sowie Westen orientierten Fenstern das sommerliche Innenraumklima in den Referenzgebäuden deutlich verbessert wird. Die Ergebnisse zu allen weiteren Räumen sind in Anlage 5 zu finden.

3.3.3 Strategie 2 – Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit

Zur Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit der obersten Geschossdecke wurden, wie in Abschnitt 2.2 bereits beschrieben, unterschiedliche Materialien in Betracht gezogen. Mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulationen wurden dabei die folgenden Varianten vertiefend untersucht.

Ausführungsvariante	Schichtenaufbau
Ausgangszustand	14,00 cm Stahlbeton 6,00 cm Mineralwolle-Dämmstoff (Kamilit)
Geplante Sanierung	14,00 cm Stahlbeton 6,00 cm Mineralwolle-Dämmstoff (Kamilit) 14,00 cm Zellulosefaserdämmstoff
Geplante Sanierung mit zusätzlicher Estrichschicht	14,00 cm Stahlbeton 6,50 cm Zementestrich 16,00 cm Dachbodendämmung, Mineralwolle
Sanierungsvariante mit Multipor	14,00 cm Stahlbeton 20,00 cm Mineraldämmplatten (Xella-Multipor)

Tabelle 14: Übersicht zu den untersuchten Ausführungsvarianten, Änderungen zum Ausgangszustand rot gekennzeichnet

Ausführungsvariante	Schichtenaufbau
Sanierungsvariante mit TecTem	14,00 cm Stahlbeton 20,00 cm Perlite-Dämmplatten (TecTem Insulation Board Indoor)
Geplante Sanierung mit reduzierter Estrichschicht laut Statik	14,00 cm Stahlbeton 3,00 cm Zementestrich 16,00 cm Dachbodendämmung, Mineralwolle

Tabelle 14: Übersicht zu den untersuchten Ausführungsvarianten, Änderungen zum Ausgangszustand rot gekennzeichnet (Fortsetzung)

Die Variante „Geplante Sanierung mit reduzierter Estrichschicht laut Statik“ musste zusätzlich untersucht werden, da die Tragfähigkeit der Geschossdecke über der sechsten Etage für die zunächst untersuchte Variante „Geplante Sanierung mit zusätzlicher Estrichschicht“ laut Statik nicht gegeben ist. Ausgewählte Ergebnisse der Berechnungen für die einzelnen Varianten sind in den nachfolgenden Tabelle 15 sowie Tabelle 16 ausgewertet.

Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	29,7	298	16%	0%
	Geplante Sanierung	28,1	27	8%	0%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Estrichschicht	27,9	14	6%	0%
	Sanierungsvariante mit Multipor	27,9	16	7%	0%
	Sanierungsvariante mit TecTem	27,9	16	7%	0%
	Geplante Sanierung mit reduzierter Estrichschicht laut Statik	27,9	16	7%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	32,5	2 027	32%	6%
	Geplante Sanierung	31,1	1 160	26%	3%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Estrichschicht	30,9	1 034	24%	2%
	Sanierungsvariante mit Multipor	30,9	1 037	24%	2%
	Sanierungsvariante mit TecTem	30,9	1 037	24%	2%
	Geplante Sanierung mit reduzierter Estrichschicht laut Statik	31,0	1 046	24%	2%

Tabelle 15: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 2 – Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Süd, West

Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnen		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgrad-stunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	30,1	592	22%	0%
	Geplante Sanierung	28,6	99	17%	0%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Estrichschicht	28,3	59	15%	0%
	Sanierungsvariante mit Multipor	28,4	66	15%	0%
	Sanierungsvariante mit TecTerm	28,4	66	15%	0%
	Geplante Sanierung mit reduzierter Estrich-schicht laut Statik	28,4	66	16%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	32,8	2 810	36%	8%
	Geplante Sanierung	31,7	1 873	34%	6%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Estrichschicht	31,5	1 720	33%	5%
	Sanierungsvariante mit Multipor	31,6	1 728	32%	5%
	Sanierungsvariante mit TecTerm	31,6	1 729	32%	5%
	Geplante Sanierung mit reduzierter Estrich-schicht laut Statik	31,6	1 737	33%	5%

Tabelle 16: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 2 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnzimmer, Ausrichtung der Außenwände: West

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass mit allen untersuchten Anpassungsvarianten vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Der Maximalwert der operativen Temperatur wird im Vergleich zum Ausgangszustand um bis zu 2,3 K gesenkt. Die berechneten Übertemperaturgradstunden werden um bis zu 1 000 Kh/a verringert. Im Referenzgebäude Leutewitzer Ring 25 reduziert sich dadurch die Überschreitung des Grenzwertes von 1 200 Kh/a von 134 % auf 43 %. Im Referenzgebäude Leutewitzer Ring 23 hingegen wird durch den Einsatz der Maßnahmen dieser Grenzwert eingehalten. Jedoch ist festzuhalten, dass die Verbesserungen im Vergleich zur geplanten Sanierung hier deutlich geringer ausfallen.

Da die erzielten Ergebnisse zeigen, dass die thermische Belastung in der obersten Geschossebene durch keine der untersuchten Anpassungsvarianten ausreichend gesenkt wird, ist die Umsetzung dieser Strategie nicht als Einzelmaßnahme, sondern nur in Kombination mit weiteren Anpassungsmaßnahmen zu empfehlen. Die Ergebnisse zu allen weiteren Räumen sind in Anlage 6 zu finden.

3.3.4 Strategie 3 – Optimierung des Luftwechsels

Die Optimierung des Luftwechsels hat zum Ziel, den Austausch der warmen Innenraumluft durch kühlere Außenluft zu erhöhen, um somit die Innenraumtemperatur abzusenken. Da die Referenzgebäude überwiegend über innen liegende Badezimmer verfügen, ist eine Abluftanlage zwingend notwendig. Zur Sicherung der Lüftung zum Feuchteschutz ist dauerhaft ein Abluftvolumenstrom von 30 m³/h vorgesehen. Zur Optimierung des nächtlichen Luftwechsels (23:00 Uhr – 06:00 Uhr) wird dieser Volumenstrom im Sommerhalbjahr (Mai – September) unter folgenden Bedingungen auf 60 m³/h erhöht:

- Innenlufttemperatur > Außenlufttemperatur
- Innenlufttemperatur > 23 °C
- Außenlufttemperatur < 26 °C

Für die Untersuchung dieser Anpassungsmaßnahme mittels thermischer Gebäudesimulationen wurde diese Maßnahme in allen Wohnungen der Referenzgebäude umgesetzt. In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse exemplarisch ausgewertet.

Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgrad-stunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	29,7	298	16%	0%
	Geplante Sanierung	28,1	27	8%	0%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Lüftung	27,5	4	3%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	32,5	2 027	32%	6%
	Geplante Sanierung	31,1	1 160	26%	3%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Lüftung	30,4	639	18%	0%

Tabelle 17: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 3 – Leutewitzer Ring 23, Etage 6, Whg 1, Schlafzimmer, Ausrichtung der Außenwände: Süd, West

Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnen		Maximum operative Temperatur	Übertemperaturgrad-stunden	Überschreitungshäufigkeit	
				26 °C	30 °C
		°C	Kh/a	-	-
TRY 2015	Ausgangszustand	30,1	592	22%	0%
	Geplante Sanierung	28,6	99	17%	0%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Lüftung	27,8	8	5%	0%
TRY 2045_S	Ausgangszustand	32,8	2 810	36%	8%
	Geplante Sanierung	31,7	1 873	34%	6%
	Geplante Sanierung mit zusätzlicher Lüftung	30,7	927	23%	1%

Tabelle 18: Ausgewählte Simulationsergebnisse Strategie 3 – Leutewitzer Ring 25, Etage 6, Whg links, Wohnzimmer, Ausrichtung der Außenwände: West

In den in Tabelle 17 und Tabelle 18 betrachteten Räumen der Referenzgebäude ist eine Reduzierung der thermischen Belastung durch den Einsatz der zusätzlichen Nachtlüftung feststellbar. Das jeweilige Maximum der operativen Temperatur wird in beiden Räumen um 2,1 K verringert, jedoch liegt diese weiterhin über 30 °C. Diese Referenztemperatur wird aber deutlich seltener überschritten (Überschreitungshäufigkeit: 0,3 % bzw. 1 %). Ebenfalls werden die berechneten Übertemperaturgradstunden mit 639 Kh/a bzw. 927 Kh/a und die Ausnutzung des Grenzwertes auf 53 % bzw. 77 % signifikant gesenkt.

Die gezeigten Simulationsergebnisse weisen die Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahme zur Strategie 3 – Optimierung des Luftwechsels nach. Die Ergebnisse zu allen weiteren Räumen sind in Anlage 7 zu finden.

4 Bewertung der Umsetzbarkeit

Unter den betrachteten Strategien bewirken die untersuchten Anpassungsmaßnahmen der Strategie 1, d.h. Austausch der Fenster in Kombination mit außen liegenden Rollläden, erwartungsgemäß die größten Effekte. Nicht nur die Südseite, sondern auch die Ost- und Westseite müssen mit Verschattungselementen versehen werden, weil die solare Einstrahlung aufgrund der flach stehenden Sonne im Sommer die Räume auf diesen Seiten ansonsten ebenso stark aufheizt. Durch das Verhindern dieser Wärmeeinträge muss keine zusätzliche Energie für die sonst erforderliche Entwärmung aufgewendet werden.

Auch in Hinsicht der einfachen Bedienbarkeit, kann davon ausgegangen werden, dass Rollläden eine breite Akzeptanz finden. Es werden manuell betriebene Rollläden, welche eine geringe Störanfälligkeit und moderate Kosten für die Erstellung und den späteren Betrieb aufweisen, vorgeschlagen. Die spezielle Anordnung der Rollläden kästen im Verbund mit den Fenstern stellt den notwendigen Belichtungsanteil sicher.

Das sommerliche Innenraumklima in den Referenzgebäuden kann durch die Verschattungselemente deutlich verbessert werden. Um den Anforderungen in extrem warmen Zeiträumen gerecht zu werden, genügt es in den oberen Etagen nicht, allein auf vorbenannte Verschattungselemente abzustellen. Eine Kombination mit weiteren Anpassungsmaßnahmen, beispielsweise denen in Strategie 2 und 3 werden notwendig.

Im Hinblick auf die zuvor bezeichneten Untersuchungen und Simulationsergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass einzelne Maßnahmen, wie die Erhöhung der bauwerksspezifischen Masse im Dachdrempelbereich oder eine Optimierung des Luftwechsels, in extrem warmen Zeiträumen zu keiner ausreichenden Temperatursenkung führen. Erst in Verbindung mit den außenliegenden Verschattungen können sie zu einer besseren Temperaturkonstanz und raumklimatischen Behaglichkeit beitragen. Dieses Zusammenwirken gilt es nach der Umsetzung im Nutzungszeitraum nachzuweisen.

Damit eine weitest gehende Unabhängigkeit und somit dauerhafte Funktionalität auch im Hinblick auf die stets älter werdenden Nutzer gegeben ist, sind die Maßnahmen möglichst einfach und bedienerfreundlich zu gestalten. Alle drei Strategien entsprechen diesem Grundsatz. Beispielsweise werden außendruckluftgesteuerte und selbstregulierende Luftdurchlass-Elemente, welche die notwendige und dauerhafte Infiltration zum Luftwechsel garantieren, in den Fenstern integriert. Die Lüftungsanlage (Strategie 3), welche ihren Zuluftstrom über die Fenster und deren Außenluftdurchlasselemente erhält, wird durch eine gezielte Steuerung und entsprechender Programmierung selbstregulierend ihre Funktion verrichten.

Wie in den vorausgegangen Abschnitten beschrieben, wäre eine Erhöhung der bauwerksspezifischen Masse oberhalb der obersten Geschossdecke um mehr als 30 mm Estrich wirksamer. Der Einbau des vorgestellten zusätzlichen Zementestriches lässt sich entgegen den Varianten „Tec-Tem“ oder „Multipor-Platten“ kostengünstig sowie zügig umsetzen und benötigt weniger Aufbauhöhe. Die passiven Strategien 1 und 2 haben den Vorteil ohne Fremdenergie zu wirken.

Die nachträgliche Dämmung der Fassade (WDVS) ist für den sommerlichen Komfort in der Anfangsphase der Gebäudeaufheizung nur kurzfristig vorteilhaft. Ist das Gebäude mit einer spezifisch hohen Bauwerksmasse jedoch durch längerfristigen Wärmeeintrag übertemperiert, dann wirkt diese Außenzusatzdämmung nachteilig, da die nächtliche Auskühlung außenseitig gemindert wird. Der Einsatz der in Strategie 3 aufgezeigten Lüftung wird in langfristigen Hitzezeiträumen besonders notwendig.

Die Kombination von Maßnahmen wird in den oberen Etagen, welche einen hohen Wärmeeintrag und Temperaturbelastung aufweisen, besonders notwendig. Die wissenschaftliche Analyse bildet die Grundlage, um die individuelle komplexe Gebäudesituation mit den jeweilig notwendigen Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes effektiv zu verbinden. Die vorgestellten passiven Maßnahmen sollten möglichst vollständig ausgeschöpft werden und im Anschluss mit einer effizienten Lüftungsanlage, welche auch die reguläre Entlüftung am Gebäude sicherstellt, ergänzt werden.

Literaturverzeichnis

[1] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.) (1997). *Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise - Wohnungsbauserie 70 - WBS 70 6,3 t.* Berlin.

[2] Weller, B., Fahrion, M.-S., Horn, S., Naumann, T., & Nikolowski, J. (2016). *Baukonstruktion im Klimawandel.* Wiesbaden: Springer Vieweg.

[3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2013). *DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderung an den Wärmeschutz*. Berlin: Beuth Verlag.

[4] Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energieeinsparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinparverordnung – EnEV). (2015). Stand der letzten Änderung: 28. Oktober 2015.

[5] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2015). *E DIN EN 16798-1:2015-07* Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; – Module M1-6. Berlin: Beuth Verlag.

[6] Deutscher Wetterdienst (2017). Handbuch – Ortsgenaue Testrefernzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach, Letzte Aktualisierung: Juli 2017.

[7] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2016). *DIN V 18599-10:2016-10* Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Berlin: Beuth Verlag.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwerteverfahren nach DIN 4108-2:2013-02 (LWR 23)

Anlage 2: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwerteverfahren nach DIN 4108-2:2013-02 (LWR 25)

Anlage 3: Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Anforderungen aus der EnEV-2014: Vergleich der wärmeschutztechnischen Soll- und Ist-Werte

Anlage 4: Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Anforderungen aus der EnEV-2014: Bewertung der technischen Umsetzbarkeit

Anlage 5: Strategie 1 – Minderung der Wärmeeinträge

Anlage 6: Strategie 2 – Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit

Anlage 7: Strategie 3 – Optimierung des Luftwechsels