



HeatResilientCity

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

Wissenschaftliches Konzept zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes einer Kin- dertagesstätte der Erfurter Oststadt

Arbeitspaket 3.2: Innovativer Gebäude(um)bau

Erstellt von:

IÖR

David Schiela

Christoph Schünemann

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1,
01217 Dresden

LHE

Guido Spohr

Landeshauptstadt Erfurt, Umwelt- und Naturschutzamt, Stauffenbergallee 18,
99085 Erfurt

Dresden, den 25.09.2020 (*korrigierte Version vom 03.11.2022*)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Vorstellung des ausgewählten Gebäudes	5
1.1 Allgemeine Objektbeschreibung	5
1.2 Gebäudestruktur und Nutzung	7
1.3 Baukonstruktionen	10
2 Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes im IST-Zustand	12
2.1 Standortbedingungen	12
2.2 Sonneneintragskennwerteverfahren	14
2.3 Dynamisch-thermische Gebäudesimulation	15
2.3.1 Allgemeines und Bewertungsgrundlagen	15
2.3.2 Simulationsrandbedingungen	16
2.3.3 Validierung des Simulationsmodells	20
2.3.4 Ergebnisse der Simulationsrechnungen	21
2.4 Einfluss des Klimawandels	23
2.5 Einfluss des Fensterlüftungsverhaltens	24
3 Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen	25
3.1 Vorbemerkungen	25
3.2 Strategie A: Minderung der Wärmeeinträge	25
3.2.1 Sonnenschutz der südlichen Fensterfronten	25
3.2.2 Verschattung durch Bäume	25
3.2.3 Dämmung der Außenbauteile	25
3.3 Strategie 3: Optimierung des Luftwechsels	26
3.4 Weitere Anpassungsmaßnahmen	26
3.5 Zusammenfassung der ausgewählten Maßnahmen	27
4 Analyse der Wirksamkeit ausgewählter Maßnahmen	28
4.1 Sommerlicher Wärmeschutz	28
4.2 Heizwärmebedarf	31
5 Zusammenfassung	32
Literaturverzeichnis	33
Anlagenverzeichnis	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Übersicht über den ausgewählten Gebäudekomplex in der Halleschen Straße	5
Abbildung 2:	Ansicht Nord (oben) und Ansicht Süd (unten) des südlichen Traktes der Kindertagesstätte	6
Abbildung 3:	Schnittdarstellung zum Referenzgebäude Hallesche Straße 19a (Schnitt A-A).....	7
Abbildung 4:	Grundrisse des südlichen und mittleren Traktes der Kindertagesstätte	8
Abbildung 5:	Blick in den Dachraum des nördlichen Wirtschaftstraktes	11
Abbildung 6:	Luftbild des untersuchten Gebäudekomplexes	12
Abbildung 7:	Verschattungssituation des Gebäudekomplexes zu ausgewählten Tageszeiten	13
Abbildung 8:	Angenommene innere Lasten durch Personen und Geräte	18
Abbildung 9:	Fensterlüftungs- und Verschattungsverhalten in den Gruppenräumen	19
Abbildung 10:	Überblick über die Innenraummessungen 2019	20
Abbildung 11:	Sommerlicher Wärmeschutz im IST-Zustand resultierend aus der thermischen Gebäudesimulation	21
Abbildung 12:	Einfluss des Klimawandels auf die Hitzebelastung und den Heizwärmebedarf	23
Abbildung 13:	Einfluss des Fensterlüftungsverhaltens auf die Hitzebelastung im Gruppenraum	24
Abbildung 14:	Wirksamkeit von Maßnahmen – Gruppenraum 1	28
Abbildung 15:	Wirksamkeit von Maßnahmen – Gruppenraum 2	29
Abbildung 16:	Tagesgang der Innenraumtemperatur im Gruppenraum 2 des mittleren Traktes für eine ausgewählte Hitzeperiode	30
Abbildung 17:	Wirkung der Maßnahmen auf den Heizwärmebedarf	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wandeigenschaften des Untersuchungsobjekts	10
Tabelle 2: Zusammenfassung des Sonneneintragskennwerteverfahrens	14
Tabelle 3: Vergleich der Wetterdatensätze mit Hilfe ausgewählter Merkmale.....	17
Tabelle 4: Ergebnis der Auswertung der Innenraummessungen 2019	20
Tabelle 5: Darstellung des ausgewählten Maßnahmenportfolios	27

1 Vorstellung des ausgewählten Gebäudes

1.1 Allgemeine Objektbeschreibung

Im Rahmen des Verbundforschungsprojektes „HeatResilientCity – Hitzeresiliente Stadt- und Quartiersentwicklung in Großstädten“ wurde im Beispielquartier Erfurter Oststadt eine Kindertagesstätte zur Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes eines Nicht-Wohngebäudes ausgewählt. Von der Landeshauptstadt Erfurt wird als Träger der Einrichtung ab dem Jahr 2022 eine umfassende Sanierung des Objektes beabsichtigt. In diesem Zwischenbericht werden hierfür erste Maßnahmenvorschläge dargelegt und deren Wirkungen auf der Grundlage des aktuellen IST-Zustandes untersucht.

Im Vergleich zu den zwei im Projekt untersuchten Wohngebäudetypen ist das Untersuchungsobjekt in seinen gebäudestrukturellen und baukonstruktiven Eigenschaften sehr spezifisch (siehe Wissenschaftliches Konzept zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes im Gebäudebestand der Eisenbahner-Wohnungsbaugenossenschaft Dresden eG und Wissenschaftliches Konzept zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes eines Gründerzeit-Mehrfamilienhauses der Erfurter Oststadt (zugehörig zur Liegenschaftsverwaltung Brechmann)). Zudem müssen bei den Untersuchungen des Nicht-Wohngebäudes die spezifischen Randbedingungen der Gebäudenutzung (z. B. Öffnungs- und Schließzeiten, Personenbelegung) berücksichtigt werden, sodass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebäude an eine Reihe von Bedingungen gebunden ist.

Bei dem ausgewählten Gebäudekomplex in der Halleschen Straße 19a in Erfurt handelt es sich konkret um eine Kombination aus Kindertagesstätte und Kinderkrippe. Die Einrichtungen wurden um 1970 als „Kinderkombination 54/108“ errichtet und waren dementsprechend für eine Kapazität von 54 Krippenkindern und 108 Kindergartenkindern vorgesehen. Aktuell befindet sich die Kindertagesstätte (Kita) „Weltentdecker“ und die Kinderkrippe (Kikri) „Löwenzahn“ in dem Gebäudekomplex. Eine Übersicht über das untersuchte Nicht-Wohngebäude ist in nachfolgender Abbildung 1 dargestellt.

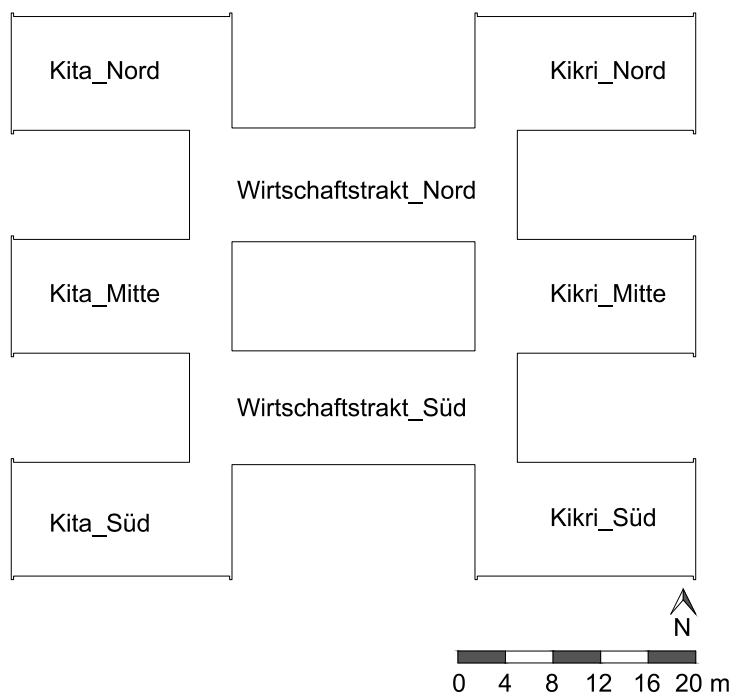
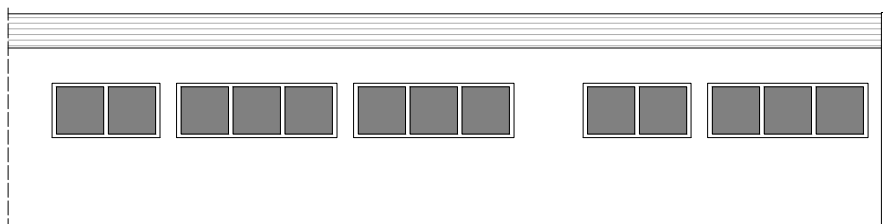


Abbildung 1: Schematische Übersicht über den ausgewählten Gebäudekomplex in der Halleschen Straße

Das Untersuchungsobjekt besteht aus drei Trakten für die Kindertagesstätte, drei Trakten für die Kinderkrippe und 2 Wirtschaftstrakten, die alle über Verbindungsflure miteinander verbunden sind. Die Wirtschaftstrakte trennen dabei die im westlichen Bereich befindliche Kindertagesstätte (Kita) von der östlichen Kinderkrippe (Kikri). Für die in diesem Zwischenbericht beschriebenen Untersuchungen wurde der Bereich der Kindertagesstätte ausgewählt und vertieft untersucht. Die Ergebnisse sind jedoch aufgrund der identischen Bauweise und der annähernd gleichen Raumstrukturen auf den Bereich der Kinderkrippe übertragbar. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die nördliche und südliche Ansicht des südlichen Traktes der Kindertagesstätte (Kita_Süd).

Ansicht Nord



Ansicht Süd

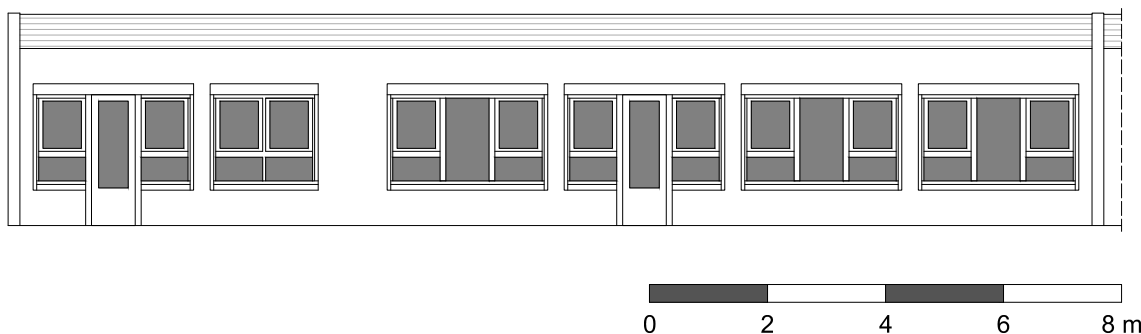


Abbildung 2: Ansicht Nord (oben) und Ansicht Süd (unten) des südlichen Traktes der Kindertagesstätte

Die eingeschossigen Trakte erheben sich jeweils über rechteckige Grundrisse und weisen eine lichte Raumhöhe von ca. 2,55 Metern auf. Das Gebäude ist ausschließlich im Heizungsraum des südlichen Wirtschaftstraktes unterkellert. Im südlichen Wirtschaftstrakt befinden sich zudem ein Mehrzweckraum sowie Lager- und Technikräume. Im nördlichen Wirtschaftstrakt sind darüber hinaus eine Küche, Personalräume und ebenfalls eine Vielzahl an Lager- und Technikräumen vorhanden. Diese werden in den weiteren Untersuchungen jedoch nicht weiter betrachtet. Im Hinblick auf die technische Gebäudeausrüstung verfügen die zwei Einrichtungen über einen Fernwärmeanschluss und über eine zentrale Wärme- und Warmwasserversorgung. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt einen Querschnitt vom untersuchten Objekt.

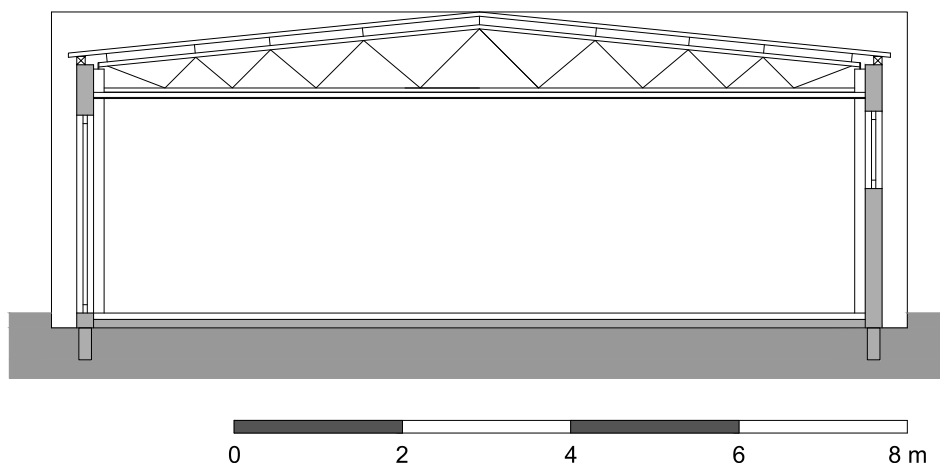


Abbildung 3: Schnittdarstellung zum Referenzgebäude Hallesche Straße 19a (Schnitt A-A)

Die Dächer der einzelnen Trakte haben die Form von Satteldächern mit einer Dachneigung von ca. 6° und sind jeweils als Strahltragwerk konstruiert. Zur Abdichtung der Dachflächen wurden auf einer Holzschalung dunkelfarbene Bitumenbahnen aufgebracht. Die Fassaden des Referenzgebäudes sind vollständig mit einem Glattputz versehen. Charakteristisch für das Gebäude sind außerdem die nach Süden ausgerichteten und mit Außentüren integrierten Fensterfronten der 6 Trakte von Kindertagesstätte und Kinderkrippe. An diesen Fensterfronten ist bereits ein außen liegender Sonnenschutz in Form von Außenrollläden angebracht. Hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes ist demzufolge zu überprüfen, inwiefern diese Maßnahme bereits im aktuellen IST-Zustand das Innenraumklima während anhaltend heißer Außentemperaturen beeinflusst.

Durch den Projektpartner Landeshauptstadt Erfurt (LHE) wurde eine Archivrecherche im Bauaktenarchiv der Landeshauptstadt Erfurt durchgeführt. Die dort vorliegenden Unterlagen aus dem Jahr 1970 wurden gesichtet, eingescannt und den Projektpartnern zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden vom Amt für Grundstücks- und Gebäudeverwaltung der Landeshauptstadt Erfurt folgende Informationen zur baugeschichtlichen Bestandsaufnahme zugearbeitet:

- Die Fenster des Gebäudes wurden ca. 1998 erneuert.
- Das Dach wurde ca. 2009 komplett saniert.
- Im Jahr 1998 wurden an den südlichen Fassaden Außenrollläden montiert.

1.2 Gebäudestruktur und Nutzung

Wie bereits im Abschnitt 1.1 beschrieben, besteht der Gebäudekomplex in der Halleschenstraße 19a aus 3 Trakten für die Kindertagesstätte, 3 Trakten für die Kinderkrippe und 2 Wirtschaftstrakten, die alle über Verbindungsflure miteinander verbunden sind. Jeder Trakt besitzt dabei einen südlich ausgerichteten Spielhof mit Terrasse. Zusätzlich sind im Innenhof und um das Anwesens herum weitere Spielplätze angeordnet. Einen Überblick über die Raumstrukturen der Trakte zeigen die in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellten Grundrisse des südlichen und mittleren Traktes der Kindertagesstätte.

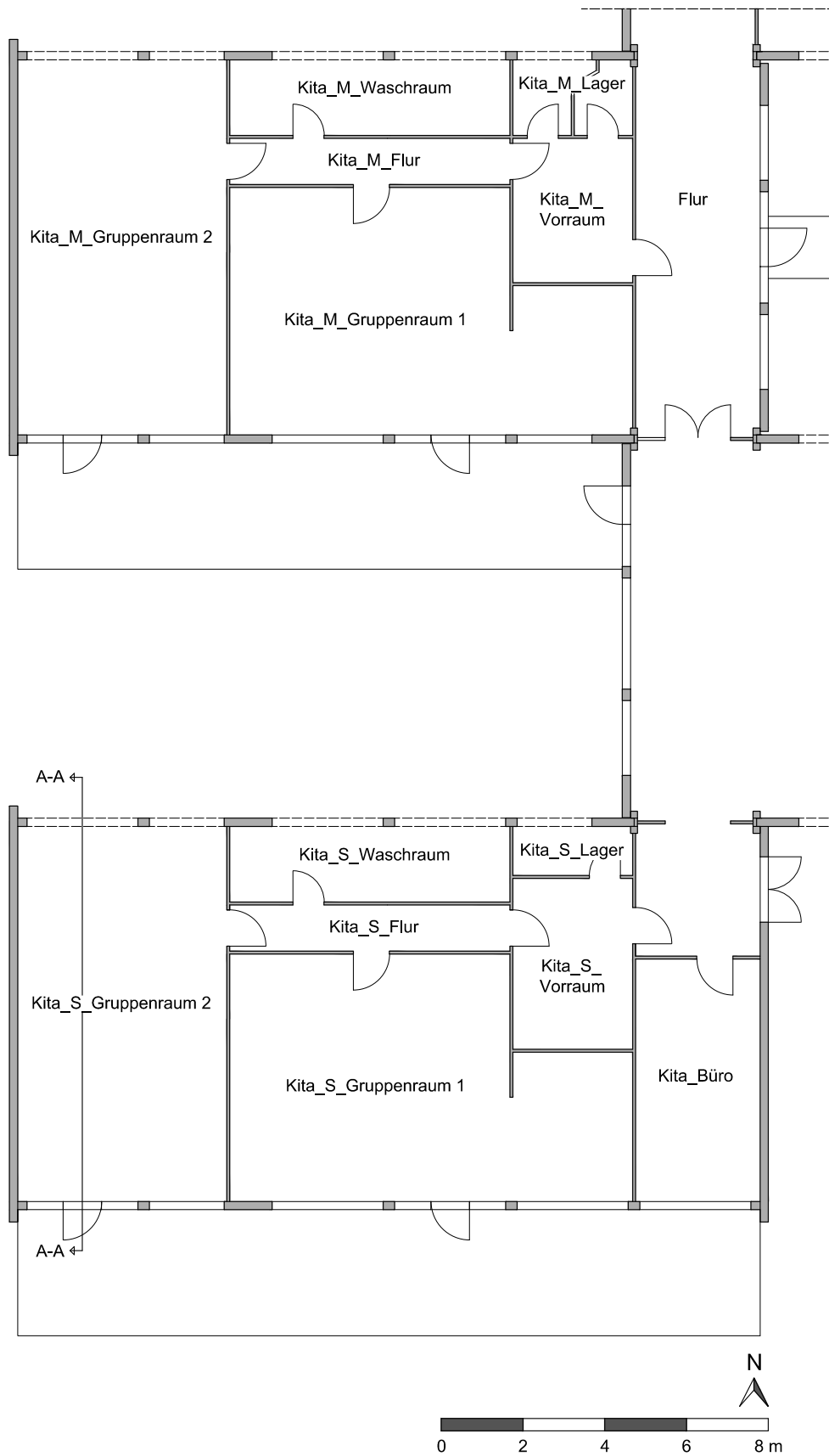


Abbildung 4: Grundrisse des südlichen und mittleren Traktes der Kindertagesstätte

Die Trakte der Kindertagesstätte weisen eine Nutzfläche von ca. 134 m² (südlicher Trakt), ca. 117 m² (mittlerer Trakt) und ca. 130 m² (nördlicher Trakt) auf. In jedem Trakt ist zunächst ein Vorraum bzw. Flur angeordnet, von welchem aus die zwei Gruppenräume, der Waschraum und die Lagerräume zugänglich sind. Im ersten Gruppenraum befindet sich eine nach Süden ausgerichtete Fensterfront - der zweite Gruppenraum verfügt zusätzlich über eine nördliche Fensterfront. Die Räume werden somit mit Tageslicht durchflutet und auch die Möglichkeiten der Kipp-, Stoß- und Querlüftung sind gegeben.

Zur Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes der Kindertagesstätte sind insbesondere die inneren Wärmeeinträge durch Personen, Geräte und Beleuchtung zu berücksichtigen. Demzufolge müssen in den nachfolgenden Untersuchungen vor allem die Öffnungszeiten der Kita und die Anzahl bzw. Anwesenheit der Kinder in den Gruppenräumen beachtet werden. Die Kindertagesstätte hat von Montag bis Freitag in der Regel von 6.30 Uhr bis 17.00 Uhr geöffnet. In jedem Gruppenraum werden maximal 18 Kinder betreut. Dementsprechend befinden sich maximal 36 Kinder und mehrere Erzieher in einem Trakt. Eine Befragung der Angestellten der Kita hat außerdem ergeben, dass ein hoher Anteil der Kinder dabei von 8.00 Uhr bis 16.00 Uhr anwesend ist und sich die Kinder im Sommer in diesem Zeitraum sehr viel draußen auf den Spielplätzen aufhalten.

1.3 Baukonstruktionen

a) Wandkonstruktionen

Die innen- und außenseitig verputzten Außenwände des Gebäudes sind als Mauerwerkskonstruktionen ausgeführt, haben eine Wandstärke von 20 cm und bestehen aus Gassilikat-Steinen (Porenbeton) mit einer angenommenen Rohdichte von 600 kg/m^3 . Die Innenwände sind im Allgemeinen als Gipswände ausgeführt und haben eine Stärke von ca. 7 cm. Eine Zusammenfassung der im aktuellen IST-Zustand vorhandenen Wandkonstruktionen sowie die sich daraus ergebenden U-Werte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Konstruktion	Wandstärke [cm]	U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]
Außenwände	20 cm, zzgl. Innen- und Außenputz	1,05
Innenwände	7 cm, ohne Innenputz	2,45

Tabelle 1: Wandeigenschaften des Untersuchungsobjekts

Um in den nachfolgenden Untersuchungen auch die Wärmeleitung durch Wärmebrücken der Bauteile mit zu erfassen, wurde vereinfacht ein genereller, flächenbezogener Wärmebrückenkoeffizient von $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufgeschlagen.

In den Außenwandkonstruktionen sind Fenster bzw. Türen mit unterschiedlichen Formen und Strukturen integriert. An den südlichen Fensterfronten der Kita und der Kinderkrippe wurden bereits Außenrollläden angebracht. Die Fenster können ausschließlich manuell geöffnet werden, sodass diese in der Nacht, aufgrund des Einbruchschutzes, geschlossen bleiben müssen und somit keine Nachtauskühlung der Räume durch eine Fensterlüftung stattfinden kann. Bei einer baukonstruktiven Erkundung ausgewählter Räume durch die Projektpartner IÖR und LHE konnten bei den Fenstern keine technischen Informationen ausfindig gemacht werden. Die Vor-Ort-Prüfung ergab aber, dass die Fenster eine Doppelverglasung mit einer Wärmeschutzbeschichtung haben. Auch durch eine Recherche konnten keine weiteren technischen Daten der Fenster ermittelt werden, sodass für die hier dargestellten Untersuchungen folgende Annahmen getroffen wurden:

- Rahmenanteil der Fenster bzw. Türen aus Fotos sowie Vor-Ort-Messungen bestimmt
- Wärmedurchlasswiderstand: $U_w = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Energiedurchlass: $g = 0,6$

b) Fußbodenkonstruktionen und Geschossdecke zum Dachraum

Die Fußbodenkonstruktionen bestehen in der Regel aus einem Anhydritestrich, der auf eine Wärme- bzw. Trittschalldämmung aufgebracht und mit verschiedenen Bodenbelägen versehen wurde. Die Räume des Gebäudekomplexes werden nach oben hin durch Gipskartonplatten begrenzt, auf denen Mineralwolle-Dämmung aufgebracht wurde. Die im Dachraum eingebrachte Dämmung wurde jedoch nicht homogen eingeblasen und weist somit unterschiedliche Stärken auf. Der Blick in den Dachraum ist in nachfolgender Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5: Blick in den Dachraum des nördlichen Wirtschaftstraktes

c) Dach

Das Dach des Untersuchungsobjekts hat die Form eines Satteldaches und ist als Stahltragwerk konstruiert (siehe Abbildung 3). Der vertikale Lastabtrag erfolgt dabei nicht über die Gassilikat-Außenwände, sondern über Stahlstützen, die zum Kasten verschweißt sind. Auf den Stützen ist die Dachkonstruktion, bestehend aus Bindern und Pfetten, aufgebracht. Ursprünglich waren die Dachflächen mit Asbestbeton- und Stahltrapezplatten ausgeführt. Diese Konstruktionen wurden im Laufe der Zeit mit einer Holzschalung ergänzt, auf die eine dunkelfarbene Bitumenabdichtung aufgebracht wurde.

2 Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes im IST-Zustand

2.1 Standortbedingungen

Zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes sind die vor Ort gegebenen Standortbedingungen zu berücksichtigen. Dementsprechend können z. B. Bäume oder Nachbargebäude, die sich in der Nähe befinden, das Gebäude oder einzelne Gebäudebereiche verschatten und somit einen erheblichen Einfluss auf das Innenraumklima während Hitzeperioden haben. Eine Übersicht über den Standort zeigt das in Abbildung 6 dargestellte Luftbild des Untersuchungsobjekts.

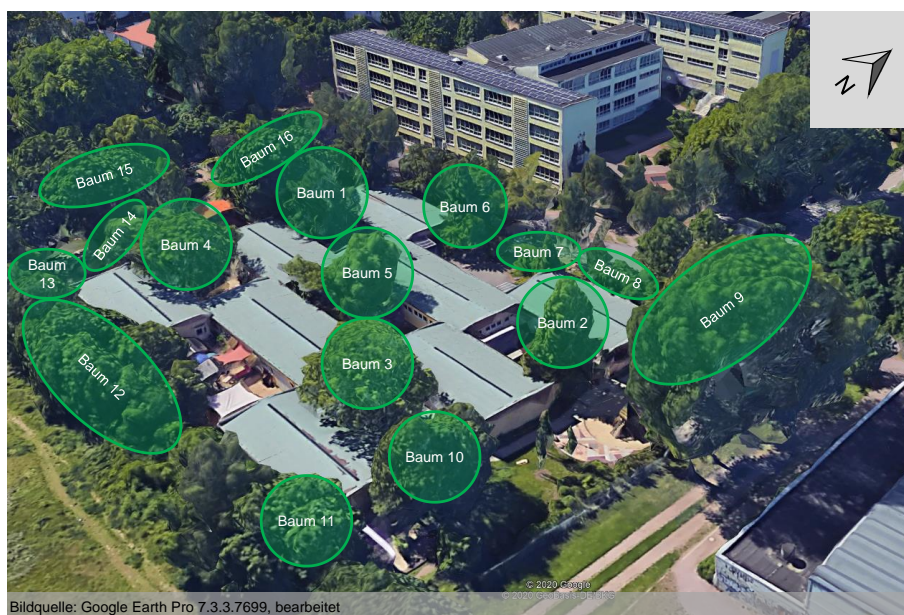


Abbildung 6: Luftbild des untersuchten Gebäudekomplexes

Der Zugang in die zwei Einrichtungen erfolgt von nördlicher Richtung über die angrenzende Hallesche Straße. Das in Abbildung 6 dargestellte Luftbild des Untersuchungsobjekts zeigt, dass das Gebäude von sehr vielen Bäumen umgeben ist. Die Bäume, die zu den meisten Tageszeiten eine Verschattung des Untersuchungsobjekts bzw. einzelner Gebäudebereiche hervorrufen, sind dabei mit einem grünen Kreis gekennzeichnet. Im Rahmen des Verbundforschungsprojektes wurde in einem ersten Schritt eine Animation zur Bewertung der Verschattungssituation durchgeführt, welche in Abbildung 7 exemplarisch dargestellt ist. Dabei wurden beispielhaft der 10. Juni sowie 10. August ausgewählt und die Situation für die Zeitpunkte 9.00 Uhr, 12.00 Uhr und 16.00 Uhr bewertet. Die Bäume wurden dabei vereinfacht durch schematische Formen (vertikale Verschattungselemente) im Simulationsprogramm IDA ICE 4.8 (siehe Abschnitt 2.3.1) dargestellt.

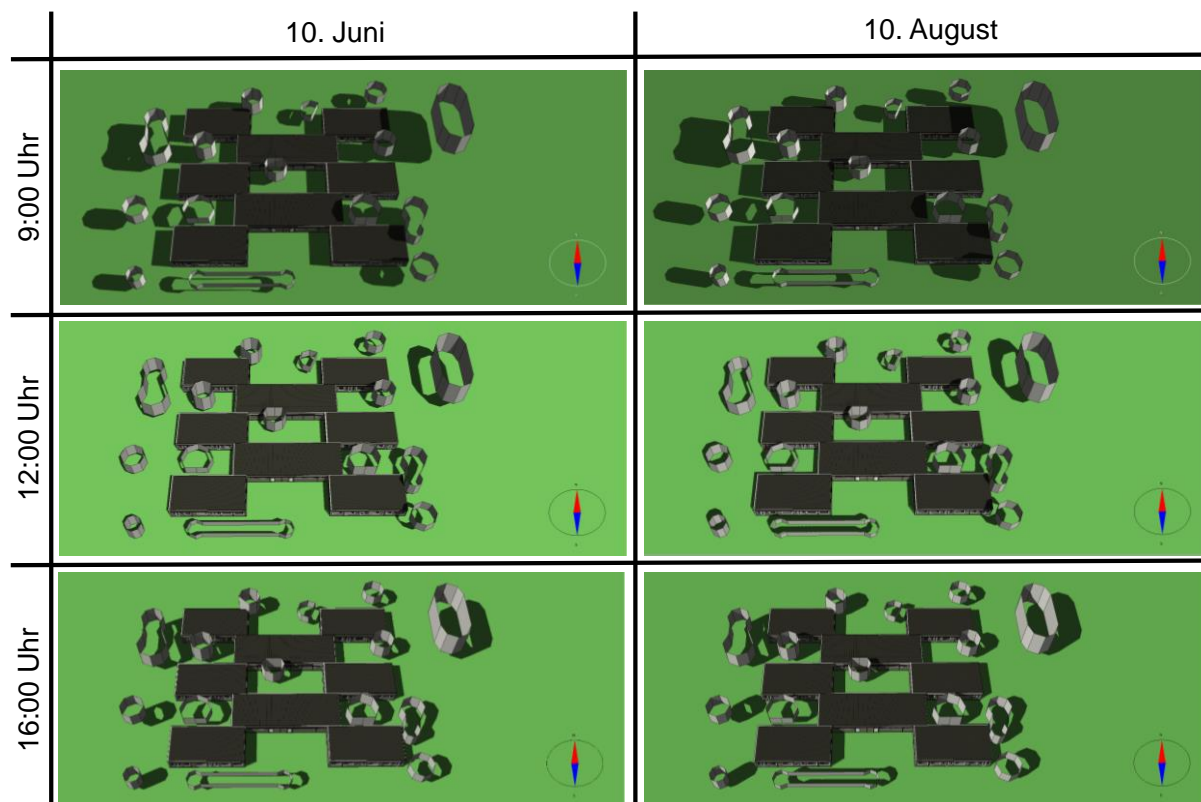


Abbildung 7: Verschattungssituation des Gebäudekomplexes zu ausgewählten Tageszeiten

Der in Abbildung 7 abgebildete Tagesverlauf vom 10. Juni und 10. August verdeutlicht, dass Gebäudebereiche der östlichen Kinderkrippe am Morgen und Gebäudebereiche der westlichen Kindertagesstätte am Nachmittag teilweise verschattet werden. Durch die Verschattung der Kita am Nachmittag werden insbesondere die südlich ausgerichteten Fensterfronten vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt. Jedoch tritt die hier dargestellte Verschattung durch Bäume sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf nicht immer in gleicher Intensität auf.

Die Verschattung des Gebäudekomplexes durch die Bäume stellt eine wichtige Randbedingung dar, die sowohl bei der Analyse des sommerlichen Wärmeschutzes als auch bei der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebäude zwingend berücksichtigt werden muss. Wenn nicht anders dokumentiert, wurde sie dementsprechend in den nachfolgenden Untersuchungen, die mit Hilfe der dynamisch-thermischen Gebäudesimulation durchgeführt wurden, jeweils einheitlich in den Simulationsrechnungen vorausgesetzt, um realistische und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Damit wird abweichend von der Norm DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 31) der Einfluss von Bäumen berücksichtigt. Zudem war dieses Vorgehen erforderlich, um das erstellte Simulationsmodell in einem weiteren Arbeitsschritt entsprechend mit Raumtemperaturmessungen in der Kindertagesstätte validieren zu können.

2.2 Sonneneintragskennwerteverfahren

Zur ersten Einschätzung des sommerlichen Wärmeschutzes im IST-Zustand wurde das Sonneneintragskennwerteverfahren nach DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 24ff.) für die zwei Gruppenräume des südlichen Traktes der Kindertagesstätte (Kita_S) durchgeführt. Diese weisen jeweils südliche Fensterfronten auf, die mit außen liegenden Rollläden versehen sind. Der zweite Gruppenraum verfügt darüber hinaus auch über eine nördliche Fensterfront. Die Ergebnisse des Sonneneintragskennwerteverfahrens sind in der Anlage 1 zusammengestellt.

In einem ersten Schritt erfolgte, aufgrund des geografischen Standortes in Erfurt, die Zuordnung zur Sommerklimaregion B nach DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 21). Darüber hinaus wurden die geometrischen Randbedingungen zusammengestellt, die wirksamen Wärmekapazitäten der zwei Räume nach DIN EN ISO 13786:2008-04 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2008, S. 16f.) berechnet und im Anschluss nach DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 27) beurteilt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die untersuchten Räume durch eine „Leichte Bauart“ charakterisiert sind. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse.

Trakt / Raum	Fenster-Orientierung	Wirksame Wärmekapazität	Fensterflächenanteil	S_{zul}	S_{vor}	Ausnutzungsgrad	Nachweis erfüllt bzw. nicht erfüllt
Kita_S / Gruppenraum 1	Süd	Leichte Bauart	29%	0,02	0,05	224%	Nachweis nicht erfüllt
Kita_S / Gruppenraum 2	Süd / Nord	Leichte Bauart	28%	0,06	0,09	151%	Nachweis nicht erfüllt
Annahmen: g – Wert der Fenster: 0,6 F_c – Wert der Fenster: 0,3 (Außenrollläden); 1,0 (Keine Verschattung) Keine Nachtlüftung Sommerklimaregion B nach DIN 4108-2							

Tabelle 2: Zusammenfassung des Sonneneintragskennwerteverfahrens

Die Tabelle 2 zeigt weiterhin auf, dass die Nachweise für die zwei Gruppenräume mit 224 % bzw. 151 % nicht erfüllt sind. Dies ist damit begründet, dass in der Kindertagesstätte keine Nachtauskühlung durch offene Fenster oder durch eine Lüftungsanlage erfolgt. Wird im Vergleich dazu eine Nachtlüftung von $n = 2 \text{ h}^{-1}$ angesetzt, ergeben sich Ausnutzungsgrade von 70 % (Gruppenraum 1) bzw. 80 % (Gruppenraum 2) und der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit Hilfe des Sonneneintragskennwerteverfahrens wäre erfüllt.

2.3 Dynamisch-thermische Gebäudesimulation

2.3.1 Allgemeines und Bewertungsgrundlagen

Die dynamisch-thermische Gebäudesimulation stellt momentan das genaueste Instrument dar, um sowohl den sommerlichen Wärmeschutz und somit die thermische Behaglichkeit im Gebäudeinneren als auch die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes zu überprüfen (Schünemann, Schiela, & Ortlepp, Upgrading potentials of founding epoch houses for heat waves intensified by climate change, 2020). Mit Hilfe einer thermischen Gebäudesimulation können Innenraumtemperaturen raumbezogen und in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung sowie in Abhängigkeit von verschiedenen Rand- und Rahmenbedingungen berechnet werden. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit den Tagesgang der Innenraumtemperatur unter dem dynamischen Einfluss der Außenlufttemperatur, der Solarstrahlung und des Nutzerverhaltens stunden genau darzustellen.

Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurde das Simulationsprogramm IDA ICE 4.8 (IDA Indoor Climate and Energy) verwendet, welches vom schwedischen Unternehmen „EQUA Simulation AB“ entwickelt wurde (IDA Indoor Climate and Energy). Neben der Innenraumtemperatur wird in dem Simulationsprogramm auch die operative Temperatur ausgegeben. Diese gibt den Mittelwert der Raumlufttemperatur und der flächenanteilig gemittelten Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen an und dient als Grundlage für die Auswertung der in diesem Zwischenbericht dargestellten Ergebnisse (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 9).

Zur Auswertung von Simulationsrechnungen können im Allgemeinen verschiedene Kriterien verwendet werden. Für die nachfolgenden Untersuchungen wurden einheitlich die folgenden drei Merkmale benutzt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen:

1. Maximalwert der operativen Temperatur
2. Übertemperaturgradstunden in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013)
3. Überschreitungshäufigkeit zu den Bezugstemperaturen 26 °C, 28 °C und 30 °C (Zeitraum: Juni bis September)

Die ersten zwei Kriterien wurden jeweils bezogen auf die Zeitperiode vom 1. Januar bis 31. Dezember bestimmt und ausgewertet. Dabei ist zu beachten, dass nach der Norm DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 28) zur Berechnung der Übertemperaturgradstunden eine Bezugstemperatur von 26° C maßgebend wird, da der geografische Standort der Kindertagesstätte in Erfurt ist und somit der Sommerklimaregion B zugeordnet werden kann. Nach der Norm ist außerdem für Nicht-Wohngebäude ein Grenzwert der Übertemperaturgradstunden von 500 Kh/a während der Nutzungszeit zu berücksichtigen. Dieser ist jedoch in den hier dargestellten Untersuchungen nur bedingt maßgebend, da abweichend von der Norm andere Randbedingungen angenommen wurden. Demzufolge wird ausschließlich ein Vergleich der Ergebnisse vorgenommen. Das dritte Kriterium der Überschreitungshäufigkeiten beschreibt den Anteil der Stunden innerhalb einer Periode, in der eine bestimmte Temperatur überschritten wird. Als Referenztemperaturen wurden in Anlehnung an DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 28) die Temperaturen 26 °C, 28 °C und 30 °C gewählt.

2.3.2 Simulationsrandbedingungen

a) Wetterdatensatz

Für eine dynamisch-thermische Gebäudesimulation ist insbesondere die Wahl des Wetterdatensatzes als Eingangsparameter von hoher Bedeutung, da dieser einen signifikanten Einfluss auf die Hitzebelastung im Gebäude hat. In einem ersten Schritt wurden hierfür die in Tabelle 3 aufgeführten Datensätze mit Hilfe ausgewählter Merkmale verglichen. Bei den Datensätzen handelt es sich zum einen um das nach der Norm DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013, S. 29) anzusetzende Testreferenzjahr (TRY) mit der Bezeichnung „TRY-2010-04-Jahr“. Dies ist ein synthetischer Wetterdatensatz, der die klimatischen Verhältnisse eines durchschnittlichen Jahres der Gegenwart für die Region Potsdam widerspiegelt. Außerdem wurden die ortsgenauen Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes ausgewertet, die für die Bundesrepublik Deutschland in einer Auflösung von 1 km² zur Verfügung stehen und somit die Standortbedingungen der Kindertagesstätte (u. a. Geländehöhe, Stadt- und Landeffekt) annäherungsweise berücksichtigen (Deutscher Wetterdienst, 2017). Es handelt sich dabei um Datensätze, die die klimatischen Verhältnisse eines durchschnittlichen Jahres und eines Jahres mit einem extremen Sommer sowohl für die Gegenwart als auch für die Zukunft beschreiben. Darüber hinaus wurde ein konkreter Wetterdatensatz für die Erfurter Oststadt für das Jahr 2019 aus Messdaten erstellt, der insbesondere für die Validierung des Simulationsmodells erforderlich war. Dieser musste dabei folgende meteorologische Größen in Stundenaufösung beinhalten, um in das Simulationsprogramm implementiert zu werden:

- Außenlufttemperatur in 2 m Höhe
- Relative Luftfeuchte in 2 m Höhe
- Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 10 m Höhe
- Direkte und diffuse Solarstrahlung

Für die Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes am Flughafen Erfurt sind zwar die wesentlichen meteorologischen Größen als Stundenwerte aufgelöst abrufbar, allerdings liegt der Standort dieser Station 200 m höher als die Erfurter Oststadt und beinhaltet zudem in den Temperaturmessungen nicht den Stadt- und Landeffekt. Entsprechend sind die Außenlufttemperaturen und Windmessungen nur bedingt für den Standort der Kindertagesstätte nutzbar. Zudem liefert diese Station keine Informationen zu direkter und diffuser Solarstrahlung. Aufgrund dieser Tatsachen wurde ein Datensatz aus folgenden Daten bzw. Informationen zusammengestellt:

- **Außenlufttemperatur und relative Luftfeuchte:** In den Sommermonaten 2019 wurden in unmittelbarer Nähe der Kindertagesstätte auf einer schattigen Grünfläche zeitaufgelöste Temperatur- und Feuchtemessungen der Außenlufttemperatur durchgeführt.
- **Windgeschwindigkeit und Windrichtung:** Für die erforderlichen Daten zur Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden Messwerte der vom Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz betriebenen Messstation „Bautzener Weg“ in Erfurt verwendet (Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz, 2020). Die Station befindet sich 1,2 km nordöstlich des Untersuchungsobjekts und misst Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 10 m Höhe.
- **Direkte und diffuse Solarstrahlung:** Zusätzlich zu den Außenlufttemperatur- und Windverhältnissen werden für die thermische Gebäudesimulation Daten zur direkten und diffusen Solarstrahlung mit einer Zeitaufösung von mindestens einer Stunde benötigt. Hierfür wurden die Wetterdaten einer Messstation am Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz in Jena-

Göschwitz genutzt und innerhalb der Gebäudesimulation verwendet (Deutscher Wetter-Daten Server (DWDS), 2020). Der Standort dieser Station befindet sich ca. 40 km nordwestlich der Kindertagesstätte.

Merkmal	TRY2010-04 Jahr	TRY2015 Jahr	TRY2015 Sommer	TRY2045 Jahr	TRY2045 Sommer	Datensatz Erfurter 2019
Jahresdurchschnittstemperatur [°C]	9,5	9,8	10,4	11,2	11,4	10,8
Durchschnittstemperatur im Sommer von Juni bis August [°C]	18,1	18,2	19,1	19,4	20,5	21,1
Maximaltemperatur [°C]	35,4	33,8	35,6	35,1	35,3	37,2
Anzahl heißer Tage (maximale Außentemperatur >30°C)	5	3	13	7	15	24
Anzahl Tropennächte (minimale Außentemperatur von 18-6 Uhr >20°C)	1	2	3	2	5	4
Jährliche Summe der direkten Strahlung [kWh/(m²a)]	532	460	532	574	596	704
Jährliche Summe der diffusen Strahlung [kWh/(m²a)]	542	579	564	573	584	432

Tabelle 3: Vergleich der Wetterdatensätze mit Hilfe ausgewählter Merkmale

Ein Vergleich der Datensätze zeigt, dass der Erfurter Wetterdatensatz für das Jahr 2019 sowohl mit 21,1 °C die höchste Sommerdurchschnittstemperatur als auch mit 24 Tagen die größte Anzahl an heißen Tagen aufweist. Lediglich mit 4 Nächten ist die Anzahl der Tropennächte gegenüber den ortsgenauen Testreferenzjahren (TRY2015 und TRY2045) geringer. Das nach Norm anzusetzende Testreferenzjahr „TRY 2010-04-Jahr“ weist mit einer Durchschnittstemperatur im Sommer von 18,1 °C, fünf heißen Tagen und einer Tropennacht die geringsten Werte aller Datensätze auf. Mit Blick auf die ortsgenauen Testreferenzjahre ist festzustellen, dass von den gegenwärtigen zu den zukünftigen Klimabedingungen sowohl eine Zunahme der Sommerdurchschnittstemperatur von 18,2 °C um 2,3°C auf 20,5 °C als auch eine Zunahme von heißen Tagen und Tropennächten zu verzeichnen ist. Im Hinblick auf die Solarstrahlung weisen das ortsgenaue TRY-Sommer der Zukunft mit 1180 kWh/(m²a) und der Erfurter Wetterdatensatz für das Jahr 2019 mit 1136 kWh/(m²a) die höchste solare Strahlung auf. Die anderen Datensätze haben mit einer Spanne von 1075 bis 1147 kWh/(m²a) ähnliche Solarstrahlungswerte.

Für die nachfolgenden Untersuchungen wurde der Erfurter Wetterdatensatz für das Jahr 2019 verwendet. Dieser weist neben der höchsten Sommerdurchschnittstemperatur auch die größte Anzahl an heißen Tagen auf. Die Ergebnisse liegen somit auf der sicheren Seite und sind vor allem für zukünftige Hitzeperioden mit sehr hohen Temperaturen von Bedeutung.

b) Innere Lasten

Neben den äußeren Wärmeeinträgen, die durch den zuvor beschriebenen Wetterdatensatz charakterisiert werden, sind in einer thermischen Gebäudesimulation auch die inneren Wärmeeinträge durch Personen, Geräte und Beleuchtung zu berücksichtigen. Hierfür wurden Lastprofile erstellt, die sowohl die jeweilige Last (Anzahl Personen, Wärmeabgabe von Geräten in Watt) als auch den jeweiligen zeitlichen Verlauf über den Tag beinhalten. Lasten, die infolge der Beleuchtung entstehen, wurden an dieser Stelle vernachlässigt, da angenommen wird, dass die Beleuchtung während der Sommermonate nur geringfügig Anwendung findet. Die angenommenen Lastprofile für die Gruppenräume sind in nachfolgender Abbildung 8 dargestellt.

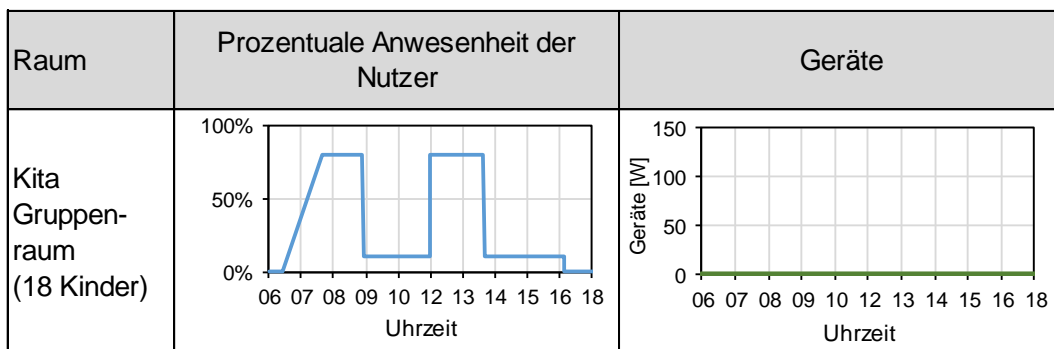


Abbildung 8: Angenommene innere Lasten durch Personen und Geräte

Es wird folglich davon ausgegangen, dass sich die Kinder im Sommer tagsüber nur anteilig im Gruppenraum aufhalten und sich vor allem am Vor- und Nachmittag draußen auf den Spielplätzen befinden. Wenn die Kinder in den Gruppenräumen anwesend sind, wird ein Aktivitätsgrad von 1 met und ein der Witterungsbedingungen angepasster Bekleidungsgrad angenommen. Innere Wärmelasten, die infolge Geräte entstehen, werden in den Gruppenräumen vernachlässigt.

c) Fensterlüftungs- und Verschattungsverhalten

Neben dem Wetterdatensatz und den inneren Wärmeeinträgen durch Personen und Geräte sind vor allem die Annahmen zum Fensterlüftungs- und Verschattungsverhalten wichtige Eingangsparameter für eine thermische Gebäudesimulation. Für die Kindertagesstätte in der Halleschen Straße 19a wurden nach Absprache mit den Betreuer*innen die in Abbildung 9 dargestellten Profile angenommen:

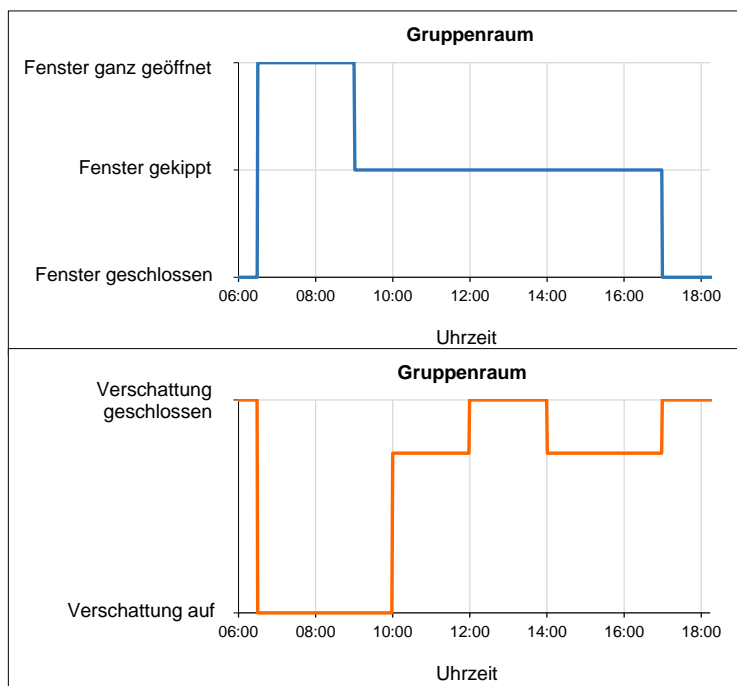


Abbildung 9: Fensterlüftungs- und Verschattungsverhalten in den Gruppenräumen

Ein Fenster jedes Gruppenraumes wird demnach von 6.30 Uhr bis 9.00 Uhr jeweils ganz geöffnet und ab 9.00 Uhr bis 17.00 Uhr gekippt. Die Innentüren der einzelnen Trakte wurden dabei geöffnet abgebildet, sodass in den nachfolgenden Untersuchungen auch ein Luftwechsel zwischen den Räumen berücksichtigt wird.

Im Hinblick auf das Verschattungsverhalten wird angenommen, dass der außen liegende Sonnenschutz an den südlichen Fensterfronten außerhalb der Öffnungszeiten und im Zeitraum von 10.00 Uhr bis 17.00 Uhr komplett bzw. teilweise geschlossen ist. Die hier beschriebenen Randbedingungen gelten von Montag bis Freitag. An den Wochenenden bleiben die Fenster und auch der Sonnenschutz geschlossen.

2.3.3 Validierung des Simulationsmodells

Grundlage für die Validierung des Simulationsmodells bilden die vom 24. Mai bis 7. Oktober 2019 durchgeführten Innenraummessungen im Referenzgebäude. Dabei wurden zeitaufgelöst die Innenraumtemperatur, die relative Luftfeuchte und der CO₂-Gehalt gemessen. Dementsprechend konnten wichtige Informationen zum thermischen Verhalten des Gebäudes und zum Nutzerverhalten, insbesondere zum Fensterlüftungs- und Verschattungsverhalten, gewonnen werden.

Insgesamt wurden in 3 Gruppenräumen der Kindertagesstätte Messungen durchgeführt. Mit Hilfe der nachfolgenden Abbildung 10 bzw. Tabelle 4 wird ein allgemeiner Überblick über die Ergebnisse des Innenraummessprogramms gegeben.

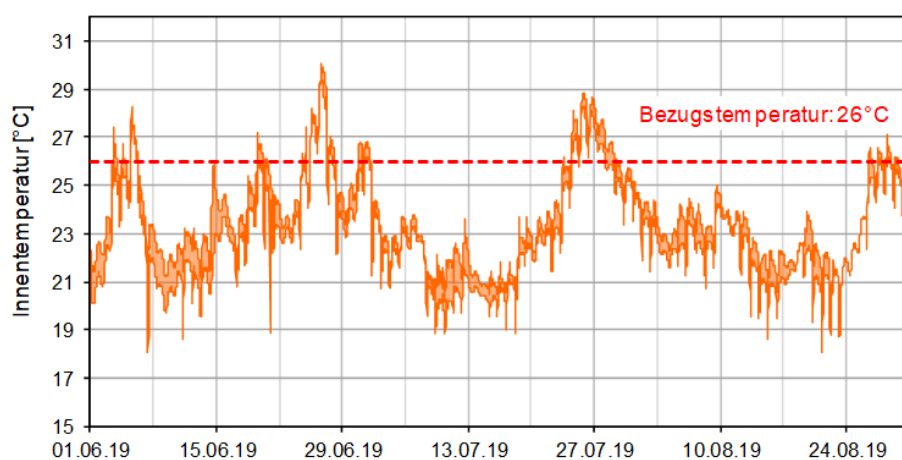


Abbildung 10: Überblick über die Innenraummessungen 2019

Das in Abbildung 10 dargestellte Diagramm zeigt den gemessenen Temperaturbereich mit den in den drei Räumen ermittelten minimalen und maximalen Innenraumtemperaturen zur jeweiligen Zeit. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass von Juni bis August in den drei Gruppenräumen ähnliche Temperaturverläufe auftreten und der Unterschied zwischen minimalen und maximalen Temperaturwert im Mittel 0,7 K beträgt und somit gering ist. Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt darüber hinaus die gemessenen maximalen Innenraumtemperaturen sowie die in Anlehnung an die Norm DIN 4108-2:2013-02 (DIN Deutsches Institut für Normung, 2013) berechneten Übertemperaturgradstunden zur Bezugstemperatur von 26 °C.

Trakt / Raum	Fensterorientierung	Maximaltemperatur	Übertemperaturgradstunden	
		T _{max} (Nutzungszeit)	GH26 (Gesamter Zeitraum)	GH26 (Nutzungszeit)
Kita_N / Gruppenraum 1	Süd	29.8 °C	232 Kh	79 Kh
Kita_M / Gruppenraum 2	Nord / Süd	30.1 °C	350 Kh	89 Kh
Kita_S / Gruppenraum 2	Nord / Süd	29.8 °C	242 Kh	71 Kh

Tabelle 4: Ergebnis der Auswertung der Innenraummessungen 2019

Im gesamten Messzeitraum wurden in den Räumen Maximaltemperaturen von 29,8 °C bis 30,1 °C gemessen. Zudem ergibt sich bei der Ermittlung der Übertemperaturgradstunden ein Wertebereich von 71 – 89 Kh (reale Nutzungszeit Montag bis Freitag von 6.30 Uhr – 17.00 Uhr). Bezogen auf die gesamte Sommerperiode verdeutlicht dieser Bereich, dass in den drei Räumen im Sommer 2019 eine geringe Hitzebelastung herrschte.

Ziel der Validierung war das Nachbilden der im Sommer 2019 gemessenen Innenraumtemperaturen mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation. Dazu wurde in einem ersten Schritt der Wetterdatensatz für die Erfurter Oststadt für das Jahr 2019 im Simulationsprogramm eingespielt. Im Anschluss wurden die Wochenenden im Messzeitraum untersucht, um das thermische Verhalten des Gebäudes ohne Einfluss der Gebäudenutzung analysieren zu können. Durch eine iterative Anpassung von einer Vielzahl an Randbedingungen (u. a. Bauphysik, Türöffnungen, Sonnenschutz, innere Dauerlasten) konnten die gemessenen Temperaturverläufe im Ergebnis qualitativ gut nachgebildet werden.

In einem zweiten Schritt wurden die gemessenen und simulierten Innenraumtemperaturen bei Anwesenheit der Nutzer abgeglichen. Auch hier konnten durch iterative Anpassung des Nutzerverhaltens die gemessenen Temperaturverläufe qualitativ gut abgebildet werden. Dabei wurde insbesondere das Lüftungsverhalten und der Einsatz von Verschattungen (Außen liegender Sonnenschutz Südfassade) in mehreren Simulationsvarianten vertieft untersucht.

2.3.4 Ergebnisse der Simulationsrechnungen

Nach der Implementierung der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Randbedingungen wurde die operative Innenraumtemperatur für jede Stunde des Zeitraums 1. Januar bis 31. Dezember 2019 und für jeden Raum des Gebäudekomplexes mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation berechnet. Anschließend wurde der Temperaturverlauf anhand der in Abschnitt 2.3.1 dargestellten Kriterien ausgewertet und der sommerliche Wärmeschutz entsprechend bewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 zusammengefasst.

IST-Zustand		Maximalwert operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit		
				26°C	28°C	30°C
Trakt	Raum	[°C]	[Kh]	[%]	[%]	[%]
Kita_S	Gruppenraum 1	29.9	133	10%	2%	0%
	Gruppenraum 2	29.8	144	10%	3%	0%
Kita_M	Gruppenraum 1	29.5	116	9%	2%	0%
	Gruppenraum 2	29.7	134	10%	2%	0%
Kita_N	Gruppenraum 1	29.5	114	9%	2%	0%
	Gruppenraum 2	29.7	145	11%	2%	0%

Abbildung 11: Sommerlicher Wärmeschutz im IST-Zustand resultierend aus der thermischen Gebäudesimulation

Im Allgemeinen ist festzustellen, dass in den untersuchten Gruppenräumen im aktuellen IST-Zustand eine ähnliche Hitzebelastung auftritt. So beträgt die Differenz der maximalen Innenraumtemperatur lediglich 0,4 K. Auch der geringfügige Unterschied von 31 Kh in den Übertemperaturgradstunden und die nahezu gleichen Überschreitungshäufigkeiten bestätigen diese Aussage.

Die auftretenden Unterschiede in den Übertemperaturgradstunden sind zum einen damit begründet, dass die Intensität der Verschattung durch die Bäume auf die Gruppenräume unterschiedlich ist. Zum anderen wurde im Gruppenraum 1 des südlichen Traktes der Kindertagesstätte exemplarisch ein anderes Fensterlüftungsverhalten realisiert. So werden in diesem Raum gleich mehrere Fenster tagsüber

gekippt, sodass mehr warme Luft in den Raum gelangt. Im Vergleich zu den identischen Gruppenräumen des mittleren und nördlichen Traktes, wo nur ein Fenster tagsüber gekippt ist, ergibt sich somit eine leichte Erhöhung der Übertemperaturgradstunden um 17 Kh bzw. 19 Kh. Auf den Einfluss des Fensterlüftungsverhaltens wird im Abschnitt 2.5 noch einmal vertieft eingegangen.

Des Weiteren erreicht in Anlehnung an die Norm DIN 4108-2:2013-02 kein Raum den Grenzwert der Übertemperaturgradstunden von 500 Kh/a in der Nutzungszeit von Montag bis Freitag im Zeitraum von 6.30 Uhr bis 17.00 Uhr, sodass die Hitzebelastung auch im sehr hitzebelasteten Sommer 2019 insgesamt als gering einzustufen ist. Handlungsbedarf zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes besteht somit grundsätzlich für die Gruppenräume der Kindertagesstätte nicht. Jedoch wird in den folgenden Abschnitten untersucht, welche Auswirkungen verschiedene Maßnahmen auf den sommerlichen Wärmeschutz haben.

2.4 Einfluss des Klimawandels

Um den Einfluss des Klimawandels auf den sommerlichen Wärmeschutz (bzw. Kühlenergiebedarf) und die Entwicklung des Heizwärmebedarfs zu bestimmen, wurden zwei weitere Simulationsrechnungen für den IST-Zustand durchgeführt. Dabei wurde mit Hilfe von Testreferenzjahren der Wetterdatensatz als Eingangsparameter der thermischen Gebäudesimulation geändert, um auch die zukünftigen Klimarandbedingungen in den Untersuchungen zu berücksichtigen. Außerdem konnte durch dieses Vorgehen eine Einordnung der Auswirkungen des Wetterdatensatzes für das Jahr 2019 für die Erfurter Oststadt vorgenommen werden.

Für die hier betrachteten Detailuntersuchungen wurden die ortsgenauen Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes verwendet (Deutscher Wetterdienst, 2017). Eine Auswertung der Simulationsergebnisse ist in nachfolgender Abbildung 12 beispielhaft für den zweiten Gruppenraum des mittleren Traktes der Kindertagesstätte dargestellt. Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs wurden dabei folgende Annahmen getroffen und innerhalb der thermischen Gebäudesimulation umgesetzt:

- Raum-Solltemperatur: 21 °C
- Grundluftwechsel von 0,3 h⁻¹
- Verschattung wochentags von 17.00 Uhr – 6:30 Uhr & 12:00 Uhr – 14:00 Uhr und am Wochenende geschlossen

IST-Zustand Kita_M_Gruppenraum 2	Maximalwert operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Heizwärmebedarf
Wetterdatensatz	[°C]	[Kh]	[kWh/m²a]
Datensatz Erfurt 2019	29.7	134	114
TRY 2015_M Mittleres Jahr der Gegenwart	27.5	13	119
TRY 2045_S Sommerfokussiertes Jahr der Zukunft	29.0	118	108

Abbildung 12: Einfluss des Klimawandels auf die Hitzebelastung und den Heizwärmebedarf

Der Vergleich der beiden Testreferenzjahre zeigt, dass mit den zukünftigen Klimarandbedingungen eine Zunahme der Hitzebelastung im Gruppenraum zu erwarten ist. So nehmen die maximale Innenraumtemperatur um 1,5 K und die Übertemperaturgradstunden (Bezugstemperatur 26 °C) um 105 Kh zu. Eine aktive Kühlung des Raumes ist jedoch nicht erforderlich, da die Hitzebelastung insgesamt als gering einzustufen ist (Grenzwert 500 Kh/a). Durch den Vergleich wird auch ersichtlich, dass sich der Heizwärmebedarf mit den zukünftigen Klimarandbedingungen für den hier betrachteten Raum um 11 kWh/m²a reduziert.

Die Einordnung des Wetterdatensatzes für das Jahr 2019 für die Erfurter Oststadt veranschaulicht, dass die maximalen Innenraumtemperaturen und Übertemperaturgradstunden um 0,7 K bzw. 16 Kh höher sind als die des sommerfokussierten Jahres der Zukunft (TRY 2045_S). Der Sommer 2019 ist demzufolge mit einem warmen Sommer der Zukunftsprojektion des DWD vergleichbar. Im Hinblick auf den Heizwärmebedarf ist festzuhalten, dass dieser zwischen den beiden Testreferenzjahren liegt.

2.5 Einfluss des Fensterlüftungsverhaltens

Wie bereits im Abschnitt 2.3.4 erklärt, wurde für den Gruppenraum 1 des südlichen Traktes der Kindertagesstätte ein anderes Fensterlüftungsverhalten angenommen. Im Vergleich zu den identischen Gruppenräumen des mittleren und nördlichen Traktes, wo nur ein Fenster tagsüber gekippt ist, werden in diesem Raum gleich mehrere Fenster tagsüber gekippt. Abbildung 13 zeigt hierzu den Verlauf der Innentemperatur für den ersten Gruppenraum des südlichen (rote Linie: mehrere Fenster gekippt) und mittleren Traktes (blaue Linie: ein Fenster gekippt) der Kindertagesstätte für den IST-Zustand.

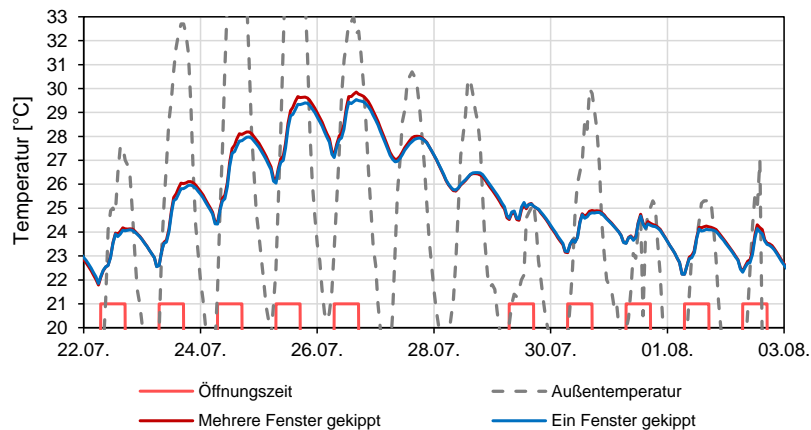


Abbildung 13: Einfluss des Fensterlüftungsverhaltens auf die Hitzebelastung im Gruppenraum

Das in Abbildung 13 dargestellte Diagramm zeigt, dass auch das Fensterlüftungsverhalten während Hitzeperioden einen Einfluss auf die Innenraumtemperaturen hat. Durch die Lüftungsvariante mit mehreren geöffneten Fenstern gelangt mehr warme Außenluft in den Raum, was sich im Vergleich zur Variante mit nur einem gekippten Fenster durch ca. 0,3 K höhere Maximaltemperaturen widerspiegelt. Während Hitzeperioden wird somit empfohlen nur ein Fenster im Gruppenraum zu kippen, um die Zufuhr von Frischluft sicherzustellen.

3 Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen

3.1 Vorbemerkungen

Die Entwicklung bzw. Einordnung von konkreten Hitzeanpassungsmaßnahmen für den Gebäudekomplex in der Halleschen Straße 19a basiert auf den 4 Anpassungsstrategien, die im Wissenschaftlichen Konzept zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes im Gebäudebestand der Eisenbahner-Wohnungsbaugenossenschaft Dresden eG definiert wurden. Dabei handelt es um (A) Minderung der Wärmeeinträge, (B) Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit, (C) Optimierung der Lüftung und (D) Kühlung. Wie in Abschnitt 1.1 bereits beschrieben, wird für die Kindertagesstätte bzw. Kinderkrippe ab dem Jahr 2022 eine umfangreiche Sanierung beabsichtigt (Energieeinsparverordnung, 2015). Auf der Grundlage des aktuellen IST-Zustandes werden hierfür die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen untersucht.

3.2 Strategie A: Minderung der Wärmeeinträge

3.2.1 Sonnenschutz der südlichen Fensterfronten

Die südlichen Fensterfronten von der Kindertagesstätte und der Kinderkrippe verfügen bereits im aktuellen IST-Zustand über einen außen liegenden Sonnenschutz in Form von Außenrollläden (Siehe Abschnitt 1.3). Da die Außenrollläden nur manuell gesteuert werden können, ist die Wirksamkeit der Maßnahme vor allem von dem Nutzerverhalten abhängig. Nur wenn die Nutzer die Maßnahme akzeptieren und auch korrekt anwenden, kann diese ihre Wirkung entfalten. Um die Wirksamkeit dieser Maßnahme zu überprüfen, wurde in einem ersten Untersuchungsschritt angenommen, dass die Sonnenschutzvorrichtungen nicht mehr vorhanden sind (Variante A.1). Generell zeigten die Simulationen und Befragungen der Betreuer*innen, dass der außen liegende Sonnenschutz nahezu vorbildlich genutzt wird.

3.2.2 Verschattung durch Bäume

Wie bereits im Abschnitt 2.1 erläutert, ist der eingeschossige Gebäudekomplex in der Halleschen Straße 19a von einer Vielzahl an Bäumen umgeben. Diese verschatten dabei vor allem am Nachmittag die südlichen Fensterfronten von Kindertagesstätte und Kinderkrippe. Um auch den Einfluss der Verschattungseffekte der Bäume aufzuzeigen, wurde zusätzlich zum fehlenden Sonnenschutz eine Variante untersucht, in der die Bäume nicht berücksichtigt werden (Variante A.2).

3.2.3 Dämmung der Außenbauteile

Um im Sinne des Klimaschutzes den winterlichen Wärmeschutz des Gebäudes zu verbessern, wurde angenommen, dass die Außenwände mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen werden. Dabei wurde ein Polystyrolämmstoff angesetzt, der eine Wärmeleitfähigkeit von $0,032 \text{ W/mK}$ und eine Dämmstoffdicke von 12 cm aufweist. Zusätzlich zu dieser Maßnahme wurde die Dämmung der Geschossdecke in allen Bereichen von 15 cm auf 20 cm erhöht (Variante A.3).

Außerdem wurden in einer weiteren Variante A.4 die vorhandenen Fenster, die eine 2-Scheibenverglasung haben, durch Fenster mit einer 3-Scheibenverglasung ersetzt. Für die 3-fach verglasten Fenster wurde dabei ein U_w -Wert von $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ein g -Wert von 0,5 angenommen. Diese Maßnahme wurde in Kombination mit der Dämmung der Außenwände bzw. der Geschossdecke (Variante A.3) untersucht.

In einer Variante A.5 wurde zusätzlich zur Dämmung der Außenwände und der Geschossdecke (Variante A.3) vorausgesetzt, dass der Fußbodenaufbau in den Räumen saniert wird. Demzufolge wurde eine 5 cm starke Estrichschicht angesetzt, die auf eine 10 cm dicke Dämmung aufgebracht wird.

3.3 Strategie 3: Optimierung des Luftwechsels

Zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes des Gebäudekomplexes in der Halleschen Straße 19a wurden mit den Projektpartnern weiterhin Möglichkeiten zur Optimierung des Luftwechsels (Strategie C) diskutiert. Hierzu wurde insbesondere der Einbau von Lüftungsanlagen untersucht, um den Luftaustausch zu verbessern. Für eine vertiefte Wirksamkeitsprüfung wurde eine Lüftungsanlage, die einen Zu- und Abluftvolumenstrom von 450 m³/h sicherstellt, im Simulationsmodell implementiert (Variante C). Der gewählte Luftvolumenstrom gewährleistet dabei insbesondere die Frischluftzufuhr für die Nutzer.

Durch die Lüftungsanlagen wird kühle Außenluft angesaugt, die dann in die einzelnen Räume geleitet wird. Es wird empfohlen die Anlagen automatisch zu steuern, wenn die Innenlufttemperatur größer ist als die Außenlufttemperatur und gleichzeitig die Innenlufttemperatur eine Grenztemperatur von 23 °C überschreitet, sodass eine effektive Auskühlung der Räume erfolgen kann.

3.4 Weitere Anpassungsmaßnahmen

Neben den aufgeführten Maßnahmen zur Minderung der Wärmeeinträge und zur Optimierung des Luftwechsels können für den Gebäudekomplex durchaus weitere Hitzeanpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Jedoch sind viele dieser Maßnahmen abhängig vom Sanierungskonzept, welches zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vorliegt. So müssen insbesondere die Maßnahmen der Strategie B (Optimierung der Wärmespeicherspeicherfähigkeit) im Zusammenhang mit den Maßnahmen des winterlichen Wärmeschutzes geplant werden, um sowohl im Sommer als auch im Winter ein behagliches Raumklima gewährleisten zu können.

Der Einsatz von Klima-Splitgeräten zur aktiven Kühlung der Räume (Strategie D) wird aufgrund der Lärmbelastigung und des hohen Energiebedarfs während der Nutzung nicht empfohlen. Zudem zeigten die Innenraummessungen aus dem Jahr 2019, dass durch passive Hitzeanpassungsmaßnahmen sowie durch ein angemessenes Nutzerverhalten die Innenraumtemperaturen in der Kindertagesstätte während Hitzeperioden behaglich sind.

3.5 Zusammenfassung der ausgewählten Maßnahmen

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Maßnahmen zur Optimierung des sommerlichen und winterlichen Wärmeschutzes sind in nachfolgender Tabelle 5 zusammengefasst.

Bezeichnung	Maßnahmenstrategie	Konkrete Maßnahme
A.1	Minderung der Wärmeeinträge	<ul style="list-style-type: none"> Keine außen liegende Verschattung Südliche Fenster: Keine Berücksichtigung der Außenrollläden
A.2		<ul style="list-style-type: none"> Keine Berücksichtigung der Bäume Ursprung bildet Variante A.1
A.3		<ul style="list-style-type: none"> Dämmung der Außenbauteile Wärmedämmverbundsystem auf Außenwand (d = 12 cm) Erhöhte Deckendämmung (d = 20 cm) Ursprung bildet IST-Zustand
A.4		<ul style="list-style-type: none"> Erneuerung der Fenster Fenster mit einer 3-Scheibenverglasung Ursprung bildet Variante A.3
A.5		<ul style="list-style-type: none"> Sanierung des Fußbodenaufbaus Aufbau: Estrich (d = 5 cm) auf Dämmung (d = 10 cm) Ursprung bildet Variante A.3
C	Optimierung des Luftwechsels	<ul style="list-style-type: none"> Auslegung der Lüftungsanlagen auf 450 m³/h Ursprung bildet Variante A.4
Kombi	Maßnahmenkombination	<ul style="list-style-type: none"> Kombination der Varianten A.3, A.4, A.5 und C

Tabelle 5: Darstellung des ausgewählten Maßnahmenportfolios

4 Analyse der Wirksamkeit ausgewählter Maßnahmen

4.1 Sommerlicher Wärmeschutz

Die für die Kindertagesstätte in Tabelle 5 zusammengestellten Maßnahmen wurden für eine Wirksamkeitsprüfung im Simulationsmodell implementiert. Die Analyse der Wirksamkeit auf den sommerlichen Wärmeschutz erfolgt nachfolgend beispielhaft für die zwei nach Süden orientierten Gruppenräume des mittleren Traktes der Kindertagesstätte (Kita_M). Um zusätzlich die Auswirkungen der angesetzten Maßnahmen auf die Gruppenräume des südlichen und des nördlichen Traktes aufzuzeigen, sind diese Ergebnisse ergänzend in der Anlage 2 aufgeführt.

Kita_M_Groupenraum 1		Maximalwert operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit		
				26°C	28°C	30°C
Orientierung der Fenster: Süd		[°C]	[Kh]	[%]	[%]	[%]
Art der Maßnahme				26°C	28°C	30°C
0	IST-Zustand	29.5	116	9%	2%	0%
A.1	Kein außenliegender Sonnenschutz für die südlichen Fenster der Gruppenräume	31.1	281	16%	6%	2%
A.2	Kein außenliegender Sonnenschutz für die südlichen Fenster der Gruppenräume und keine Bäume	31.5	348	20%	8%	2%
A.3	Erhöhte Wand- und Deckendämmung; Ursprung: Ist-Zustand	28.5	53	6%	1%	0%
A.4	Fenster mit einer 3-Scheibenverglasung; Ursprung: A.3	28.0	31	4%	0%	0%
A.5	Erhöhte Dämmung im Fußbodenaufbau; Ursprung: A.3	29.0	90	8%	2%	0%
C	Lüftungsanlage; Ursprung: A.4	26.8	7	2%	0%	0%
A.3 A.4 A.5 C	Kombination der Varianten A.3, A.4, A.5 und C	27.4	18	3%	0%	0%

Abbildung 14: Wirksamkeit von Maßnahmen – Gruppenraum 1

Durch die an den südlichen Fenstern vorhandenen außen liegenden Verschattungen (Variante 0: IST-Zustand) ergeben sich im Vergleich zu der Variante ohne Sonnenschutz (Variante A.1) 165 Kh niedrige Übertemperaturgradstunden und auch die Überschreitungshäufigkeit zur Bezugstemperatur 26 °C ist um 7% geringer. Es ist somit festzuhalten, dass der außen liegende Sonnenschutz eine wichtige Hitzeschutzmaßnahme für den Gebäudekomplex darstellt.

Des Weiteren zeigt sich, dass auch der Verschattungseffekt durch die Bäume einen großen Einfluss auf die Hitzebelastung hat. Gegenüber der Variante A.1 erhöhen sich die Übertemperaturgradstunden um weitere 67 Kh (300% vom IST-Zustand) - die Überschreitungshäufigkeit erhöht sich um weitere 4% (Bezugstemperatur 26 °C). Auch Innentemperaturen von über 28 °C und 30 °C kommen in den Varianten A.1 und A.2 häufiger vor als im IST-Zustand. Neben dem fehlenden Verschattungseffekt der Bäume

heizen sich außerdem die schlecht durchlüfteten Innenhöfe im Tagesverlauf stärker auf, sodass höhere äußere Wärmeeinträge in den Raum entstehen.

Die Varianten A.3, A.4 und A.5 verdeutlichen, dass auch Maßnahmen des winterlichen Wärmeschutzes den sommerlichen Wärmeschutz verbessern können, wenn ein hitzeangepasstes Lüftungsverhalten vorausgesetzt wird. Durch die höhere Dämmwirkung der Außenbauteile wird der Wärmedurchgang von außen durch die Konstruktionen in die Innenräume reduziert. Die Übertemperaturgradstunden konnten im Vergleich zum IST-Zustand um 63 Kh (Variante A.3), 85 Kh (Variante A.4), bzw. 26 Kh (Variante A.5) reduziert werden. Bei der Variante A.5 ist festzuhalten, dass durch die bessere Dämmwirkung des Fußbodenaufbaus die Auskühlung über die Bodenplatte bzw. das Erdreich gemindert wird und somit die Hitzebelastung höher ist.

Eine Lüftungsanlage im Sinne der Anpassungsstrategie C, die einen Zu- und Abluftvolumenstrom von 450 m³/h sicherstellt, leistet einen weiteren Beitrag zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes. Gegenüber dem IST-Zustand treten Unterschiede in den Übertemperaturgradstunden von 109 Kh (6 % vom IST-Zustand) und in der Überschreitungshäufigkeit (26 °C) von 7 % auf.

Eine Kombination aus Maßnahmenpaket A.3, A.4, A.5 und C bewirkt gegenüber dem IST-Zustand eine Reduzierung der Übertemperaturgradstunden um 85 %. Auch die Maximaltemperatur und die Überschreitungshäufigkeit (26 °C) verringern sich um 2,1 °C bzw. 6 %. Innenraumtemperaturen von über 28 °C bzw. über 30 °C treten in der Kombination nicht mehr auf.

Kita_M_Gruppenraum 2		Maximalwert operative Temperatur	Übertemperaturgradstunden	Überschreitungshäufigkeit		
				26°C	28°C	30°C
Orientierung der Fenster: Süd, Nord						
Art der Maßnahme		[°C]	[Kh]	[%]	[%]	[%]
0	IST-Zustand	29.7	134	10%	2%	0%
A.1	Kein außenliegender Sonnenschutz für die südlichen Fenster der Gruppenräume	30.9	260	16%	6%	2%
A.2	Kein außenliegender Sonnenschutz für die südlichen Fenster der Gruppenräume und keine Bäume	31.3	328	19%	8%	2%
A.3	Erhöhte Wand- und Deckendämmung; Ursprung: Ist-Zustand	28.5	55	6%	1%	0%
A.4	Fenster mit einer 3-Scheibenverglasung; Ursprung: A.3	28.1	35	4%	0%	0%
A.5	Erhöhte Dämmung im Fußbodenaufbau; Ursprung: A.3	29.0	92	9%	2%	0%
C	Lüftungsanlage; Ursprung: A.4	26.9	7	2%	0%	0%
A.3 A.4 A.5 C	Kombination der Varianten A.3, A.4, A.5 und C	27.4	16	3%	0%	0%

Abbildung 15: Wirksamkeit von Maßnahmen – Gruppenraum 2

Für den zweiten Gruppenraum gelten grundsätzlich die gleichen qualitativen Aussagen wie für den Gruppenraum 1. Jedoch ist festzustellen, dass sich in den Varianten A.1 und A.2 geringere Übertemperaturgradstunden ergeben als im Gruppenraum 1, obwohl im IST-Zustand der zweite Gruppenraum eine höhere Hitzebelastung hat. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der erste Gruppenraum über eine größere Fensterfront verfügt und somit höhere Luftwechsel durch das Öffnen der Fenster (auch durch gekippte Fenster) erzielt werden können. Im Ergebnis berechnen sich die Übertemperaturgradstunden für diesen Raum auf 260 Kh (Variante A.1) bzw. 328 Kh (Variante A.2).

Ergänzend zu den Ergebnissen aus Abbildung 15 ist in Abbildung 16 der Tagesgang der Innenraumtemperatur vom 22.07.2019 bis 03.08.2019 exemplarisch für den Gruppenraum 2 dargestellt. Dabei werden sowohl die Temperaturverläufe für den IST-Zustand (Blau) und der Variante A.2 (Orange) als auch der Verlauf der Außenlufttemperatur (Grau) verglichen.

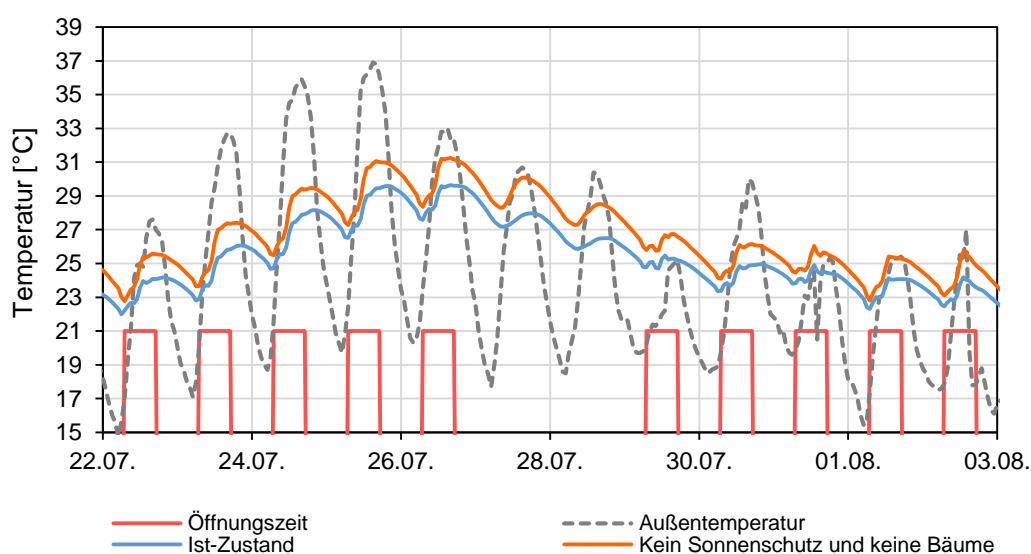


Abbildung 16: Tagesgang der Innenraumtemperatur im Gruppenraum 2 des mittleren Traktes für eine ausgewählte Hitzeperiode

Im Allgemeinen ist zu erkennen, dass der Tagesgang der Innenraumtemperatur geringer ist als der der Außenlufttemperatur. Des Weiteren ist festzuhalten, dass während der Hitzeperiode ab dem 23.07. eine tägliche Zunahme der Innenraumtemperatur zu verzeichnen ist. Durch den fehlenden Sonnenschutz und die fehlenden Verschattungseffekte der Bäume treten im Vergleich zum IST-Zustand höhere äußere Wärmeeinträge in den Innenraum auf, was sich durch ca. 2 K höhere Innenraumtemperaturen widerspiegelt.

4.2 Heizwärmebedarf

Um zusätzlich zu den Wirkungen auf den sommerlichen Wärmeschutz auch die Wirkungen der untersuchten Maßnahmen auf den winterlichen Wärmeschutz aufzuzeigen, wurde exemplarisch für die zwei Gruppenräume des mittleren Traktes der Kindertagesstätte der raumbezogene Heizwärmebedarf berechnet (Abbildung 17). Dabei wurden die in Abschnitt 2.4 aufgeführten Annahmen vorausgesetzt.

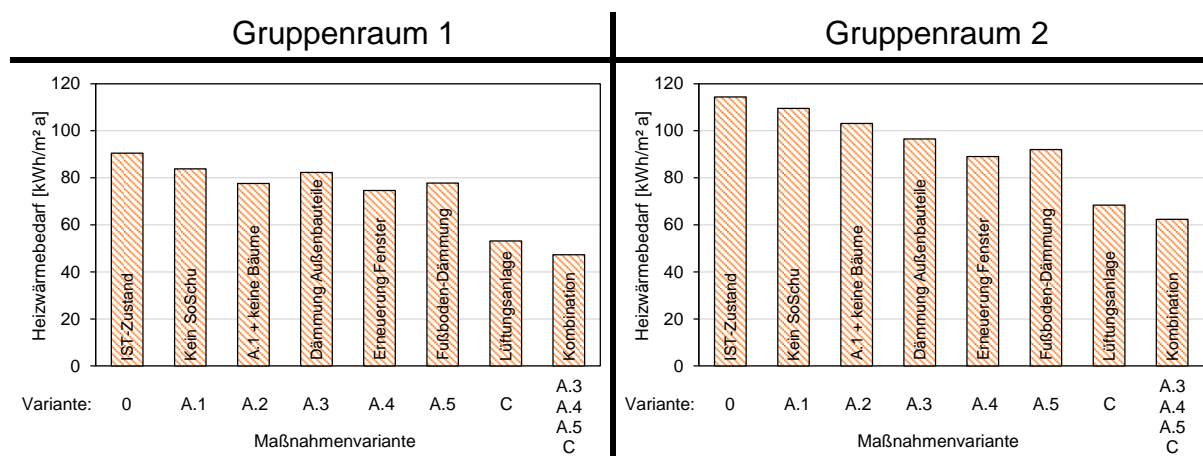


Abbildung 17: Wirkung der Maßnahmen auf den Heizwärmebedarf

Grundsätzlich ist mit jeder Maßnahmenvariante eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs gegenüber dem IST-Zustand zu verzeichnen. Der fehlende Sonnenschutz und die fehlende Verschattung durch die Bäume ermöglicht z. B. in der Heizperiode höhere solare Wärmegewinne durch die Fenster. Insgesamt konnte der Heizwärmebedarf im ersten Gruppenraum von 91 kWh/m²a (IST-Zustand) auf 78 kWh/m²a (Variante A.2) reduziert werden - im zweiten Gruppenraum reduziert sich der Heizwärmebedarf von 114 kWh/m²a (IST-Zustand) auf 103 kWh/m²a (Variante A.2). Jedoch musste bei der Berechnung angenommen werden, dass die Intensität der Verschattung durch die Bäume sowohl im Sommer als auch Winter gleich ist. Da die Bäume während der Heizperiode aber kein Blattwerk haben und somit größere solare Wärmegewinne durch die Fenster entstehen würden, werden für den IST-Zustand und die Variante A.1 die Werte des Heizwärmebedarfs überschätzt.

Einen großen Einfluss auf den Heizwärmebedarf haben die Maßnahmen der Varianten A.3, A.4, A.5 und C vor allem im zweiten Gruppenraum des mittleren Traktes. Durch die bessere Dämmwirkung der Außenbauteile ergeben sich hier Heizwärmebedarfe von 97 kWh/m²a (Variante A.3), 89 kWh/m²a (Variante A.4) und 92 kWh/m²a (Variante A.5). Die Reduktion des Heizwärmebedarfs im ersten Gruppenraum ist im Vergleich dazu geringer, da die Stärke der Deckendämmung schon im IST-Zustand hoch und die Außenwandfläche aufgrund des hohen Fensterflächenanteils gering ist. Der Effekt der neuen Fenster ist gegenüber der Variante A.3 gering, da die Fenster im IST-Zustand mit einem U-Wert von 1,1 W/m²K bereits gute wärmeschutztechnische Eigenschaften aufweisen. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Variante C) reduziert den Heizwärmebedarf auf 68 kWh/m²a. Mit den Maßnahmen wird somit ein wichtiger Beitrag zur Optimierung des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes geleistet.

Die Kombination der Varianten A.3, A.4, A.5 und C, in der die Außenbauteile wärmeschutztechnisch verbessert und die zwei Gruppenräume mit einer Lüftungsanlage versehen wurden, ergibt einen Heizwärmebedarf von 47 kWh/m²a (Gruppenraum 1) bzw. 62 kWh/m²a (Gruppenraum 2). Damit konnte der Heizwärmebedarf insgesamt auf 52% (Gruppenraum 1) bzw. 54% (Gruppenraum 2) reduziert werden.

5 Zusammenfassung

Bei dem im Beispielquartier Erfurter Oststadt ausgewählten Nichtwohngebäude handelt es sich um eine Kombination aus Kindertagesstätte und Kinderkrippe, welche im Jahr 1970 errichtet wurden. Der Gebäudekomplex besteht insgesamt aus drei Trakten für die Kindertagesstätte, drei Trakten für die Kinderkrippe und 2 Wirtschaftstrakten, die alle über Verbindungsflure miteinander verbunden sind. Die eingeschossigen Trakte von Kita und Kinderkrippe erheben sich dabei über rechteckige Grundrisse und verfügen jeweils über zwei Gruppenräume. Kennzeichnend für das Gebäude sind außerdem die aus Porenbetonsteinen hergestellten Außenwände und das als Kaltdach realisierte Dach. Zudem werden die Räume nach oben hin durch eine Gipskartonverkleidung begrenzt, auf die eine Wärmedämmung aufgebracht ist.

Im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz wurden in diesem Zwischenbericht besonders die Gruppenräume der Kindertagesstätte betrachtet. Diese werden durch eine leichte Bauweise gekennzeichnet und verfügen über südlich ausgerichtete Fensterfronten, an denen bereits Außenrollläden angebracht sind. Zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes wurde daraufhin überprüft, welche Wirksamkeit der bereits vorhandene Sonnenschutz und die Verschattung durch die Bäume haben. Außerdem wurden Varianten betrachtet, in denen die Dämmwirkung der Außenbauteile (Außenwände, Geschossdecke, Fenster, Fußboden) verbessert wurde. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit einer Lüftungsanlage zur Verbesserung des Luftwechsels untersucht. Für die Untersuchungen wurden auf der Grundlage des aktuellen IST-Zustandes thermische Gebäudesimulationen durchgeführt und die berechneten Innenraumtemperaturen für zwei Gruppenräume mit Hilfe verschiedener Kriterien ausgewertet.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der außen liegende Sonnenschutz und der Verschattungseffekt durch die Bäume einen großen Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz haben. Die fehlenden Verschattungen bewirken gegenüber dem IST-Zustand eine Zunahme der Hitzebelastung auf max. 300 % - in Bezug auf den Heizwärmebedarf ergibt sich eine Reduktion um max. ca. 14 %.

Die Dämmung der Außenbauteile (Außenwand, Geschossdecke, Fenster, Fußboden) zeigt, dass auch mit Maßnahmen des winterlichen Wärmeschutzes der sommerliche Wärmeschutz verbessert werden kann, wenn vor allem am Morgen bei kühlen Außentemperaturen ein hoher Luftwechsel garantiert wird. Des Weiteren haben die Maßnahmen auch einen positiven Einfluss auf den Heizwärmebedarf, da durch die bessere Dämmwirkung der Bauteile weniger Wärmeverluste in den Heizmonaten entstehen. So konnten für diese Varianten die Hitzebelastung auf maximal 26 % und der Heizwärmebedarf auf maximal 78 % gesenkt werden.

Auf der Grundlage des aktuellen IST-Zustandes bewirkt eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in Kombination mit der Dämmung der Außenbauteile (Außenwand, Geschossdecke, Fenster, Fußboden) die höchste Wirksamkeit in Bezug auf den Heizwärmebedarf. So konnte der Heizwärmebedarf um maximal 48 % und die Hitzebelastung um maximal 88 % im Vergleich zum IST-Zustand reduziert werden, sodass diese Maßnahmenvariante für eine mögliche Umsetzung empfohlen wird. Des Weiteren wird empfohlen, die außen liegenden Rollläden und die bestehenden Bäume zwingend im Sanierungskonzept mit zu berücksichtigen.

Literaturverzeichnis

- IDA Indoor Climate and Energy. IDA Indoor Climate and Energy 4.8 SP1. Stockholm, Schweden: EQUA Simulation AB.
- Deutscher Wetter-Daten Server (DWDS). (22. 07 2020). Wetterdaten der Messstation am Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz in Jena-Göschwitz. Von http://webs.idu.de/wetter/?site=meteosens?station=Jena_TLUG_DS abgerufen
- Deutscher Wetterdienst. (2017). Handbuch - Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach.
- DIN Deutsches Institut für Normung. (2008). DIN EN ISO 13786:2008-04 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2007. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN Deutsches Institut für Normung. (2013). DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin: Beuth Verlag.
- Energieeinsparverordnung. (2015). Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energieeinsparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV). Stand der letzten Änderung: 28. Oktober 2015.
- Schünemann, C., Schiela, D., & Ortlepp, R. (2020). Upgrading potentials of founding epoch houses for heat waves intensified by climate change. IABSE Symposium - Synergy of Culture and Civil Engineering - History and Challenges. Die Konferenz wurde auf Oktober 2020 verschoben: Paper eingereicht und angenommen.
- Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz. (22. 07 2020). Messort Erfurt Bautzner Weg. Von http://www.tlug-jena.de/luftaktuell/ls_messdaten.php?size=-4&mo_id=62620968 abgerufen

Anlagenverzeichnis

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

Anlage 2: Wirksamkeit von ausgewählten Maßnahmen