

WISSENSCHAFTLICHE ARBEIT

*Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung des
sommerlichen Wärmeschutzes für den Lesesaal des
Stadtarchivs in Dresden*

Luisa Kotte

Matrikelnummer: 4697111

Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik, Professur für Bauphysik Institution

Betreuer/-in: Peggy Freudenberg

Termin der Abgabe: Dresden, 01.02.2022

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	III
Glossar	III
1. Einleitung	1
2 Sommerlicher Wärmeschutz.....	3
2.1 Die Nachweisführung.....	3
2.2 Bilanzanteile des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-02	3
2.2.1 Nutzung.....	4
2.2.2 Die Klimaregion.....	4
2.2.3 Die Raumgeometrie	5
2.2.4 Eigenschaften der Verglasung.....	5
2.2.5 Sonnenschutzvorrichtungen.....	8
2.2.6 Einfluss der opaken Bauteile	8
2.2.7 Art und Wirkungsgrad der Lüftung.....	9
2.3 Sonneneintragskennwerteverfahren	10
2.4 Thermische Gebäudesimulationsrechnung.....	11
2.5 Beschreibung des Lesesaals des Stadtarchivs	13
2.6 Das vorhandene Raumklima im Lesesaal.....	16
2.6.1 Die Problematik des Lesesaals.....	16
2.6.2 Temperaturmessprotokoll:.....	17
2.6.3 Kontinuierliche Raumlufttemperaturmessung.....	18
3 Beschreibung der Methodik.....	21
3.1 Allgemeines.....	21
3.2 Sonneneintragskennwerteverfahren am Lesesaal	21
3.3 Simulation des Lesesaals.....	22

3.3.1	THERAKLES.....	22
3.3.2	ZUB Helena Sommer	23
3.3.3	Vergleich der Programmoberflächen	24
3.4	Ausgangssituation in beiden Programmen.....	25
3.4.1	Anpassung der Randbedingungen.....	25
3.4.2	Modellierungsmöglichkeiten der Ausgangssituation.....	26
3.5	Varianten zur Verbesserung des Sommerlichen Wärmeschutzes.....	28
3.5.1	Zusätzliche Variante in ZUB Helena Sommer	29
3.6	Benutzerdefinierte Simulation in THERAKLES	29
4	Auswertung	32
4.1	Auswertung Sonneneintragskennwerteverfahren	32
4.2	Auswertung der Variantenstudie	32
4.2.1	Auswertung der Grundflächenvergrößerung in ZUB Helena Sommer.....	34
4.3	Auswertung der benutzerdefinierten Variante.....	36
4.4	Betrachtung der Varianten auf Wirtschaftlichkeit.....	37
5	Fazit.....	39
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	39
5.2	Kritische Betrachtung zu den Ergebnissen.....	40
5.3	Bewertung der Ergebnisse	41
	Literaturverzeichnis.....	42
	Normen und Gesetze	42
	Fachbücher und PDF's	42
	Internetadressen	43
	Abbildungsverzeichnis.....	45
	Tabellenverzeichnis.....	46
	Anhang	47

ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

EnEV	Energieeinsparverordnung
F-Wert	Verglasungsanteil eines Fensters
Fc-Wert	Abminderungsfaktor der Sonnenschutzvorrichtung
f _{AG}	Fensterflächenanteil
g-Wert	Wert des Gesamtenergiedurchlassgrades
GEG	Gebäudeenergiegesetz
S	Sonneneintragskennwert
S _{vorh}	Vorhandener Sonneneintragskennwert
SWS	Sommerlicher Wärmeschutz
SZR	Scheibenzwischenraum
S _{zul}	Zulässiger Sonneneintragskennwert
TRY	Testreferenzjahr
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient

GLOSSAR

Luftwechselrate	Luftvolumenstrom der zugeführten Frischluft
Operative Temperatur	Mittelwert aus Raumlufttemperatur und der flächenanteilig gemittelten Oberflächentemperatur der Umschließungsfläche eines Raums ¹
Übertemperatur	Temperatur oberhalb eines festgelegten Grenzwertes

¹ DIN 4108-2:2013-02; S.9

1. EINLEITUNG

Der Klimawandel zeigt sich auch in Deutschland immer stärker. In den letzten Jahren sind die durchschnittlichen Temperaturen in Deutschland immer weiter angestiegen. Durch Treibhausgase und andere Emissionen sind die Zeiträume und Ausprägungen der Hitzeperioden im Sommer immer länger und stärker geworden.

Wie in der Abbildung 1-1 zu sehen ist, zählten die Jahre 2018 – 2020 zählten zu den wärmsten Jahren seit Beginn der Aufzeichnungen. Prognosen für Berlin erwarten bis 2060 einen Anstieg der durchschnittlichen Lufttemperatur von bis zu 1,2°C.²

Ein weiterer Punkt, welcher die Überhitzung vorantreibt ist die stetig wachsende Urbanisierung. Bis 2025 soll über die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten leben³.

Durch zunehmende Versiegelung des Bodens und die Verdichtung der Bebauungen wird mehr solare Strahlung von den Dächern, Wänden und Straßen absorbiert. Auch durch den Verkehr wird diese Überhitzung weiter gesteigert. Die Hitze staut sich zum Teil bis in die Nächte an, wodurch es auch vermehrt zu tropischen Nächten, also Nächten mit Temperaturen von über 20 °C, kommt. Die Anzahl solcher Nächte ist in den letzten Jahren in Deutschland um 150% gestiegen⁴. Es entstehen dadurch zum Teil sogenannte Hitzeinseln in den Städten.

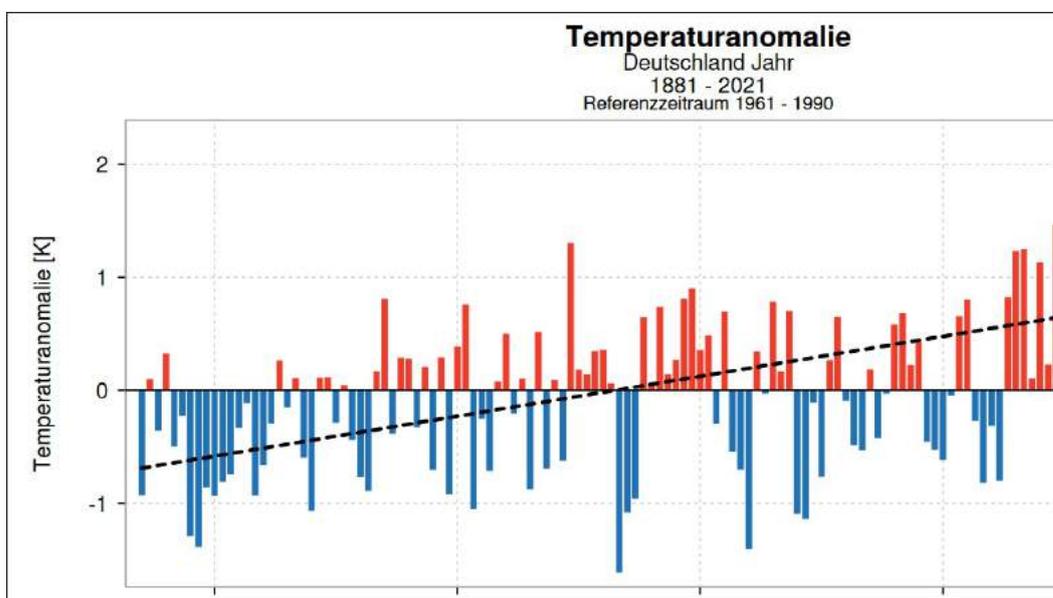


Abbildung 1-1: Temperaturanomalien in Deutschland von Jahr 1881 -2021

² „HTB_25_2017_Studie.pdf“; S. 4

³ BauNetz, „Maßnahmen gegen Überhitzung und Luftverschmutzung in Städten | Geneigtes Dach | Forschung | Baunetz_Wissen“.

⁴ „HTB_25_2017_Studie.pdf“; S. 4

Aufgrund der hohen Temperaturen, ziehen sich die Menschen in den Sommermonaten zu ca. 80 % der Zeit in die Innenräume der Gebäude zurück. Daher ist es von großer Bedeutung, sich mit dem Thema der Vorbeugung von Überhitzung in Innenräumen auseinanderzusetzen. Dabei sollten nicht nur die Überhitzung bei Tag betrachtet werden, sondern auch in der Nacht. Denn auch bei Nacht kann Überhitzung von Innenräumen negativen Einfluss auf das Wohlbefinden der Bewohner haben, wie zum Beispiel ein Schlafmangel durch zu hohe Temperaturen. Am Tag können überhitzte Räume zu Trägheit und einem starken Leistungsabfall bei Menschen führen, welche in diesen Räumen arbeiten. Befinden sich dagegen die Temperaturen eines Raums in einem thermisch behaglichen Bereich, ist dies auch immer mit einer höheren Arbeitseffektivität verbunden. Daher ist es sinnvoll für einen Arbeitgeber, ein angenehmes Innenraumklima für seine Arbeitnehmer zu schaffen.

In diesem Sinne spielt das Thema des sommerlichen Wärmeschutzes zunehmend eine bedeutende Rolle und ist für jeden Neubau als Nachweis zu erbringen. Vorgeschrieben wird dies in Form des „Gesetzes zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze“ aus dem Jahr 2020, kurz GEG 2020 bzw. seinem Vorgänger, der „Energie Einsparverordnung“ aus dem Jahr 2016 (EnEV 2016).

Dabei ist der Umgang mit Bestandsgebäuden nicht geklärt. Die einfachste Lösung zur Verbesserung der Behaglichkeit bei Bestandsgebäuden ist in der Regel eine technische Anlage, wie u.a. eine Klimaanlage. Diese sorgt jedoch für einen weiteren energetischen Aufwand und die bauliche Integration der Zu- und Abluftkanäle, sowie der Anlage selbst kann sich bei Bestandsgebäuden als Herausforderung erweisen. Daher stellt sich die Frage, wie Bestandsgebäude auch konstruktiv angepasst werden können, damit Übertemperaturen in einem Raum vermieden werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit soll der sommerliche Wärmeschutz für den Lesesaal des Stadtarchivs Dresden genauer betrachtet werden. Dafür werden zunächst die Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes, sowie deren Randbedingungen genauer erläutert. Zusätzlich wird geprüft, ob die Norm am Beispiel des Lesesaals, überhaupt Anwendung finden kann.

Weiterführend soll festgestellt werden, ob die in der DIN 4108-2 genannten Berechnungsmöglichkeiten verwendet werden können, um den Lesesaal des Stadtarchivs darzustellen. Zudem sollen Verbesserungsmöglichkeiten gefunden werden, mit denen der sommerliche Wärmeschutz erfüllt werden kann. Hierzu wurden die thermisch-dynamischen Simulationsprogramme *THERAKLES* und *ZUB Helena Sommer* herangezogen und miteinander verglichen.

2 SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

2.1 DIE NACHWEISFÜHRUNG

Die Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes wird in Deutschland unter anderem in der DIN 4108-2 geregelt. Diese behandelt neben den Berechnungen zum Sommerfall ebenfalls den Wärmeschutz im Winter. Außerdem handelt es sich beim sommerlichen Wärmeschutz um eine Nachweisführung, welche für den EnEV bzw. des heutigen GEG notwendig ist. Diese Gesetze bzw. Verordnungen sind zumeist der Anlass einer solchen Untersuchung. Es hat somit auch zur Folge, dass jeder Neubau zwingend den sommerlichen Wärmeschutz erfüllen muss.

Auf den Nachweis kann verzichtet werden, wenn der auf die Grundfläche bezogene Anteil der Fensterfläche f_{AG} :

- Bei Ein- oder Zweifamilienhäuser deren Verglasungsflächen in Ost-, West- oder Südausrichtung mit einem Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor von kleiner gleich 0,3 versehen sind.
- Bei vertikalen, nicht nach Norden ausgerichteten Verglasungen 10% nicht überschreitet
- Bei vertikalen, nach Norden ausgerichteten Verglasungen 15% nicht überschreitet
- Bei horizontalen bzw. geneigten (bis 60°) Verglasungen 7% nicht überschreitet

Die Norm unterscheidet zwischen zwei Verfahren zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes. Zum einen gibt es ein vereinfachtes Verfahren, das sogenannte Sonneneintragskennwerteverfahren.

Als zweite Möglichkeit gibt es die thermische Gebäudesimulationsrechnung. Diese kann nicht als Handrechnung durchgeführt werden, sondern basiert stets auf einer dynamisch-thermischen Simulation.

In den folgenden Abschnitten werden die beiden Berechnungsarten genauer erläutert.

2.2 BILANZANTEILE DES SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZES NACH DIN 4108-02

Unter dem Sommerlichen Wärmeschutz versteht man jegliche Maßnahmen, mit welchen die Überhitzung eines Raumes in einem Gebäude vermieden werden kann. Zusätzlich soll durch den sommerlichen Wärmeschutz die thermische Behaglichkeit der Nutzer des Raumes garantiert werden. Wenn möglich, soll durch konstruktive Maßnahmen die Verwendung

von Energie-intensiven Anlagen zur Raumluftkonditionierung (z.B. Lüftungs- und Kühlanlagen) vermieden werden.

Die Bilanzierungen des Sommerfalls sind prinzipiell von folgenden Randbedingungen abhängig:

- Nutzung (Wohngebäude, Nichtwohngebäude)
- Gebäudestandort / Klimaregion
- Geometrie des Raums
- Eigenschaften der transparenten Bauteile, wie u.a.:
 - o Gesamtenergiedurchlassgrad
 - o Flächenanteil
 - o Ausrichtung
 - o Neigung
 - o Art des Sonnenschutz
- Wärmeleiteigenschaften der opaken Bauteile
- Wärmekapazität der inneren Bauteile
- Art und Wirkungsgrad der Lüftung

Die einzelnen Randbedingungen werden im fortlaufenden Text genauer beschrieben.

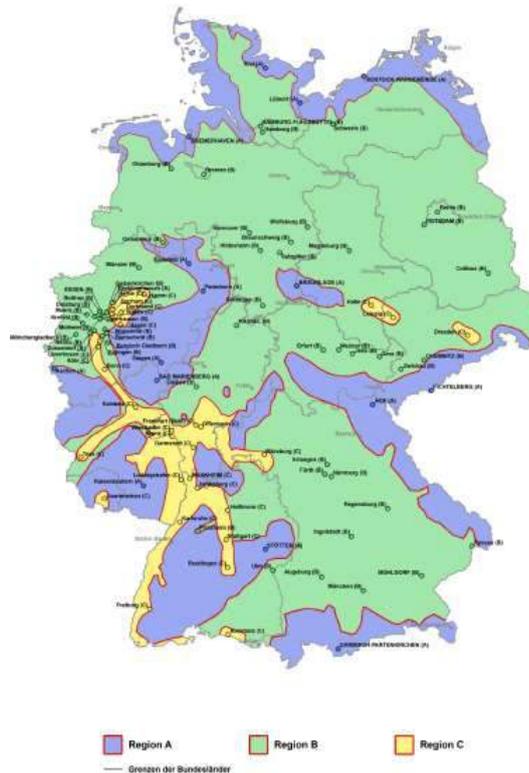
2.2.1 Nutzung

Beim Sommerlichen Wärmeschutz wird die Nutzung in Wohngebäude und Nichtwohngebäude unterschieden. Die Art der Nutzung bestimmt den Nutzungszeitraum, die maximalen Übertemperaturgradstunden, die Solltemperatur während der Heizperiode und den Luftwechsel.

In Abhängigkeit des Nutzungstypen, werden für die Bilanzierung lediglich die Nutzungsbedingungen, wie beispielsweise die inneren Wärmelasten berücksichtigt. Die inneren Wärmelasten entstehen durch die sich im Raum aufhaltenden Personen, durch die Beleuchtung und durch die technischen Geräte, welche sich im Raum befinden. Die Bilanzierung der Norm weicht dabei von der Physikalischen Bilanz deutlich ab.

2.2.2 Die Klimaregion

In Deutschland sind die Klimaregionen in Sommerkühle (Region A), gemäßigte (Region B) und sommerheiße (Region C) Klimaregionen unterteilt. Die Klimaregionen beeinflussen die innenliegenden Höchsttemperaturen, die für einen Raum angenommen werden dürfen. Denn es wird davon ausgegangen, dass sich die Nutzer an die Außentemperaturen anpassen. So wird in Klimaregion C eine Höchsttemperatur von 27°C im Raum toleriert, in Klimaregion B von 26°C und in Klimaregion A eine von 25°C. In Abbildung 2-1: Klimaregionen in Deutschland werden die Klimaregion dargestellt.

Abbildung 2-1: Klimaregionen in Deutschland⁵

2.2.3 Die Raumgeometrie

Für den sommerlichen Wärmeschutz spielt die Raumgeometrie im Sinne der Nettogrundfläche und des Raumvolumens eine wichtige Rolle. Je größer der Raum ist, umso besser können sich die Solaren Wärmeeinträge über die Grundfläche verteilen.⁶ Je größer dabei die Verglasungsfläche ist, umso ungünstiger wird die Situation im Raum.

2.2.4 Eigenschaften der Verglasung

Die Randbedingungen mit dem größten Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz sind die Eigenschaften der transparenten Bauteile. Zu diesen Eigenschaften gehören der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert), die Ausrichtung, die Neigung und der Flächenanteil der Verglasung gegenüber der Grundfläche des Raumes. Die einzelnen Eigenschaften werden nun im fortlaufenden Teil genauer erläutert.

⁵ DIN 4108-2:2013-02; S.21

⁶ Schild und Willems, *Wärmeschutz*; S. 197

Gesamtenergiedurchlassgrad

Unter dem Gesamtenergiedurchlassgrad g versteht man die Summe aus dem Teil der kurzwelligigen Solarstrahlung, welcher die Verglasung durchdringt und dem Teil der als sekundäre Wärmeabgabe erfolgt (siehe Abbildung 2-2). Der restliche Anteil an Strahlungsenergie wird entweder von der Verglasung reflektiert oder absorbiert. Eine übliche Wärmeschutzverglasung hat heutzutage einen g -Wert von etwa 50% bis 60%.⁷ Als Sonnenschutzverglasungen werden diejenigen Verglasungen bezeichnet, welche einen totalen Gesamtenergiedurchlassgrad von unter 40 % aufweisen.⁸

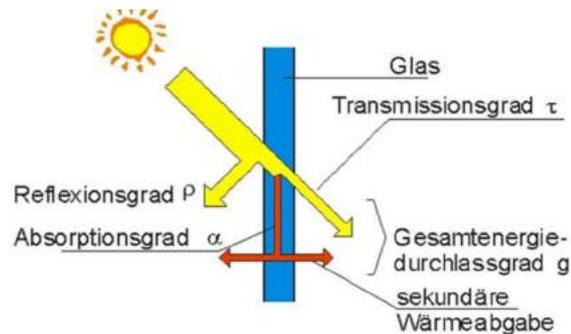


Abbildung 2-2: Darstellung des Gesamtenergiedurchlassgrades⁹

Orientierung, Neigung und Flächenanteil der transparenten Außenbauteile

In der heutigen Zeit, ist es üblich Gebäude, egal ob Nichtwohngebäude oder Wohngebäude, mit großen transparenten Flächen zu errichten. Wie in Abbildung 2-3 zu erkennen ist, verschiebt sich die Strahlungsintensität von September bis März immer mehr Richtung Süden. Die Ausrichtung der Verglasungsfläche wird daher üblicherweise gen Süden ausgeführt, um im Winterfall einen möglichst großen Licht- und Wärmeeintrag zu erzielen.

Folglich wird damit ebenfalls der Wärmeeintrag im Sommer erhöht. So stellen besonders große Verglasungsflächen ein hohes Risiko der Überhitzung dar. Die Verwendung eines wirksamen Sonnenschutzes ist daher in den Sommermonaten notwendig. Dem eigentlichen Ziel des Wärmeeintrags im Winter wirkt ebenfalls entgegen, dass Verglasungen meist einen hohen Faktor der Wärmeabstrahlung aufweisen. Somit geht ebenfalls ein Teil der Wärme die gewonnen wurde, wieder verloren.

⁷ Schild und Willems., *Wärmeschutz*; S. 187

⁸ DIN 4108-2:2013-02; S.21

⁹ BauNetz, „Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) | Glas | Bauphysik | Baunetz_Wissen“.

Ein wichtiger Faktor, welcher ebenfalls einen Einfluss auf den Strahlungseintrag hat, ist die Neigung der Verglasung. Horizontale und gering geneigte Verglasungen weisen einen höheren Strahlungseintrag auf, da in Folge des steileren Einfallswinkels die Abschwächung größer wird. Daher ist bei geneigten Verglasungen ein Sonnenschutz immer mit zu berücksichtigen.

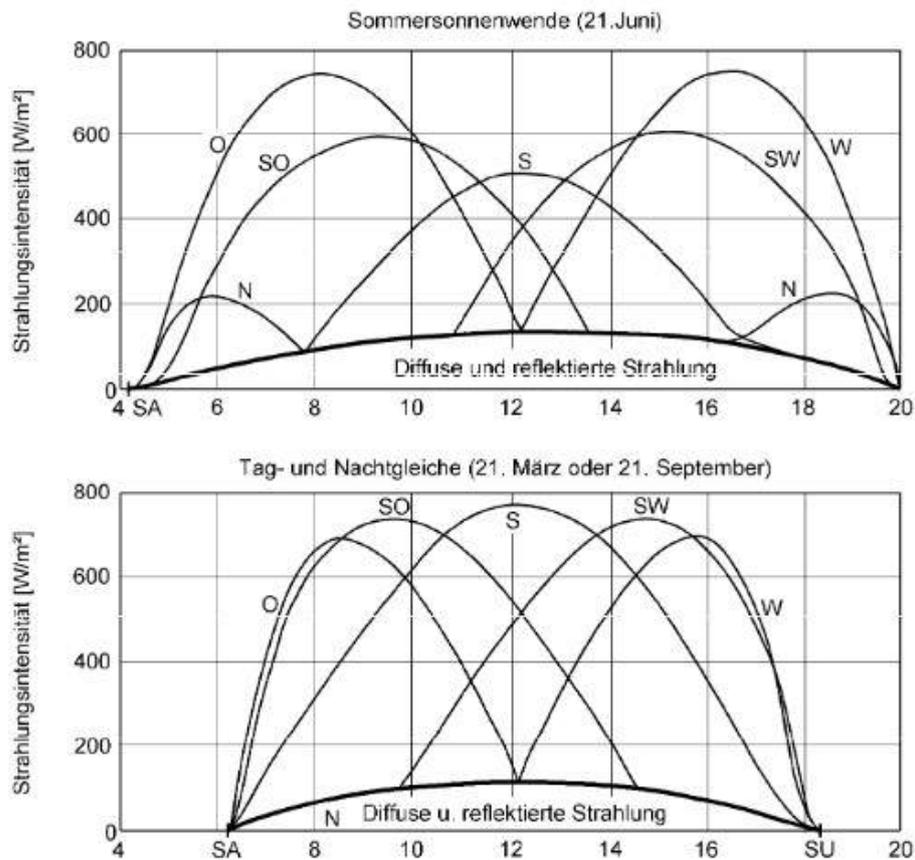


Abbildung 2-3: Zeitliche Verläufe der Strahlungsintensität auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende und Tag- und Nachtgleiche; gemessen in Holzkirchen (SA: Sonnenaufgang, SU: Sonnenuntergang)¹⁰

¹⁰ Schild und Willems, *Wärmeschutz.*; S.193

2.2.5 Sonnenschutzvorrichtungen

Wie schon zuvor beschrieben, stellen Verschattungsmaßnahmen einen wichtigen Bestandteil der Planung dar. Die Wirksamkeit der Verschattung wird durch den Abminderungsfaktor (Fc-Wert) dargestellt. Je kleiner der Abminderungsfaktor ist, umso effektiver ist dabei die Sonnenschutzvorrichtung.

Die Wirkung des Sonnenschutzes wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Dazu gehören die Position der Sonnenschutzvorrichtung, der Aufbau und der g-Wert der dazugehörigen Verglasung, sowie die Art der Hinterlüftung.

Die Aufgabe einer Sonnenschutzvorrichtung ist es, die kurzwellige solare Strahlungsenergie davon abzuhalten, in den Raum einzudringen. Die kurzwellige Strahlung wird dabei teilweise absorbiert und in langwellige Strahlung in Form von Infrarotstrahlung umgewandelt.¹¹

Da die Wärme bei innenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen an den Innenraum abgegeben wird, ergibt sich ein höherer Fc-Wert.

Für einen innenliegenden Sonnenschutz ist aus dem gleichen Grund eine Hinterlüftung wichtig. Durch diese kann die erwärmte Luft zwischen Glasscheibe und Sonnenschutz besser abgeführt werden. Für einen effektiven Sonnenschutz ist der Wärmedurchgangskoeffizient U der Verglasung ebenfalls von Bedeutung. Je niedriger der U-Wert, umso höher ist auch der Widerstand gegen den eindringende solaren Wärmeeintrag in Folge höherer Außenlufttemperaturen.

2.2.6 Einfluss der opaken Bauteile

Alle opaken Bauteile gehen über ihre Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} in die Berechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz ein. Die Wärmespeicherfähigkeit zeigt an, in welchem Maß Wärme aus der Luft von der Konstruktion aufgenommen und abgegeben werden kann.

Gut gedämmte Konstruktionen haben dabei eine geringe Speicherfähigkeit, da der Wärmeeintrag in die speicherfähigen Schichten mit der Dämmschicht stark reduziert wird. Die Bestimmung von C_{wirk} erfolgt mittels der spezifischen Wärmekapazität, der Rohdichte, der wirksamen Schichtdicke der einzelnen Baustoffe und der Größe der wirksamen Bauteilfläche. In der folgenden Formel wird dieser Zusammenhang dargestellt¹²:

$$C_{wirk} = \sum_j c_j \cdot \rho_j \cdot d_j \cdot A$$

¹¹ Schild und Willems. *Wärmeschutz*. S. 188

¹² Schild und Willems. *Wärmeschutz*. S. 196

Unter die wirksame Schichtdicke fallen all die Schichten bzw. Schichtanteile, welche weniger als 10 cm von der inneren Oberfläche der Konstruktion entfernt sind. Ist die Wanddicke kleiner als 20 cm, so darf höchstens die halbe Wandfläche angesetzt werden.¹³

Mit der Wärmespeicherfähigkeit kann die Bauart des zu ermittelnden Raums bestimmt werden. Es wird in leichte, mittelschwere und schwere Bauart unterschieden. Unter der leichten Bauart zählen alle Konstruktionen mit einer Wärmespeicherfähigkeit unter 50 Wh/(m²K), zu den schweren Konstruktionen alles über 130 Wh/(m²K).

Durch eine hohe Wärmespeicherfähigkeit der anliegenden Konstruktionen, kann der Überhitzung durch interne Wärmelasten und Solarstrahlung entgegen gewirkt werden.

2.2.7 Art und Wirkungsgrad der Lüftung¹⁴

Um den sommerlichen Wärmeschutz positiv zu beeinflussen, kann für die Nachweisführung eine Nachtlüftung angesetzt werden. In der Praxis kann diese sowohl über Fensterlüftung als auch über eine Lüftungsanlage erfolgen. Es werden bei der Nachtlüftung in der Regel zwei Luftwechsel pro Stunde angesetzt.

Bei Verwendung einer geschossübergreifenden Lüftung kann der Luftwechsel weiter erhöht werden, auf maximal 5 Luftwechsel pro Stunde.

Die Simulationsrechnung ermöglicht auch die Verwendung einer erhöhten Taglüftung. Diese darf nach DIN 4108-2 angesetzt werden, wenn die Raumlufttemperatur über 23°C liegt und die Temperatur im Raum, die der Außenlufttemperatur überschreitet. Die Luftwechselzahl wird mit 3 Luftwechseln pro Stunde angesetzt.

Ein weiterer Ansatz, welcher der Vorbeugung der Überhitzung dient, ist der Ansatz der passiven Kühlung. Unter dieser versteht man den Einsatz von Raumkühlungsanlagen, die ausschließlich Energie zur Förderung des Kühlmediums erfordern. Dazu zählen sowohl Systeme wie geothermische Kühlungen, als auch Kühlungen, welche mittels indirekter Verdunstung betrieben werden.

¹³ DIN EN ISO 13786:2018-04. S.21

¹⁴ DIN 4108-2:2013-02; S.30f.; S. 14

2.3 SONNENEINTRAGSKENNWERTEVERFAHREN¹⁵

Das erste Verfahren mit welchem der sommerliche Wärmeschutz nachgewiesen werden kann, ist das Sonneneintragskennwerteverfahren oder wie es in der DIN 4108-2 ebenfalls bezeichnet wird - das „vereinfachtes Verfahren mit standardisierten Randbedingungen“. In diesem Verfahren gilt der Nachweis als erfüllt, wenn der vorhandene solare Wärmeeintrag S_{vorh} im kritischen Raum unterhalb des maximal zulässigen Grenzwertes S_{zul} fällt. Die Formel dafür lautet:

$$S_{vor} \leq S_{zul}$$

Sind in den nachzuweisenden Raum oder Raumbereich bauliche Einrichtungen in Form von Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen vertreten, darf dieses Nachweisverfahren nicht verwendet werden.

Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird mittels des Produkts der einzelnen Fensterflächen ($A_{w,j}$) und deren Gesamtenergiedurchlassgrade g einschließlich des Abminderungsfaktors F_C für den Sonnenschutz dividiert durch die Nettogrundfläche (A_G) des nachzuweisenden Raumes ermittelt. Der Gesamtenergiedurchlassgrad g und der Abminderungsfaktor des vorhandenen Sonnenschutzes bilden nach DIN 4108-6 Anhang B g_{tot} .

$$S = \frac{\sum_{j=1}^m (A_{w,j} \cdot g_{tot,j})}{A_G}$$

Treten abgesehen vom Sonnenschutz weitere bauliche Verschattungen auf, so sind diese in g_{tot} in Form des Teilbestrahlungsfaktors F_S ebenfalls zu berücksichtigen.

Der zulässige Sonneneintragskennwert wird mittels tabellarisch erfasster anteiliger Sonneneintragskennwerte berechnet. Diese Kennwerte wurden über umfangreiche Simulationen von Einraummodellen bestimmt.¹⁶

Es handelt sich insgesamt um 6 anteilige Sonneneintragskennwerte, welche zusammen den zulässigen Sonneneintragskennwert bilden. Diese lauten wie folgt:

- S1 Nachlüftung und Bauart
- S2 Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil
- S3 Sonnenschutzglas
- S4 Fensterneigung
- S5 Orientierung
- S6 Einsatz passiver Kühlung

¹⁵ DIN 4108-2:2013-02; S.24 ff.

¹⁶ Fahrion, „Sommerlicher Wärmeschutz im Zeichen des Klimawandels – Anpassungsplanung für Bürogebäude“. S.84

Die anteiligen Sonneneintragskennwerte S1 und S2 sind zusätzlich von der Gebäudenutzung abhängig, also ob es sich um ein Wohn- oder Nichtwohngebäude handelt. S1 wird zusätzlich anhand der Klimaregion differenziert. Die in diesem Anteil mit betrachtete Bauart wird in leicht, mittel oder schwer untergliedert. Um zu bestimmen, um welche Bauart es sich handelt muss die wirksame Wärmekapazität C_{wirk} der einzelnen Bauteile berechnet werden. Anschließend werden die Wärmekapazitäten aller Bauteile addiert und durch die Grundfläche des Raums geteilt.

Ein klarer Vorteil des Sonneneintragskennwerteverfahrens ist die schnelle Nachweisführung. Durch vorgefertigte Tabellen in denen die Randbedingungen bereits mit Werten versehen sind. Auf diese Weise wird der Arbeitsprozess erleichtert und vereinfacht.

Die Starke Vereinfachung bringt natürlich auch Nachteile mit sich. Die Erfassung genauer Übertemperaturgradstunden, sowie eines Jahrestemperaturverlaufs sind mit diesem Verfahren nicht möglich.

2.4 THERMISCHE GEBÄUDESIMULATIONSRECHNUNG¹⁷

Wenn das vereinfachte Verfahren sich als nicht ausreichend erweist (entweder im Hinblick auf Ergebnis oder der baulichen Betrachtung) wird ein dynamisch-thermisches Verfahren im Sinne einer Simulationsrechnung herangezogen.

Ob der sommerliche Wärmeschutz erfüllt ist, wird hierbei mittels der Übertemperaturgradstunden (Kh/a) innerhalb eines Jahres ermittelt. Dieser Wert beschreibt die Anzahl der Temperaturstunden, welche sich oberhalb einer von der Klimaregion abhängigen Höchsttemperatur befinden. Liegt beispielsweise die Raumtemperatur eines Raumes in einer Klimaregion C (Höchsttemperatur 27°C) für zwei Stunden bei 29°C, dann lautet die Formel der Überschreitung wie folgt:

$$\text{Übertemperaturgradstunden} = 2h \cdot (29^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}) = 4 \text{ Kh}$$

Für den Grenzbereich der simulierten Kelvinstunden unterscheidet die Norm in Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Es werden folgenden Maxima für die gemessenen Übertemperaturgradstunden vorgegeben:

Wohngebäude: 1200 Kh/a

Nichtwohngebäude: 500 Kh/a

Die Simulationsrechnung muss über ein Jahr verlaufen. Für die Simulation einer Jahrestemperaturkurve der einzelnen Klimaregionen wurden Testreferenzjahre (TRY) aus

¹⁷ DIN 4108-2:2013-02; S.28 ff.

bestimmten Regionen Deutschlands vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung zur Verfügung gestellt. Diese wären für:

Klimaregion A: TRY- Zone 2; Rostock

Klimaregion B: TRY – Zone 4; Potsdam

Klimaregion C: TRY – Zone 12; Mannheim

Für einen Großteil der Grundeinstellungen sind die Randbedingungen von der Nutzung des Gebäudes abhängig. Die Tabelle 2-1 zeigt diese Abhängigkeiten auf.

Die restlichen Randbedingungen sind je nach vorhandenen Voraussetzungen des Gebäudes variabel einstellbar. Dazu gehört:

- Der erhöhte Tagluftwechsel
- Der Nachtluftwechsel
- Vorkommen eines gesteuerten Sonnenschutz
- Wärmeübergangswiderstände

Randbedingung	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
Nutzungszeit	Ganztägig, jeden Tag der Woche	7:00 Uhr – 18:00 Uhr von Montag bis Freitag
Interner Wärmeeintrag	100 Wh/m ² d	144 Wh/m ² d
Soll-Raumtemperatur während der Heizphase	≥ 20°C	≥ 21°C
Grundluftwechsel	n = 0,5 1/h	Während Nutzung: n = 4* AG/V Außerhalb Nutzung: n = 0,24 1/h

Tabelle 2-1: Randbedingungen der Simulationsrechnung abhängig von der Nutzung

In dieser Arbeit wurden zwei unterschiedliche Programme für die thermische Gebäudesimulation herangezogen und diese miteinander verglichen. Bei den Programmen handelt es sich zum einen um das Programm *ZUB Helena Sommer* und zum anderen um das Programm *THERAKLES*. Die Programme werden im Abschnitt 3.3 genauer erläutert.

2.5 BESCHREIBUNG DES LESESAALS DES STADTARCHIVS

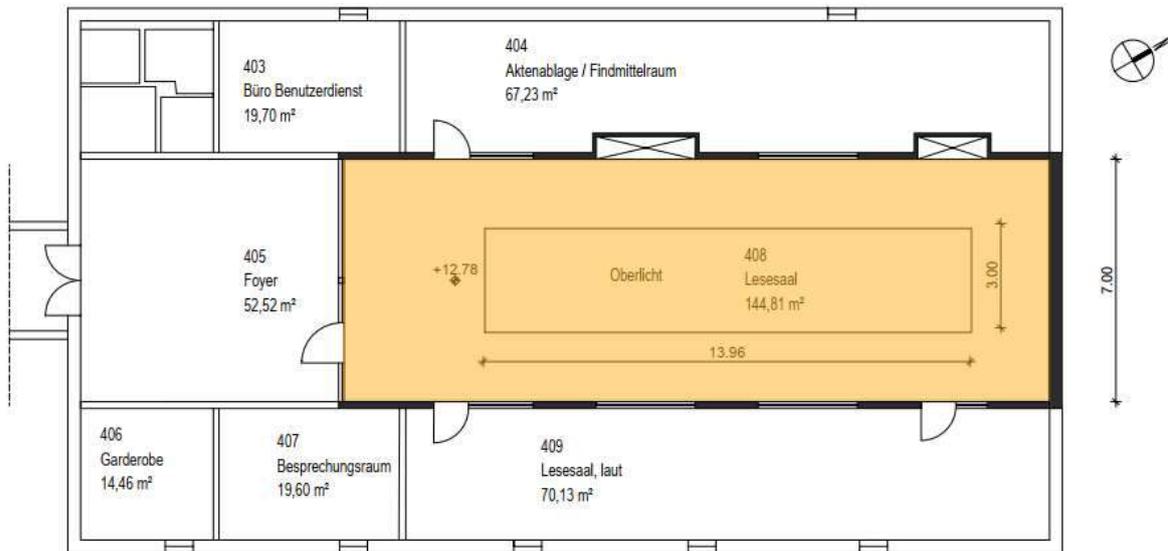


Abbildung 2-4: Grundriss des Lesesaals

Das Stadtarchiv Dresden befindet sich im Stadtteil Albertstadt auf der Elisabeth-Boer-Straße 1. Der Lesesaal befindet sich innenliegend im Dachgeschoss des südlichen Gebäudeteils. Die Öffnungszeiten lauten¹⁸:

Di: 9 – 18 Uhr
 Mi & Do: 9 – 16 Uhr
 Fr: 9 – 12 Uhr

Der Raum hat eine Grundfläche von rund 145 m² und eine durchschnittliche Höhe von 3,82 m. Somit beträgt das Raumvolumen in etwa 553 m³. Abbildung 2-4 zeigt den Grundriss des Raumes. Die volle Darstellung des Grundriss ist im Anhang 1 hinterlegt.

Die Konstruktion wurde überwiegend in leichter Bauweise ausgeführt. Die Wände sind hauptsächlich als Leichtbauwände konstruiert. Lediglich die Nordwand besteht aus einer massiven Brandwand. Der Fußboden des Lesesaals ist als eine leichte Holzdeckenkonstruktion ausgebildet. Der genaue Aufbau des Steildachs, welche eine Neigung von ca. 34° besitzt, ist nicht bekannt und wurde daher aus Erfahrungswerten ähnlicher Bauten angenommen. Die Aufbauten der

¹⁸ Dresden, „Stadtarchiv“.

Konstruktionen sind in der Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit im Anhang 3 hinterlegt.



Abbildung 2-5: Oberlicht; Sicht von unten



Abbildung 2-6: Oberlicht; Sicht vom Dach

Der Raum wird mittels eines Oberlichts im Dach mit direktem Sonnenlicht versorgt. Das vorhandene Oberlicht hat eine recht außergewöhnliche Form (s. Abbildung 2-5-Abbildung 2-6). Es besteht aus zwei durchgängigen Verglasungen, welche die Form des Daches angleichen. Die Konstruktion des Oberlichts erhebt sich jedoch über der Außenschale des Daches. Die orthogonal zu dem Dach stehenden Flächen des Oberlichts sind ebenfalls verglast. Diese Art der Konstruktion des Oberlichts lässt sich in Simulationen nur selten vollständig darstellen und wird daher im späteren Verlauf der Arbeit angepasst und vereinfacht. Bei der Verglasung des Oberlichts handelt es sich um ein Verbundsicherheitsglas mit den Namen „*ANTELIO silber*“ des Unternehmens *SAINT-GOBAIN BUILDING GLASS EUROPE*. Dem Datenblatt¹⁹ wurden folgende Eigenschaften des Glases entnommen:

Ug-Wert	Lichttransmission TL	g-Wert	Reflexion außen	Reflexion innen
1,1 W/m ² K	61 %	51 %	32%	31 %

Tabelle 2-2: Eigenschaften der Verglasung des Oberlichts

¹⁹ Antelio, „Quelle: ©Lehrter Bahnhof, Berlin, Architekt: gmp Architekten Fotograf: Engelhardt Sellin, München / ©Saint-Gobain Glass“. S.2

Als zusätzliche Beleuchtung befinden sich Langfeldleuchten im Lesesaal, welche den Raum indirekt beleuchten. Jeder Arbeitsplatz ist zusätzlich mit einer Schreibtischlampe versehen, welche nur während der Benutzungszeit angeschaltet wird. Es stehen im Lesesaal 18 Arbeitsplätze plus ein Bereich für eine Arbeitskraft des Archivs zur Verfügung (s. Abbildung 2-7). Es können sich somit maximal 19 Personen im Raum aufhalten. Insgesamt sind 8 Arbeitsplätze mit Computern ausgestattet.



Abbildung 2-7: Lesesaal Innenansicht

Der Lesesaal ist mit einer maschinellen Lüftung ausgestattet. Zu- und Abluft liegen dabei auf gegenüberliegenden Seiten des Eingangsbereiches. Die genaue Leistungsfähigkeit dieser Lüftung ist nicht bekannt. Somit sind spätere Berechnungen nur mit Näherungswerten ausgestattet. Bekannt ist jedoch, dass die Ventilatoren der Lüftung manuell geregelt werden können (s. Abbildung 2-8). Es ist eine Kühlung vorhanden, diese wird aber aufgrund von mangelnden Informationen und einer durch Messungen aufgezeichneten geringen Leistung für den Gesamtraum in den Berechnungen nicht weiter beachtet. Es soll mit den späteren Nachweisen, ebenfalls betrachtet werden, ob diese Kühlung nicht unter Umständen entfallen kann.



Abbildung 2-8: Regelung für die Lüftungsanlage



Abbildung 2-9: Zuluftkanal (Wickelblechrohr) und Überströmöffnung (verzinktes Lüftungsgitter) für Umluftkälteaggregat



Abbildung 2-10: Lüftungsanlage für Außenluftwechsel im benachbarten Kaltdachbereich.

2.6 DAS VORHANDENE RAUMKLIMA IM LESESAAL

2.6.1 Die Problematik des Lesesaals

Die Problematik des Lesesaals besteht darin, dass sich die Temperaturen im inneren des Lesesaals in den Sommermonaten bis weit über die Grenztemperatur für Klimaregion C von 27 °C aufheizt. Dies ist zum einen auf das Fehlen eines essentiellen Sonnenschutzes zurückzuführen. Ein zweiter Grund ist die schiere Größe des Oberlichts im Verhältnis zur Raumgröße. Der Flächenanteil der Verglasung gegenüber dem Raum beträgt 35%.

2.6.2 Temperaturmessprotokoll:

Von zuständigen Mitarbeitern des Stadtarchivs wurde innerhalb des Sommers 2021 ein Temperaturmessprotokoll angefertigt. Diese Messungen fanden im Zeitraum von 7. Juni 2021 bis 3. September 2021 an den Öffnungstagen des Lesesaals statt. Die Messungen erfolgten zwischen 12.00 Uhr und 14.00 Uhr. Die höchste gemessene Temperatur in diesem Zeitraum stammt vom 18. Juni 2021 und betrug 33,2°C. Die Abbildung 2-11 stellt die gemessenen Temperaturen in einen Graphen dar. Die gemessenen Innentemperaturen liegen stets über denen vom Deutschen Wetterdienst angegebenen Außentemperaturen. Außerdem befinden sie sich weit über dem behaglichen Bereich und mindern somit die Produktivität und Arbeitsmoral der Personen im Raum.

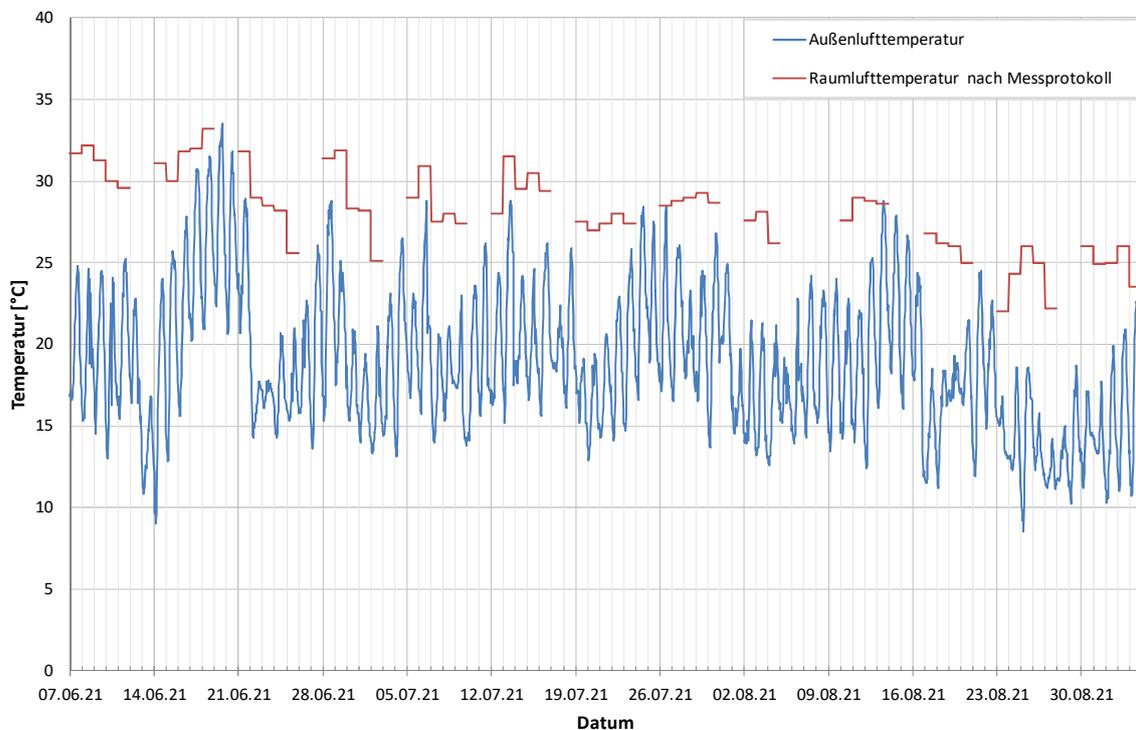


Abbildung 2-11: Diagramm Temperaturmessprotokoll

2.6.3 Kontinuierliche Raumlufthtemperaturmessung

Im September 2021 wurden vor Ort Sensoren verteilt, welche einmal pro Stunde sowohl die Temperatur, als auch die Luftfeuchtigkeit gemessen haben. Insgesamt wurden 6 Sensoren im Raum angebracht. Sie wurden beschriftet und die einzelnen Anbringungsorte in einer Karte verzeichnet. Die Abbildung 2-12 schlüsselt die Orte auf. Der Messungszeitraum lag zwischen dem 6. September und den 7. Oktober. Im Anhang 2 ist der Grundriss mit den Anbringungsorten der Sensoren noch einmal vollständig hinterlegt.

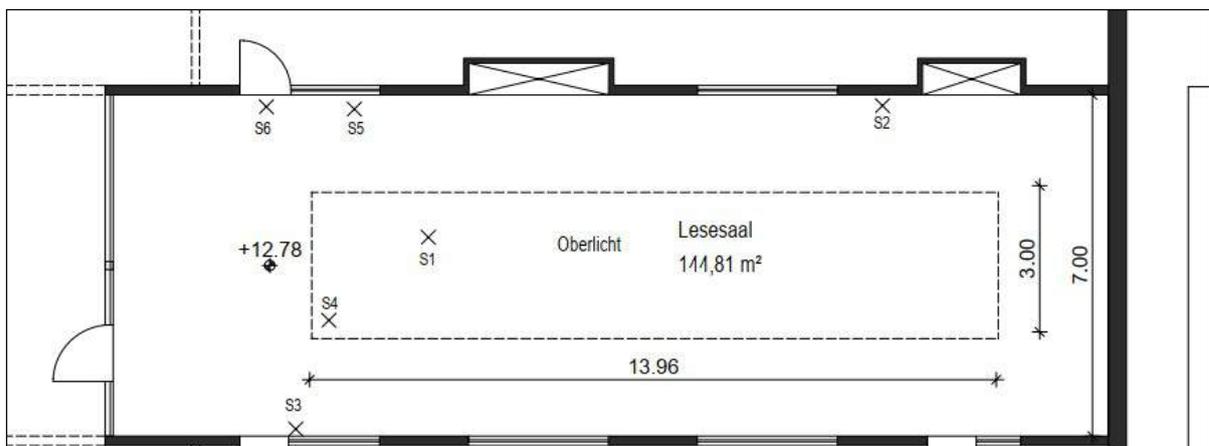


Abbildung 2-12: Anbringungsorte der Sensoren

In Abbildung 2-13 sind die Messungen aller Sensoren über den genannten Zeitraum aufgezeigt. Beim Auslesen der Werte wurde festgestellt, dass die Messungen von Sensor 1 und Sensor 2 starke Unregelmäßigkeiten aufweisen, welche auf fehlerhafte Messungen hindeuten.

Im Sensor 1, angebracht in der Raummitte, zeigt sich der Fehler an der nach vorn verschobenen Temperaturamplitude. Der Grund scheint hier eine Fehleinstellung der zeitlichen Konfiguration des Sensors zu sein.

Im Sensor 2, angebracht am Heizkörper treten etwa ab den 18. September sehr unregelmäßige, flache Schwankungen auf. Es lässt sich jedoch vermuten, dass der Fehler nicht im Sensor liegt, sondern der Tatsache geschuldet ist, dass zu diesem Zeitpunkt die Heizung angeschaltet wurde. Die Vermutung basiert auf den gleichzeitig starken Abfalls der Außentemperatur.

Der Sensor 4 weist von allen Sensoren die größten Temperaturschwankungen auf. Das ist darauf zurückzuführen, dass er direkt unterhalb der Verglasung platziert wurde. Dadurch ist er der solaren Strahlung direkt ausgesetzt. Während die

Temperaturen am Tag immer sehr hoch sind, kühlt sich die Luft direkt unterhalb des Oberlichtes in der Nacht auch am meisten ab. Die Höchste gemessene Temperatur im Oberlicht erreichte einen Wert von 48,5 °C. Dieser wurde am 14. September gemessen.

Das vorhanden sein einer Kühlung, lässt sich anhand der Messungen am Sensor 5 gut herleiten. Dieser weist im Gegensatz zu allen anderen Sensoren im Zeitraum zwischen 6. und 17. September mit etwa 15°C wesentlich geringere Temperaturen als im Rest des Raumes auf. Dennoch kommt die Kühlleistung nicht an jedem Teil des Raumes an.

Bei Sensoren 3 und 6 kommt es zu keinen Unregelmäßigkeiten. Die Temperaturamplituden bleiben stabil und entsprechen in etwa den Messungen von Sensor 2.

Neben den Temperaturen wurde auch die Raumlufftfeuchtigkeit an den unterschiedlichen Anbringungsorten gemessen. Es ist zu erkennen, dass der Verlauf der Luftfeuchtigkeit den der Temperatur spiegelt.

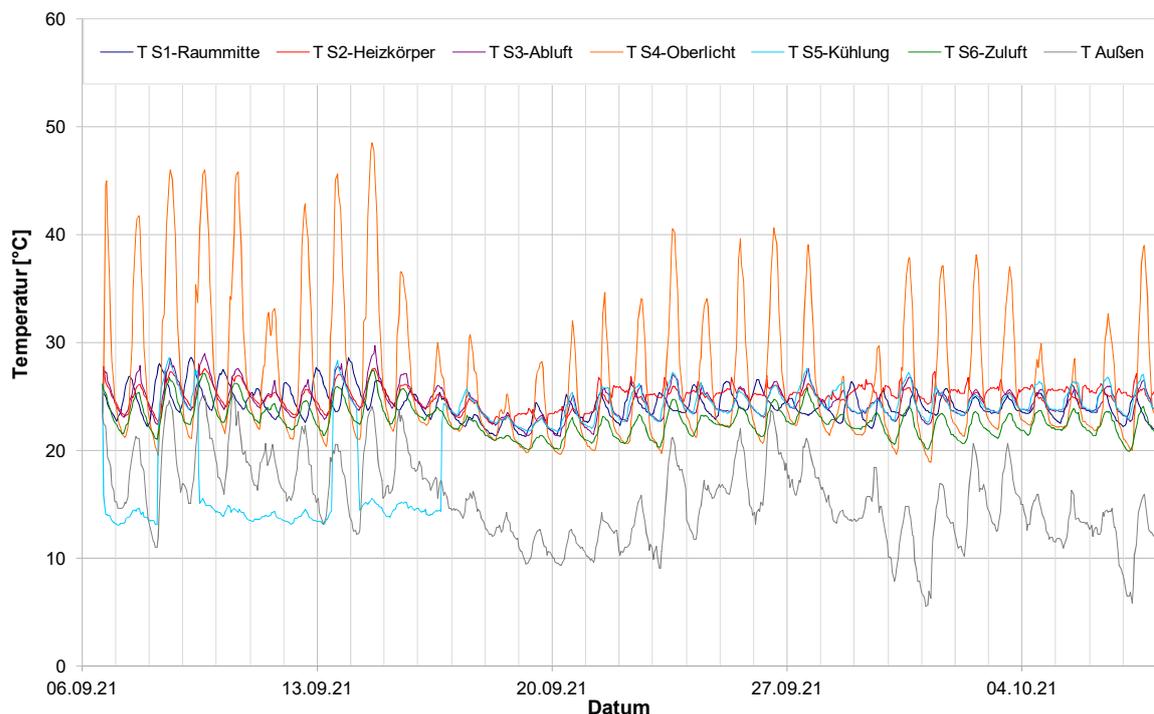


Abbildung 2-13: gemessene Raumluffttemperaturen

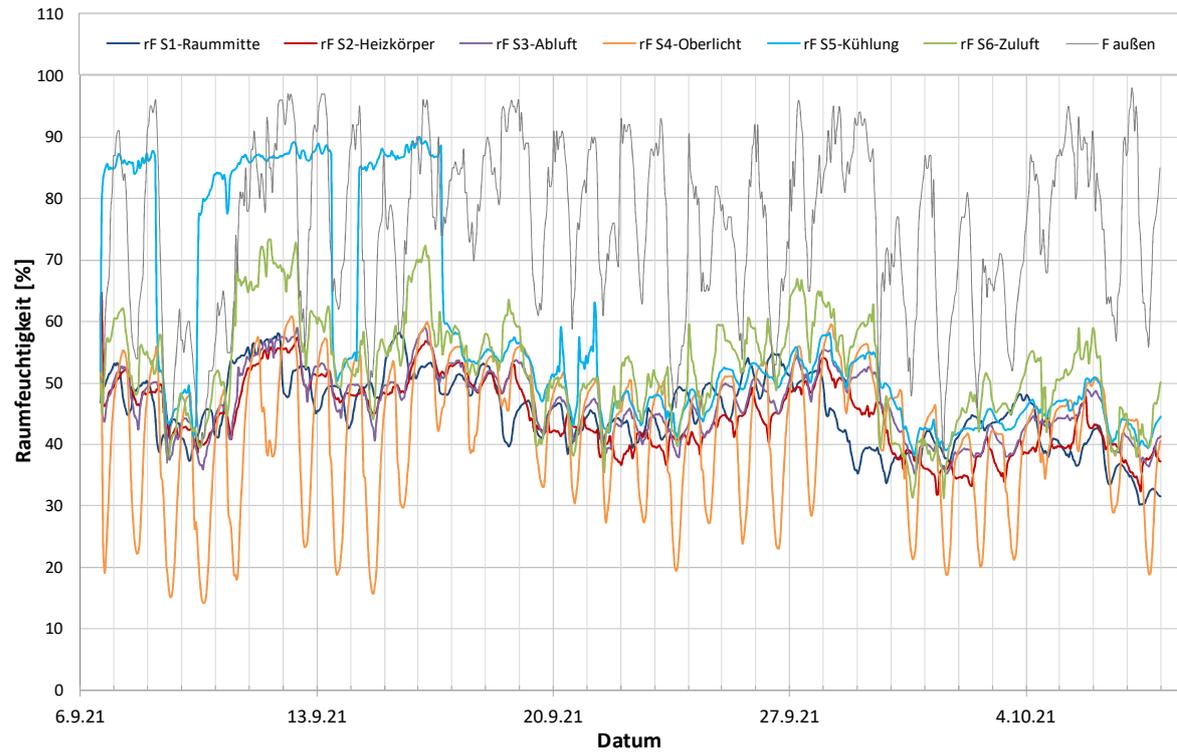


Abbildung 2-14: gemessene Raumlufftfeuchtigkeiten

Die drei Diagramme des Temperaturmessprotokolls, der Raumluffttemperatur und der Raumlufftfeuchtigkeit werden in Anhängen 4 bis 6 noch einmal vergrößert dargestellt.

3 BESCHREIBUNG DER METHODIK

3.1 ALLGEMEINES

Der Raum des Lesesaals soll aufgrund der starken Überhitzung im Sommer saniert werden. Da es sich bei dem Gebäude um ein Bestandsgebäude handelt, und der Saal weder ausgebaut noch erweitert wird, ist der Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes prinzipiell nicht zwingend erforderlich.

Für diesen Fall dient die Nachweisführung einzig und allein darin, die thermische Behaglichkeit in dem Raum zu steigern. Es soll hierbei untersucht werden, ob es mit rein baukonstruktiven Maßnahmen möglich ist, die Vorgaben der DIN einzuhalten, oder ob eine Kühltechnik notwendig wird.

3.2 SONNENEINTRAGSKENNWERTEVERFAHREN AM LESESAAL

Zunächst wurde der Sommerliche Wärmeschutz anhand des Sonneneintragskennwerteverfahrens nach DIN 4108-2 Kapitel 8.3 berechnet. Dafür wurde eine vorgefertigte Excel-Datei vom Ingenieurbüro „IB Bauklimatik“ verwendet. Die Berechnung erfolgt über den Vergleich des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh} und dem zulässigen Sonneneintragskennwert S_{zul} . Der vorhandene Sonneneintragskennwert darf dabei den zulässigen Sonneneintragskennwert nicht überschreiten.

Zunächst sollte geklärt werden, ob das vereinfachte Verfahren am Beispiel des Lesesaals überhaupt Anwendung finden kann.

Da in dem Raum weder eine Doppelfassade, noch transparente Wärmedämmsysteme vorhanden sind, kann dieses Verfahren prinzipiell angewendet werden. Der Nachteil dieses Nachweisverfahrens ist jedoch, dass die thermische Behaglichkeit durch die Berechnung nicht erfasst werden kann. Dadurch ist diese Nachweisführung nicht ausreichend, um eine notwendige Aussage zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit zu treffen. Aus diesem Grund muss hier die Rechnung durch eine Simulation ergänzt werden. Im Zuge dieser Arbeit wurde das Sonneneintragskennwerteverfahren dennoch durchgeführt.

Für die Berechnung des zulässigen Sonneneintragskennwertes ist u.a. die Bauart des Raumes zu bestimmen. Dafür ist die Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit der einzelnen Bauteile notwendig. Der Anhang 3 zeigt die Aufbauten und die damit errechnete Wärmekapazität des gesamten Raumes. Der Kennwert erreicht einen Wert von $49 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Somit steht fest, dass es sich bei dem Lesesaal um eine Leichte Bauart handelt.

Wichtig zu erwähnen ist, dass bei der Darstellung des Oberlichts der vertikale Verglasungsanteil nicht mit berücksichtigt wurde, da hierbei die Flächen zu gering ausfallen. Die Neigung der Verglasung des Oberlichts wurde hierbei mit 30° angegeben. Die Berechnung wurde sowohl für die Ausgangssituation, als auch für die gewählten Verbesserungsvarianten mit deren vorgegebenen Randbedingungen durchgeführt. Eine Auswertung der Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 4.1.

3.3 SIMULATION DES LESESAALS

In diesem Abschnitt werden die Simulationsprogramme *THERAKLES* und *ZUB Helena* einzeln vorgestellt und anschließend miteinander verglichen.

3.3.1 THERAKLES

Das Programm *THERAKLES* wurde im Jahr 2009 vom Institut für Bauklimatik der TU Dresden im Zuge des Forschungsprojekt „EnOB MONITOR Begleitforschung Energieoptimierte Gebäude“ des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie entwickelt. Es diente in erster Linie der Lehre von bauphysikalischen und raumklimatischen Zusammenhängen. Ab 2015 wurde die Feuchtebilanzrechnung mit hinzugefügt.

Mit späteren Programmentwicklungen wurde die Nachweisführung des Sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 ergänzt.

Laut dem online Handbuch verwendet das Programm ein numerisches Rechenverfahren mit folgenden Besonderheiten:

- „implizite Zeitintegration unter Einhaltung der geforderten Genauigkeit von 5 signifikanten Stellen
- variable Integrationszeitschritte, welche basierend auf einem Integrations-Fehlerschätzer angepasst werden
- detaillierte Berechnung der Temperatur- bzw. Feuchteprofile in den Wand-/Boden-/Deckenkonstruktionen unter Verwendung der Finite-Volumen-Methode
- innovatives Lösungsverfahren für das modifizierte Newton-Verfahren unter Berücksichtigung der schwach besetzten Matrizenstrukturen“²⁰

Die Baustoff- und Bauteildaten sind mit der Datenbank des Programms *DELPHIN* verknüpft. Auf diese Weise wird der Export und Import von Konstruktionen zwischen den beiden Simulationssoftwares ermöglicht.

²⁰ „Einführung - THERAKLES - Handbuch“. Kapitel: „Das Rechenverfahren“

Das Programm enthält ein in der Ausgabe integriertes Sonnenstands- und Strahlungslastmodell. Neben den Übertemperaturgradstunden wird die maximale operative Temperatur als Ergebnis mit angegeben. Der Temperaturverlauf wird nach der Berechnung im Ergebnisbereich abgebildet.

Die Ergebnisdaten können als ASCII-Dateien in jegliche Auswertungsprogramme, beispielsweise Excel, eingelesen werden. Eine detaillierte Parametrisierung ist ebenfalls möglich.

Für die folgenden Berechnungen wurde die Programmversion 3.4 verwendet.

3.3.2 ZUB Helena Sommer²¹

Das Programm *ZUB Helena Sommer* ist ein Teilmodul des EnEV- bzw. GEG-Programms *ZUB Helena*. Aufgrund dessen werden Übernahmen von Eigenschaften der Gebäudehülle zwischen beiden Programmen unterstützt. Eine erneute Eingabe dieser Parameter ist somit nicht notwendig, was durchaus von Vorteil für den Benutzer ist.

Der Rechenkern des Programms wurde mithilfe des Ingenieurbüros Prof. Hauser entwickelt. Die dynamische Simulation erfolgt in 10 Minuten Intervallen gerechnet über ein ganzes Jahr. In der Ausgabe beschränkt sich das Intervall jedoch auf eine Stunde.

Seit der neuesten Programmversion 7.1 wird die bauliche Verschattung nach DIN 4108-2 ebenfalls mit berücksichtigt. Zu beachten ist, dass die Berechnungen vom Programm nicht automatisch gestartet wird. Nach jeder Änderung der Eingabeparameter muss die Berechnung daher wieder manuell gestartet werden.

Sollen mehrere Räume gleichzeitig berechnet werden, so kann die Berechnung parallel erfolgen. Dies ermöglicht die optimale Nutzung von modernen Mehrkernprozessoren.

In der Ausgabe des Programms werden neben den Übertemperaturgradstunden auch die Übertemperaturstunden, sowie die Komfortbewertung auf Basis der DIN EN 152511 mit erfasst. Die Ausgabe kann sowohl in tabellarischer oder Textform als PDF oder als WORD-Datei erfolgen. Somit können zusätzlichen Anmerkungen in die Nachweisführung mit integriert werden.

Ein Vorteil des Programms ist die Möglichkeit zur Bildung von Varianten eines Raumes. Somit können unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten für den sommerlichen Wärmeschutz leichter gegenübergestellt werden. Auch für mögliche Räumliche Änderungen in Form von

²¹ „ZUB Helena - Handbuch.pdf“ S 309ff.

Geometrie- oder Konstruktionsänderungen kann somit eine Gegenüberstellung der Ergebnisse gewährleistet werden.

Ein Nachteil des Programms ist jedoch, dass die genauen Hintergrundberechnungen nicht klar zu erkennen gibt. Einwirkungen wie beispielsweise der Grundluftwechsel, welcher von der Norm eine festgelegte Formel enthält, werden in der Benutzeroberfläche nicht angezeigt. Die genaue Berechnung ist somit nicht komplett nachvollziehbar.

3.3.3 Vergleich der Programmoberflächen

Zwischen den beiden Programmen gibt es deutliche Unterschiede in der Eingabe- und Ausgabefläche. Insbesondere im Ausgabeformat der Ergebnisse sind die Unterschiede deutlich zu erkennen. Während in *THERAKLES* neben den Übertemperaturgradstunden die maximale operative Temperatur mit angegeben wird, werden in *ZUB Helena Sommer* die Übertemperaturstunden angegeben.

Dieser Unterschied in der Ausgabe der Ergebnisse lässt sich jedoch recht einfach für den späteren Vergleich der Programmergebnisse beheben. In beiden Programmen ist es möglich sich den Temperaturverlauf über ein Jahr ausgeben zu lassen und in ein Auswertungsprogramm, beispielsweise Excel, zu importieren. Somit können letzten Endes auch die maximalen operativen Temperaturen und die im jeweils anderen Programm gezeigt werden.

Ein weiterer wichtiger Unterschied in der Eingabeoberfläche, sind die Eingabemöglichkeiten zu den Verglasungen. Dieses betrifft vor allem den Gesamtenergiedurchlassgrad. Das Programm *THERAKLES* ermöglicht den Gesamtenergiedurchlassgrad vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlung abhängig zu machen.

In *ZUB Helena* ist solch eine Einstellung nicht vorhanden. Stattdessen wird hier der Gesamtenergiedurchlassgrad nicht direkt eingegeben, sondern durch den direkten Strahlungsabsorptions-, Strahlungstransmissions- und Strahlungsreflexionsgrad ermittelt. Angaben zu diesen befinden sich zumeist in Datenblättern zu den Verglasungen. Dieses Vorgehen kann umgangen werden, wenn die vorhandene Verglasung bereits in der Datenbank vermerkt ist.

Wie die Anpassung der Randbedingungen in den beiden Programmen erfolgt, wird im nachfolgenden Abschnitt genauer beschrieben.

3.4 AUSGANGSSITUATION IN BEIDEN PROGRAMMEN

3.4.1 Anpassung der Randbedingungen

Bevor Varianten zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes erstellt werden können, muss sichergestellt werden, dass beide Simulationsprogramme die gleichen Randbedingungen aufweisen. Das Ziel ist hierbei, dass die Simulation so nah wie möglich an einander anzugleichen, sodass diese für die Variantenrechnung der Verbesserungsvorschläge vergleichbar sind.

Wie in Abschnitt 3.3.3 bereits erklärt wurde, gibt es unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten des g-Werts der Verglasung in den verwendeten Programmen.

Um zu garantieren, dass der Gesamtenergiedurchlassgrad gleich ist, muss der Winkelabhängige g-Wert in Therakles ausgeschaltet werden. Das ist möglich, indem die Datenpunkte zu den einzelnen Winkeln auf 1 gestellt werden.

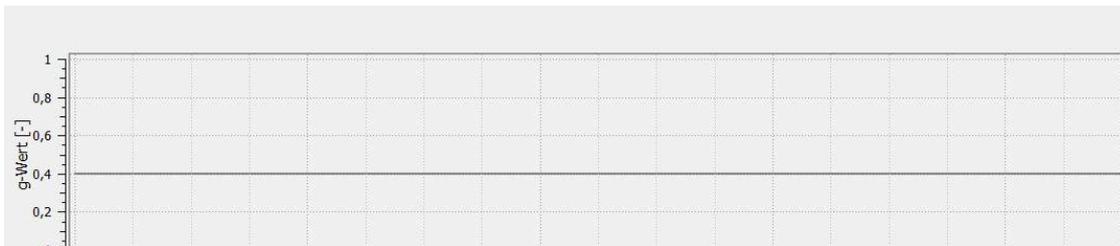


Abbildung 3-1: Einfallswinkeleinstellung in Therakles

Da für die Berechnung in ZUB Helena Sommer die Parameter der Strahlungsabsorptionsgrade der einzelnen Scheiben und der vorhandene Strahlungstransmissionsgrad für die Verglasung des Oberlichts vom Hersteller angegeben wurden, war es hier möglich die Verglasung eigenständig einzugeben.

Die folgende Tabelle 3-1 zeigt alle wichtigen Randbedingungen, welche für die Simulation des Lesesaals nach DIN 4108-2 zu verwenden sind. Die Beschreibung der Randbedingung ist dem Abschnitt 8.4.2 der Norm entnommen und mit Angaben der Eigenschaften des Lesesaals versehen.

Randbedingung	Einstellung + Beschreibung
Nutzung	Nichtwohngebäude, mit Nutzungszeitraum von 7.00 -18.00 Uhr
Klimaregion	C
Interne Wärmeeinträge	144 Wh/m ² d bzw. 13,0909 Wh/m ² (gerechnet auf den Nutzungszeitraum pro Tag)
Soll-Raumtemperatur für Heizzwecke	$\theta_{h,soll} \geq 21^{\circ}\text{C}$
Grundluftwechsel	Während der Nutzungszeit: $n = 4 \cdot 144,82 \text{ m}^2 / 553,17 \text{ m}^3 = 1,047 \text{ 1/h}$ Außerhalb der Nutzungszeit: 0,24 1/h
Tagluftwechsel	Bedingungen für den erhöhten Tagluftwechsel sind gegeben. Der Tagluftwechsel wird erhöht auf $n = 3 \text{ 1/h}$
Nachluftwechsel	Bedingungen für den erhöhten Nachluftwechsel sind durch Lüftungsanlage gegeben. Der Nachluftwechsel wird erhöht auf $n = 2 \text{ 1/h}$
Sonnenschutz	Feststehender Sonnenschutz; Ausgangssituation: innenliegender Sonnenschutz angenommen mit F_c -Wert = 0,8 In Variantenstudie variieren die Angaben zum Sonnenschutz;
Wärmeübergangswiderstände	Nach DIN EN ISO 6946;2008-04 Tabelle 1 berücksichtigt
Bauliche Verschattung	nicht berücksichtigt
Passive Kühlung	nicht berücksichtigt

Tabelle 3-1: Randbedingungen für die Nachweisführung des Lesesaals nach DIN 4108-2:2013-02 Abschnitt 8.4.2

3.4.2 Modellierungsmöglichkeiten der Ausgangssituation

Nachdem sichergestellt ist, dass die Randbedingungen vollkommen gleich sind muss nun auch entschieden werden, wie das Oberlicht als Konstruktion dargestellt wird.

Die Art der konstruktiven Darstellung ist, wie sich im Laufe der Arbeit herausgestellt hat, entscheidend für den Vergleich der Ergebnisse der Programme untereinander. Es wurden hierbei drei unterschiedliche Ansätze für die konstruktive Darstellung des Oberlichts erstellt.

In Tabelle 3-2 sind die Ergebnisse der Darstellungsvarianten aufgeführt. Bei allen Varianten wurde der vertikale Anteil der Verglasung des Oberlichts nicht mit beachtet, da eine genaue

Angabe dazu führen würde, dass die solaren Strahlungseinträge von der Simulation überschätzt werden.

Variantenbezeichnung	Ergebnisse der Variante	THERAKLES	ZUB Helena	totale	Differnz
			Sommer	Differenz	Prozentual
Oberlicht integriert	Übertemperaturgradstunden	5167 Kh	6831 Kh	1664 Kh	32,2 %
	max. operative Temp.	46,4 °C	53,2 °C	6,8 °C	14,6 %
Oberlicht extra geneigt	Übertemperaturgradstunden	7053 Kh	6706 Kh	347,3 Kh	4,9 %
	max. operative Temp.	48,7 °C	52,7 °C	4,0 °C	8,2 %
Oberlicht extra horizontal	Übertemperaturgradstunden	8022 Kh	7718 Kh	304 Kh	3,8 %
	max. operative Temp.	50,7 °C	56,1 °C	5,4 °C	10,7 %

Tabelle 3-2: Modellierungsmöglichkeiten der Ausgangssituation des Lesesaals

Die erste Variante der Modellierung bestand darin, das Oberlicht direkt in die Konstruktion des Steildaches zu integrieren. Diese Variante stellte sich jedoch mit einer totalen Differenz von 1664 Kh und 6,8°C zwischen den Programmen als nicht zielführend heraus. Daraufhin wurde die Darstellung des Oberlichts geändert.

Die nächste Idee war daher das Oberlicht separat, aber mit Neigung in die Konstruktionseingabe einzutragen. Dieses Vorgehen ist unter der Bezeichnung „Oberlicht extra geneigt“ in der nachfolgenden Tabelle eingetragen. Hier wurde die Differenz zwischen den Programmmodellierungen deutlich geringer. Die Übertemperaturgradstunden der Programme weisen eine Differenz von 347,3 Kh auf. Auffällig ist, dass bei dieser Darstellungsvariante die Übertemperaturgradstunden in THERAKLES deutlich angestiegen sind (um 1886 Kh) während im Programm ZUB Helena Sommer diese leicht abgesunken sind (um 125 Kh). Die Änderungen der Werte in unterschiedliche Richtungen werfen Fragen auf. Daher wurde eine dritte Konstruktionsvariante erstellt, die das Oberlicht noch weiter vereinfacht.

In der Variante „Oberlicht extra horizontal“ wurde das Oberlicht vereinfacht als einzelnstehende, horizontale Fläche, in Größe der Grundrissfläche von 42 m² angenommen. In dieser Variante ist die Differenz der Übertemperaturgradstunden noch einmal gesunken. Der Unterschied in den operativen Temperaturen ist jedoch leicht höher als in der zweiten Variante.

Für das weitere Vorgehen der Erstellung der Verbesserungsvarianten wurde sich für die Modellierungsmöglichkeit 3 „Oberlicht extra horizontal“ entschieden.

Begründet wird diese Entscheidung mit der geringen Differenz von 304 Kh bzw. 3,8% der Übertemperaturgradstunden. Durch die hohen Übertemperaturgradstunden kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Variante die solaren Strahlungseinträge ausreichend in der Simulation angesetzt werden.

Die Ursache hinter den unterschiedlichen Ergebnissen je nach Modellierung, trotz ähnlicher Konstruktion lässt sich nur schwer beantworten. Die unterschiedlichen Werte entstehen möglicherweise aufgrund des unterschiedlichen Eingangs der Strahlungslasten in die

Simulationsberechnung und die unterschiedliche Bewertung des Programms zur Raumgeometrie.

3.5 VARIANTEN ZUR VERBESSERUNG DES SOMMERLICHEN WÄRMESCHUTZES

Für die Lösung des Problems der Überhitzung des Lesesaals wurden mehrere Varianten untersucht und in beide Simulationsprogramme eingegeben. Es wird hierbei untersucht, ob durch rein konstruktive Maßnahmen die Anforderung an den sommerlichen Wärmeschutz erzielt werden können oder ob der Lesesaal mit einer Kühlung versehen werden muss.

Es wurde bei der Erstellung der Varianten die Randbedingungen des Gesamtenergie-durchlassgrades, des Abminderungsfaktor infolge von Sonnenschutz und das einsetzen einer Nachtlüftung variiert.

Die Tabelle 3-3 zeigt die Beschreibung der gewählten Varianten und deren Randbedingungen. Die Varianten wurden bereits nach konstruktivem und wirtschaftlichem Aufwand geordnet.

Die einfachste Lösung zur Verbesserung der Ausgangslage ist eine Folierung der Verglasungsfläche, wie es in Variante 1 unternommen wird. In Variante 2 wird diese Folierung noch zusätzlich durch eine erhöhte Nachtlüftung unterstützt.

Variante	Beschreibung	Randbedingungen	
V0	Ausgangssituation: $F_c = 0,8$ wird in den anschließenden Varianten abgeschafft.	g-Wert	0,51
		Fc-Wert	0,80
		Nachtlüftung	0,00 1/h
V1	Bestandkonstruktion + Folierung der Verglasung	g-Wert	0,30
		Fc-Wert	1,00
		Nachtlüftung	0,00 1/h
V2	Folierung der Verglasung + einsetzen einer Nachtlüftung	g-Wert	0,30
		Fc-Wert	1,00
		Nachtlüftung	2,00 1/h
V3	neue Konstruktion; neue Verglasung + einsetzen einer Verschattung	g-Wert	0,40
		Fc-Wert	0,40
		Nachtlüftung	0,00 1/h
V4	neue Konstruktion; Tageslichtsystem mit lichtlenkende Microraster im SZR	g-Wert	0,23
		Fc-Wert	1,00
		Nachtlüftung	0,00 1/h
V5	Variante 5; zusätzliches einsetzen einer Nachtlüftung	g-Wert	0,23
		Fc-Wert	1,00
		Nachtlüftung	2,00 1/h

Tabelle 3-3: Variantenbeschreibungen

In Varianten 3 bis 5 bestehen die Maßnahmen darin, die Konstruktion des Oberlichts komplett auszutauschen. In Variante 3 besteht die neue Konstruktion aus einer Sonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,4, welche mit einem außenliegenden Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor von 40% versehen ist.

Bei Varianter 4 und 5 wird ein Tageslichtsystem mit einem lichtlenkenden Microraster im Scheibenzwischenraum angesetzt. Solche Systeme eignen sich sehr gut für Oberlichter, da hier ein Großteil der Sonneneinstrahlung vom Microraster reflektiert wird. Somit wird ein sehr niedriger Gesamtenergiedurchlassgrad erreicht. Die Variante 5 wird zusätzlich mit einer Nachtlüftung versehen.

3.5.1 Zusätzliche Variante in ZUB Helena Sommer

Als Lösungsstrategie zur Verbesserung des Überhitzungsproblems im Lesesaal gibt es auch die Möglichkeit den Raum zu vergrößern, sodass sich die solaren Wärmeeinträge besser im Raum verteilen können. Durch die Vergrößerung vermindert sich jedoch auch gleichzeitig der Kennwert des Luftwechsels.

Da in *ZUB Helena Sommer* eine Variantenrechnung gut für Konstruktionsänderungen zu erstellen ist, wurde in diesem Programm eine weitere Variante zur Vergrößerung des Raumvolumens erstellt. Dafür wurde das Volumen des Foyers mit hinzugerechnet. Diese Maßnahme wäre konstruktiv und wirtschaftlich leicht umzusetzen, da hierfür lediglich die Glastür und Glaswand auf der Südseite des Raums ausgebaut werden müsste. Mit der zusätzlichen Fläche des Foyers kommt man nun auf eine Grundfläche von 197,33 m². Gleichzeitig wurde aufgrund des höheren Luftvolumens der Tagluftwechsel auf 2,5 Luftwechsel pro Stunde herabgesetzt. Es stellt sich nun die Frage, ob die Grundflächenvergrößerung zu einer Verbesserung führt oder ob durch die Minderung des Kennwertes für den Tagesluftwechsel die Situation verschlechtert wird. Die Ergebnisse der Untersuchung werden im Abschnitt 4.2.1 genauer erläutert.

3.6 BENUTZERDEFINIERTER SIMULATION IN THERAKLES

Im Programm *THERAKLES* gibt es die Möglichkeit neben der Berechnung nach DIN 4108-2, eine Simulation mit eigenen Randbedingungen zu berechnen. Mit dieser Methode soll nun der Lesesaal in seiner Ausgangssituation noch einmal untersucht und mit den Sensormessungen verglichen werden. Somit soll bewertet werden, wie realistisch die Simulation ist und ob die Temperaturen im Raum eher zu hoch oder zu niedrig bewertet wurden.

Es ist bei der benutzerdefinierten Berechnung in *THERAKLES* möglich, eigene Klimadaten einzuspielen. Mit Hilfe von Daten des deutschen Wetterdiensts von Dresden Klotzsche wurde für die Simulation eine Klimadatendatei vom Jahr 2021 erstellt und diese in das Programm importiert.

Bei den Randbedingungen wie Heizung, Kühlung, Lüftung, Verschattung und die internen Quellen, ist es möglich diese mit tageszyklischen Werten oder einen Jahresverlauf zu versehen. Es wurde für die Eingabe der Randbedingungen der Tageszyklus, abhängig von Wochentag und Wochenende gewählt. Für den Lesesaal wurde versucht, die Nutzungszeit auf die realen Öffnungszeiten anzupassen. Daher ist die Nutzungszeit für den Raum von Dienstag bis Freitag von 9.00 bis 18.00 Uhr festgelegt. Die Art und Weise, wie die Randbedingungen im Programm aufgenommen werden ist im folgenden Text beschrieben. Die kompletten Randbedingungen sind in der anschließenden Tabelle 3-4 aufgelistet.

Die Heizung wird mit einer Solltemperatur von 21 °C angegeben. Die Leistung wurde auf 30 Kilowatt eingestellt. Die Lüftung wird vom Programm in die Freie Lüftung und in mechanische Lüftung unterteilt. Die Einstellungen der mechanischen Lüftung wurden Tageszyklisch angepasst. Da über die Lüftungsanlage keinerlei Informationen bekannt sind, wurden die angegebenen Luftvolumenströme anhand der Luftwechselrate und des Raumvolumens berechnet. Es wird bei der Lüftungsanlage hier von einem einfachen Luftwechsel ausgegangen, folglich ein Luftvolumenstrom von rund 550 Kubikmeter pro Stunde. Für die Zeit zwischen 13.00 – 15.00 Uhr wurde der Luftvolumenstrom auf 825 Kubikmeter pro Stunde erhöht, um möglichst der Nachmittagshitze entgegenzuwirken. Außerhalb der Nutzungszeit wird angenommen, dass die Lüftungsanlage ausgeschaltet wird. Die freie Lüftung wurde mit einem Luftwechsel von 0,25 pro Stunde angenommen.

Die internen Wärmequellen werden unterteilt in die inneren Wärmequellen durch die Ausstattung und in die durch Personen. Es wird davon ausgegangen, dass eine Person 80 Watt an den Raum abgibt. Aufgrund der Pandemie ist davon auszugehen, dass der Lesesaal im Jahr 2021 nur äußerst selten belegt war. Es wird daher angenommen, dass sich im Schnitt maximal 3 Personen im Raum aufgehalten haben. Im Programm wurde von 9.00 bis 10.00 Uhr und von 16.00 bis 18.00 Uhr mit zwei Personen im Raum gerechnet. Von 11.00 bis 15.00 Uhr wurden 3 Personen angesetzt.

Bei den Wärmequellen der Ausstattung handelt es sich um die im Raum vorhandene Beleuchtung in Form von Langfeldleuchten und Schreibtischlampen, sowie die Computer. Die Lasten durch die Ausstattung werden an der Anzahl der im Raum befindlichen Personen angepasst. Die Berechnung der internen Wärmequellen der Ausstattung wird in Tabelle 3-4 gezeigt. Die Angaben zur Wärmeabgabe der Beleuchtung wurden durch die Vorortbegehung ermittelt. Die Angaben der Wärmeabgabe eines Computers, beträgt in etwa 10 W/m^2 .²²

Interne Wärmeeinträge	Anzahl	Wärmeabgabe pro Gerät [W]	Wärmabgabe gesamt [W]
Computer	3	10	30
Schreibtischlampen	3	40	120
Langfeldleuchten	20	58	1160
Σ Wärmeabgabe [W]:			1310
Grundfläche A [m²]:			144,81
W/m²:			9,0

Tabelle 3-4: Berechnung der internen Wärmequellen in Form der Ausstattung

²² Schild und Willems, *Wärmeschutz*. S.186

4 AUSWERTUNG

4.1 AUSWERTUNG SONNENEINTRAGSKENNWERTEVERFAHREN

Das Sonneneintragskennwerteverfahren wurde für alle Varianten von Ausgangssituation V0 bis V5 durchgeführt. Die Berechnung ist ausschließlich in Variante 5 erfüllt. Der vereinfachte Nachweis hat dennoch keine alleinige Aussagekraft für den Lesesaal, da die Temperaturentwicklung und tatsächlichen Übertemperaturen mit diesem Nachweis nicht angezeigt werden. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle. Die volle Berechnung befindet sich im Anhang 6 bis 12.

Variante	Vorhandener Sonneneintragskennwert	Zulässiger Sonneneintragskennwert	Nachweis erfüllt/ nicht erfüllt
0	0,117	-0,01	nicht erfüllt
1	0,104	0,02	nicht erfüllt
2	0,104	0,068	nicht erfüllt
3	0,042	0,02	nicht erfüllt
4	0,052	0,02	nicht erfüllt
5	0,052	0,068	erfüllt

Tabelle 4-1: Ergebnisse des Sonneneintragskennwerteverfahrens

4.2 AUSWERTUNG DER VARIANTENSTUDIE

Die folgende Tabelle 4-2 zeigt die Ergebnisse der Programme *ZUB Helena Sommer* und *THERAKLES* im Vergleich. Untersucht und miteinander verglichen wurden die Ergebnisparameter der maximalen operativen Temperatur und den Übertemperaturgradstunden. Die Differenzen, welche sich in den Programmen ergeben hatten, sind in den letzten zwei Spalten als totale und Prozentuale Differenz mit inkludiert. Die prozentuale Differenz stellt dabei den besseren Vergleichswert dar. Die Differenzen wurden farblich markiert, um die Einschätzung genauer darzustellen. Rote Werte bedeuten, dass die Differenz zwischen den Programmen als viel zu hoch eingeschätzt wird. Gelbe Differenzen werden als kritisch, aber ggf. akzeptabel betrachtet. Grüne Differenzen werden als akzeptabel eingestuft.

Variante	Ergebnisparameter	ZUB	Therakles	Differenz total	Diff. Prozentual
V0	Max. operative Temperatur	55,8 °C	50,7 °C	5,06 °C	9,98 %
	Übertemperaturgradstunden	7597 Kh/a	8022 Kh/a	425 Kh/a	5,30 %
V1	Max. operative Temperatur	47,0 °C	43 °C	3,97 °C	9,23 %
	Übertemperaturgradstunden	4520 Kh/a	3473 Kh/a	1046,7 Kh/a	30,14 %
V2	Max. operative Temperatur	41,2 °C	40,9 °C	0,27 °C	0,66 %
	Übertemperaturgradstunden	2169 Kh/a	2021 Kh/a	148 Kh/a	7,32 %
V3	Max. operative Temperatur	38,6 °C	43,2 °C	4,6 °C	10,65 %
	Übertemperaturgradstunden	1715 Kh/a	1760 Kh/a	45 Kh/a	2,56 %
V4	Max. operative Temperatur	38,7 °C	37,8 °C	0,88 °C	2,33 %
	Übertemperaturgradstunden	1729 Kh/a	1227 Kh/a	502 Kh/a	40,91 %
V5	Max. operative Temperatur	36,6 °C	36,4 °C	0,16 °C	0,44 %
	Übertemperaturgradstunden	825 Kh/a	690 Kh/a	135 Kh/a	19,57 %

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Variantenstudie

Wie zu erkennen ist, weisen die Programme in der Berechnung zum Teil recht große Unterschiede auf. Davon am meisten betroffen sind Variante 1 und Variante 4

Um die Ursache für die Differenz herauszufinden, werden die Randbedingungs-einstellungen betrachtet. Die Varianten vereint die Situation, dass ausschließlich der g-Wert für die Simulation angepasst wurde. Folglich ist daraus zu schließen, dass die Berechnungen innerhalb der Simulationsprogramme bezüglich des Gesamtenergiedurchlassgrades stark variieren. Durch den Einfluss der Nachlüftung und des Abminderungsfaktors der Verschattung wurde die Differenz der Übertemperaturgradstunden vermindert.

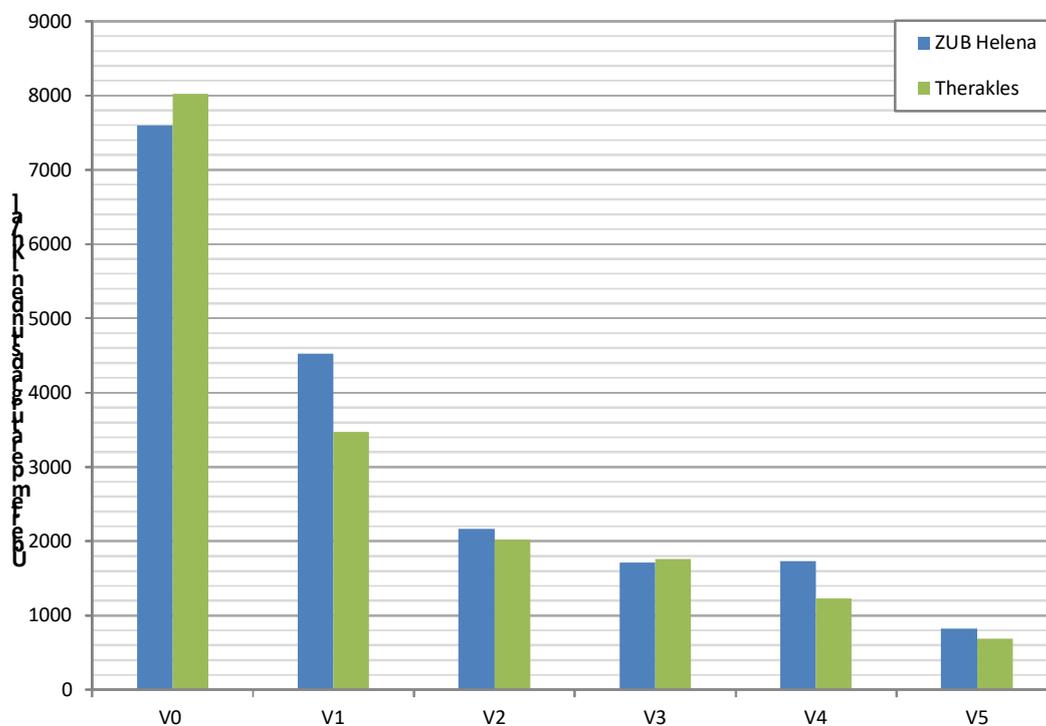


Abbildung 4-1: Vergleich der Übertemperaturgradstunden unter den Simulationsprogrammen

Wie in Abbildung 4-1 zu sehen ist, stellt das Programm *THERAKLES* für die Ausgangssituation den kritischeren Wert dar. Für die Verbesserungsvarianten erreicht *ZUB Helena Sommer* jedoch die kritischeren Werte.

In keinem der beiden Simulationsprogramme werden für die Varianten die normativen Anforderungen von maximal 500 Kh/a erfüllt.

4.2.1 Auswertung der Grundflächenvergrößerung in ZUB Helena Sommer

Für den die zusätzliche Vergrößerung der Grundfläche durch das Foyer und die Minderung des Tagluftwechsels auf 2,5 Luftwechsel pro Stunde ergaben sich folgende Ergebnisse:

Variante	Randbedingung		Ergebnisparameter	A = 197 m ²	A = 145 m ²
V0	g-Wert	0,40	Übertemperaturstunden	993,00 h	1016,00 h
	Fc-Wert	0,80	Übertemperaturgradstunden	6922,20 Kh/a	7597,00 Kh/a
	Nachtlüftung	0,00 1/h			
V1	g-Wert	0,30	Übertemperaturstunden	803,00 h	837,00 h
	Fc-Wert	1,00	Übertemperaturgradstunden	4218,30 Kh/a	4519,00 Kh/a
	Nachtlüftung	0,00 1/h			
V2	g-Wert	0,30	Übertemperaturstunden	547,00 h	545,00 h
	Fc-Wert	1,00	Übertemperaturgradstunden	2099,00 Kh/a	2169,00 Kh/a
	Nachtlüftung	2,00 1/h			
V3	g-Wert	0,40	Übertemperaturstunden	507,00 h	499,00 h
	Fc-Wert	0,40	Übertemperaturgradstunden	1743,00 Kh/a	1715,00 Kh/a
	Nachtlüftung	0,00 1/h			
V4	g-Wert	0,15	Übertemperaturstunden	508,00 h	503,00 h
	Fc-Wert	1,00	Übertemperaturgradstunden	1756,00 Kh/a	1729,00 Kh/a
	Nachtlüftung	0,00 1/h			
V5	g-Wert	0,15	Übertemperaturstunden	333,00 h	320,00 h
	Fc-Wert	1,00	Übertemperaturgradstunden	887,30 Kh/a	825,00 Kh/a
	Nachtlüftung	2,00 1/h			

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Variantenstudie mit erhöhter Raumfläche

Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den Raumflächen kann Abbildung 4-2 herangezogen werden.

Wie sich zeigt, hat sich in der Ausgangssituation durch die Vergrößerung der Raumfläche die Überhitzung des Raumes deutlich gebessert. Auch In Variante 1 gibt es eine starke Verbesserung der Situation. Für die Verbesserungsvarianten 2 bis 4 sind die Unterschiede zu der Ausgangsraumfläche nur minimal zu erkennen. Für Variante 5 ist die Situation sogar minimal schlechter geworden.

Folglich lässt sich daraus schließen, dass ein zusätzlicher Aufwand durch die Vergrößerung der Raumfläche kein größere Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutz mit sich bringt, wenn gleichzeitig der Luftwechsel gemindert werden muss. Diese Herangehensweise erweist sich also für den Lesesaal als nicht geeignet. Bei einem gleichbleibendem Luftwechsel würde es aber durchaus zu einer Verbesserung führen.

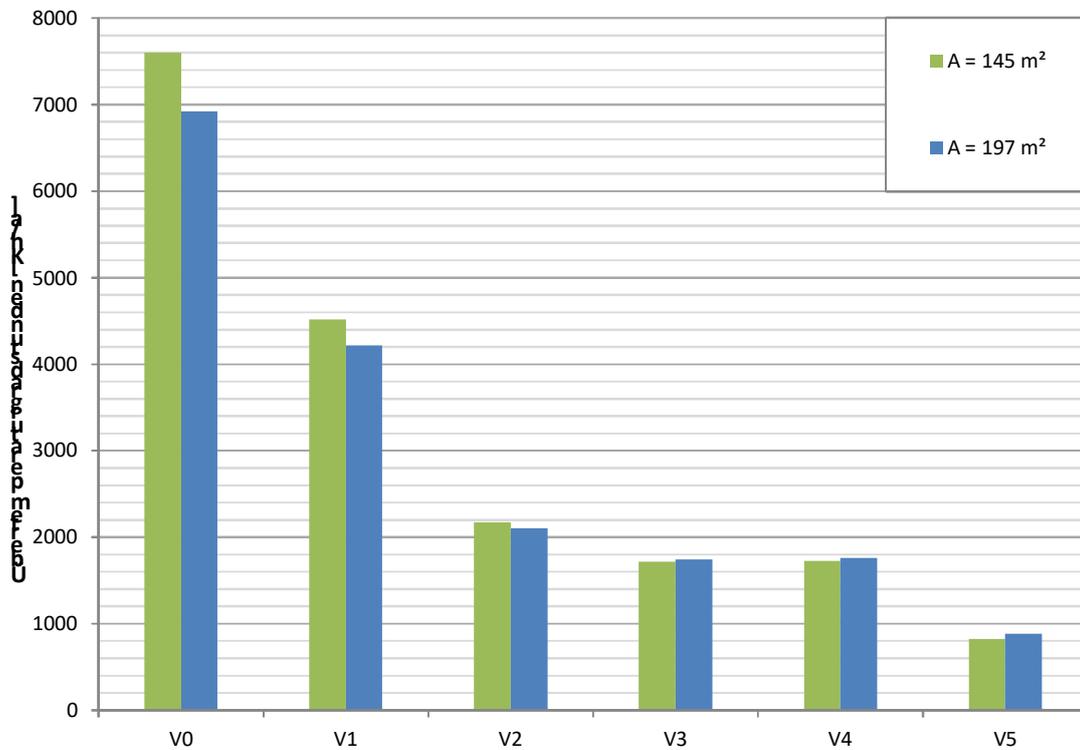


Abbildung 4-2: Vergleich der unterschiedlichen Einstellungen der Grundflächen des Lesesaals in ZUB Helena Sommer

4.3 AUSWERTUNG DER BENUTZERDEFINIERTEN VARIANTE

In Abbildung 4-3 wird die Temperaturkurve der Simulationsrechnung, denen der Temperaturenmessungen des Oberlichts und der Abluft gegenübergestellt.

Es zeigt sich, dass sich die Temperaturkurve der Simulationsrechnung an die des Temperatursensors des Oberlichts annähert. Beispielsweise sind im Zeitraum von 7. bis zum 9. September die Tagestemperaturen der Simulation und des Oberlichts nahezu identisch. Es herrschen jedoch keine so hohen Temperaturamplituden wie bei der Messung des Oberlichts vor. Stattdessen bleiben die Temperaturen in der Simulation auch über Nacht relativ hoch. Sie senken sich nur um etwa 7 Kelvin.

Die größte Differenz zwischen der Temperaturmessung im Oberlicht und der Simulationsrechnung stellt sich am 15. September ein. Hier ist der Unterschied der beiden Temperaturlinien bei 10,9 Kelvin. Mit 32,6°C ist die Temperaturmessung im Oberlicht dabei der kritischere Temperaturwert.

Der 10. September enthält eine Unregelmäßigkeit in der Simulationsrechnung. Diese ist nicht erklärbar, aber im Gesamtgeschehen von untergeordneter Bedeutung.

Ab dem 4. Oktober verläuft die Temperaturlinie der Simulation parallel zur Zeitachse. Das zeigt, dass im Simulationsprogramm unabhängig von dem gemessenen Außentemperaturen die Heizperiode angesetzt wird. Dies ist am Programm kritisch zu hinterfragen.

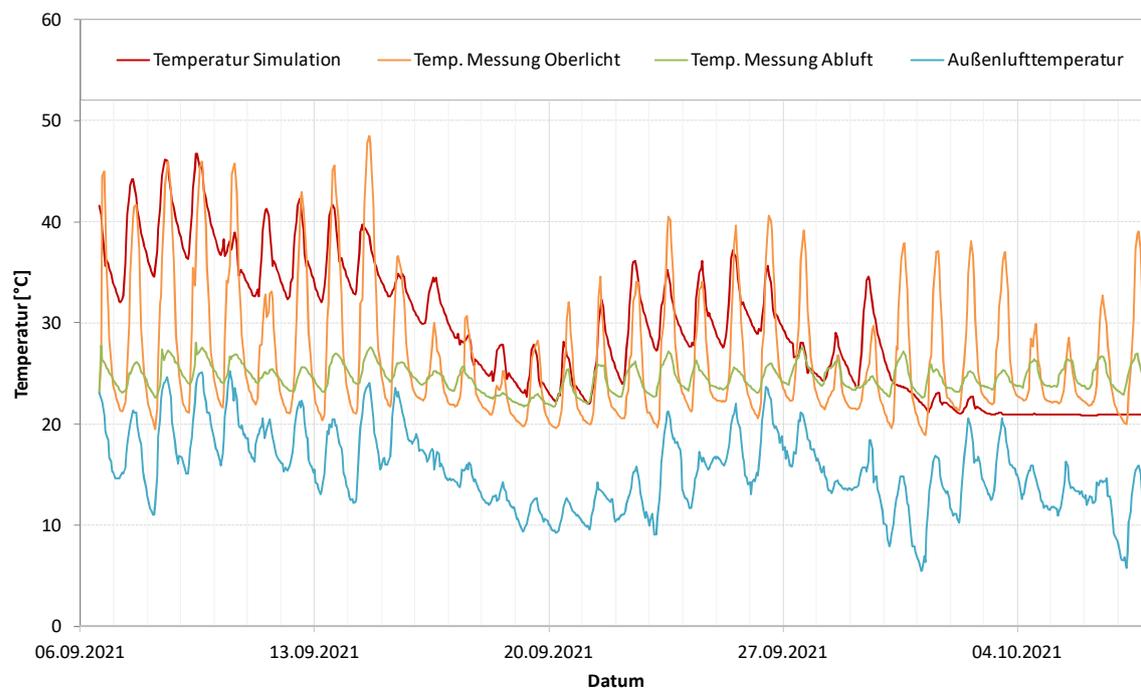


Abbildung 4-3: Vergleich Temperaturverlauf der Simulation mit Sensorenmessungen

Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass das Programm *THERAKLES* prinzipiell mit zu hohen Nachttemperaturen rechnet, die operativen Temperaturen am Tag jedoch den Messungen des Oberlichts annähernd entsprechen. Die Temperaturen, welche im unteren Teil des Lesesaal gemessen wurden (ca. 2 m Höhe), werden mit Simulation in keiner Hinsicht dargestellt.

Ein Grund für die erhöhten Temperaturen liegt unter Umständen in der Vereinfachung der Raumgeometrie, die durch das Programm durchgeführt wird. Weder die Dachschräge, noch die damit verbundene eigentliche Höhe der Verglasung, lässt sich in der Simulation eindeutig darstellen. Sie wird stattdessen stark vereinfacht. Die direkte Differenz zwischen Raummitte und der Temperatur direkt unterhalb der Verglasung wird somit in der Simulation nicht dargestellt.

Um herauszufinden mit welchen Randbedingungen die Simulation dem Temperaturverlauf am nächsten kommt, kann eine Kalibrierung durchgeführt werden. Dies wurde jedoch innerhalb der Arbeit nicht weiter untersucht.

4.4 BETRACHTUNG DER VARIANTEN AUF WIRTSCHAFTLICHKEIT

In Hinblick auf die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit, wurden die Varianten bereits bei der Erstellung in der Reihenfolge des vermuteten wirtschaftlichen Aufwands geordnet.

Aufgrund dessen, dass in Variante 1 und 2 die Glaskonstruktion bei der Bestandskonstruktion belassen wird, kann hier von einem geringen Kostenaufwand ausgegangen werden. In Variante 2 kommen die zusätzlichen Betriebskosten der Lüftungsanlage infolge einer Nachtlüftung hinzu. Die Betriebskosten werden in der folgenden Berechnung auf 20 Jahre gerechnet.

Ab Variante 3 wird in den Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz die Glaskonstruktion ausgetauscht. Die genauen Aufbauten sind dem Kapitel 0 zu entnehmen. Der Austausch der Konstruktion sorgt selbstverständlich für einen höheren Kostenaufwand. Dieser wird in Variante 5 mit der zusätzlichen Nachtlüftung vergrößert.

Für die Kostenschätzung muss die Verglasungsfläche komplett betrachtet werden. Das heißt es werden in der Berechnung auch die vertikalen Flächenanteile mit betrachtet. Somit ergibt sich eine Fläche von 64 m².

Die Kosten wurden auf unterschiedlichste Arten recherchiert. Die Kostenberechnung für den Lohnanteil des Einbaus der Verglasung wurde mit veralteten Daten des Buches „Baukosten

2010/11“ berechnet. Mittels folgender Formel wurde die Berechnung auf die heutigen Baukosten aktualisiert²³:

$$\text{Preis aktuell} = \frac{\text{Preis}_{\text{vor}} * \text{Index}_{\text{neu}}}{\text{Index}_{\text{alt}}}$$

Die Indizes von 2011 und 2021 wurden mittels der Daten des Statistischen Bundesamtes ermittelt.²⁴ Der Index vom 4.Quartal 2021 beträgt dabei 133,4, der Index vom 1.Quartal 2011 91,6. Kostendaten für Sonnenschutzfolierung und Betriebskosten für die zusätzliche Nachlüftung sind mittels Internetrecherche ermittelt.^{25,26}

In einer Konferenz mit den Auftraggebern am 5. Januar 2022 wurden die Kosten für die Tageslichtsysteme besprochen. Es wurde zu diesem Zeitpunkt eine Kostenschätzung von der Firma *Okalux* vorgestellt. Diese legt für die Maßnahmen einen Preis von 600 Euro pro Quadratmeter fest.

In Tabelle 4-4 sind die kalkulierten Gesamtkosten je Variante dargestellt. Dabei sind die Baustelleneinrichtungskosten nicht mit in die Berechnung eingeflossen, sondern ausschließlich die Lohnkosten für Ausbau und Einbau der Verglasungen, sowie des Materials. Bei den Varianten, welche eine Lüftungsanlage für die Nachlüftung vorsehen, wurden die zusätzlichen Nutzungskosten für die Anlage bei der Berechnung mit hinzugezogen

Die bereits vor Beginn der Analyse getroffene Vermutung, in Bezug auf den steigenden wirtschaftlichen Aufwand, wurde durch die finale Berechnung der Gesamtkosten bestätigt.

Die vollständige Aufschlüsselung der Kosten befindet sich in Anhang 14.

Variante	Beschreibung	Gesamtkosten [€]
V1	Anbringung einer Folierung	11.200,00
V2	Anbringung einer Folierung und Verwendung der Lüftungsanlagen	14.200,00
V3	Austausch der Verglasung und Anbringung eines Sonnenschutz	53.134,53
V4	Austausch der Verglasung mit Okalux Tageslichtsystem	61.504,00
V5	Austausch der Verglasung mit Okalux Tageslichtsystem und Verwendung der Lüftungsanlage	64.504,00

Tabelle 4-4: Kostenschätzung der einzelnen Varianten

²³ Schmitz, *Baukosten*. 1.; S. 22

²⁴ „bauwirtschaft-preise-2170400213244.pdf;jsessionid=70204649A6C1B6279A46FAC8A7EAF692.pdf“.

²⁵ „Kosten für Klimaanlage und Lüftungsanlagen 2020/2021“.

²⁶ „Preisfrage: Was kosten Sonnenschutzfolien? – zuheiss.de“.

5 FAZIT

5.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

- Das Sonneneintragskennwerteverfahren ist als Nachweis im Fall der Sanierung des Lesesaals nicht geeignet, da damit keine Aussage zu der Temperaturentwicklung über den Zeitraum eines Jahres getroffen werden kann.
- Die Darstellung des Oberlichts für den Vergleich der Simulationsprogramme ist stark vereinfacht, da sonst zu hohe Differenzen in den Ergebnissen der Ausgangssituation auftreten.
- Für die Varianten zur Verbesserung des Raumklimas sind die Übertemperaturgradstunden vom Programm *ZUB Helena Sommer* höher als die vom Programm *THERAKLES*. Wird nur der Gesamtenergiedurchlassgrad angepasst, so variieren die Ergebnisse der beiden Programme relativ stark.
- Keine der Verbesserungsvarianten erfüllt den nach DIN 4108-02 vorgegebenen Richtwert von 500 Kh/a. Die beste Variante aus bauphysikalischer Sicht stellt die Variante 5 dar. Jedoch ist diese auch mit dem größten Kostenaufwand verbunden.
- Eine angesetzte Vergrößerung des Lesesaals, mit gleichzeitiger Minderung des Luftwechsels, führt in der Variantenstudie zu keiner Verbesserung der Ergebnisse.
- Die operativen Temperaturen, die in der benutzerdefinierten Simulation in *THERAKLES* erfasst werden, stellen den Verlauf der Messungen des Oberlichts ansatzweise dar. Die Temperaturen, die das Programm bei Nacht errechnet, sind jedoch viel zu hoch angesetzt. Ohne Berücksichtigung der Außentemperaturen, wird ab Anfang Oktober die Heizperiode im Programm erfasst. Hohe Lufttemperaturen im Oktober sorgen somit für keinen Ausschlag der Temperaturkurve.

5.2 KRITISCHE BETRACHTUNG ZU DEN ERGEBNISSEN

In dieser Arbeit ist kritisch zu hinterfragen, inwiefern die Ergebnisse den realen Zustand im Raum darstellen.

Allgemein betrachtet, stellen die durch das Ingenieurbüro „IB Bauklimatik“ durchgeführten Messungen, die extremen Temperaturen bei einer Hitzeperiode nicht dar, da die Messungen nur im September durchgeführt wurden. Das Temperaturmessprotokoll, welches über die Sommermonate von den Mitarbeitenden des Archivs angefertigt wurde, ist jedoch zu statisch, um damit einen genauen Vergleich führen zu können.

Ein weiterer Punkt der Kritik, liegt in der Simulationsdarstellung. Die Simulationsprogramme können Räume mit komplizierter Geometrie nur recht wackelig darstellen. Mit der vorhandenen Dachschräge und dem hochgesetzten Oberlicht, tritt solch eine komplizierte Raumgeometrie im Lesesaal auf. Das Hauptproblem liegt dabei in der Darstellung der Raumlufttemperaturen im unteren Teil des Raumes, indem sich die Personen aufhalten.

Das Oberlicht wurde im Zuge des Vergleichs der Simulationsprogramme stark vereinfacht. Die für die Variantenstudie vereinfachte Baukonstruktion wurde für die benutzerdefinierten Variante beibehalten. Indem die Verglasung als horizontal angenommen wird, werden die Einwirkungen der solaren Strahlung höher angesetzt, als es real der Fall ist. Da es sich bei dem Raum um ein Dachgeschoss mit Dachschräge handelt, stellt die in die Programme eingegebene lichte Höhe nur einen durchschnittlichen Wert dar. In Realität ist der Abstand zwischen Verglasung und Fußboden wesentlich höher. Mit steigender Raumtiefe wird der Einfluss durch solare Strahlung jedoch geringer. Somit führt auch das zu einer Verzerrung des realen Zustands.

Für die Angaben zur Lüftung und Kühlung lagen keine ausreichenden Informationen vor. Daher konnten die Simulationen diese als Parameter auch nur annähernd in die Berechnung einfließen. Wären mehr Daten zu den Technischen Anlagen bekannt gewesen, so hätte sich der Raum noch genauer darstellen lassen.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass durch vereinfachte Eingaben seitens der Simulationsprogramme und fehlende Informationen von Lüftung und Kühlung, die reale Gesamtsituation des Raumklimas nicht erfasst werden konnte. Die Strahlungslasten werden für den unteren Bereich des Lesesaals zu hoch eingestuft.

5.3 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Da es sich bei dem Bau um einen Bestandsgebäude handelt, und weder ein direkter Ausbau, noch eine Erweiterung vollzogen werden, müssen die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach GEG nicht zwingend erfüllt sein. Aus der Sicht der nutzenden Personen wäre dies jedoch sehr ratsam.

Wenn entschieden werden sollte, dass die Vorgaben der DIN 4108-2 eingehalten werden sollen, ist eine Kühlung über eine technische Anlage erforderlich. Diese kann jedoch auch über eine Lüftungsanlage erfolgen. Auch im Hinblick auf durch den Klimawandel zukünftig steigende Außentemperaturen im Sommer und zur Sicherstellung der Nutzeranforderungen im Raum, ist eine zusätzliche Kälteleistung als sinnvoll zu erachten.

Da eine Kühlung des Raumes vorhanden ist, sollte in der weiteren Planung abgestimmt werden, welche Regelung zwischen Kühlung und Nachtlüftung zu treffen sind. Ob die vorhandene Lüftungsanlage in diesem Fall eine ausreichende Leistungsfähigkeit aufweist, ist ebenfalls zu untersuchen.

Variante 5, bestehend aus einem Tageslichtsystem mit lichtlenkenden Microraster im Scheibenzwischenraum und einem Gesamtenergiedurchlassgrad von 15%, sowie einer zusätzlichen Nachtlüftung, stellte sich als bauphysikalisch sinnvollste Variante heraus. Jedoch zeigt sich in der Wirtschaftlichkeitsprüfung, dass diese Variante auch mit den größten Kosten verbunden ist. Der Anbieter *Okalux* ist nicht der einzige Anbieter, der Tageslichtsysteme mit solch einem niedrigen g-Wert herstellt. Daher empfiehlt sich, ein weiteres Kostenangebot von einem anderen Anbieter einzuholen.

An dieser Stelle sollte vom Auftraggeber entschieden werden, ob die Maßnahmen ausreichend analysiert wurden und wenn ja, für welche Verbesserungsvariante er sich letztendlich entscheidet. Bis zum Ende dieser Arbeit lag keine Finale Entscheidung im Bezug auf die Ausführung vor.

LITERATURVERZEICHNIS

NORMEN UND GESETZE

DIN4108-2:2013-02. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden-Teil2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. 2013. Berlin: Beuth-Verlag

DIN EN 16798-1. Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparmeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019. Berlin: Beuth-Verlag

DIN EN ISO 13786 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren (ISO 13786:2017); Deutsche Fassung EN ISO 13786:2017. Berlin: Beuth-Verlag

GEG - Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze 2020. Teil I Nr. 37, Bonn: Bundesanzeiger-Verlag

FACHBÜCHER UND PDF'S

Schild, Kai, und Wolfgang M. Willems. *Wärmeschutz: Grundlagen - Berechnung - Bewertung*. 1. Aufl. Detailwissen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011.

Schmitz, Heinz, Hrsg. *Baukosten. 1: Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung: Arbeitshilfen zur Konstruktionswahl und Planung, Kostenschätzung und Kostenberechnung / bearb. von: Heinz Schmitz*. 20. durchges. u. geänderte Aufl., Stand 2010/2011. Essen: Verl. für Wirtschaft u. Verwaltung, Wingen, 2010.

Dietrich, Udo. „Optimierung eines Raumes mithilfe von DIN 18599-4 (Tageslicht), DIN 4108-2 (sommerlicher Wärmeschutz) und weiterführenden Simulationen“. *Bauphysik* 30, Nr. 4 (2008): 209–17. <https://doi.org/10.1002/bapi.200810028>.

Fahrion, Marc-Steffen. „Sommerlicher Wärmeschutz im Zeichen des Klimawandels – Anpassungsplanung für Bürogebäude“, 26. Januar 2016.

„ZUB Helena - Handbuch.pdf“. Zugegriffen 23. Januar 2022. <https://www.zub-systems.de/sites/default/files/2020-06/ZUB%20Helena%20-%20Handbuch.pdf>.

„bauwirtschaft-preise-2170400213244.pdf;jsessionid=70204649A6C1B6279A46FAC8A7EAF692.pdf“.
Zugegriffen 29. Januar 2022. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/Publikationen/Downloads-Bau-und-Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-2170400213244.pdf;jsessionid=70204649A6C1B6279A46FAC8A7EAF692.live732?__blob=publicationFile.
2022. http://www.buveg.de/docs/HTB_25_2017_Studie.pdf.

„prospekt_tageslichtsysteme.pdf“ . Zugegriffen 24. Januar 2022.
http://www.eckelt.at/de/downloads/produkte/sonnenschutz/dls_microlouvre/prospekt_tageslichtsysteme.pdf.

INTERNETADRESSEN

BauNetz. „Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) | Glas | Bauphysik | Baunetz_Wissen“. Baunetz Wissen. Zugegriffen 29. Januar 2022.
<https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/bauphysik/gesamtenergiedurchlassgrad-g-wert-159244>.

— — —. „Maßnahmen gegen Überhitzung und Luftverschmutzung in Städten | Geneigtes Dach | Forschung | Baunetz_Wissen“. Baunetz Wissen. Zugegriffen 28. Januar 2022.
<https://www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/tipps/forschung/massnahmen-gegen-ueberhitzung-und-luftverschmutzung-in-staedten-7374181>.

— — —. „Wärmespeicherfähigkeit | Altbau | Glossar | Baunetz_Wissen“. Baunetz Wissen. Zugegriffen 23. Januar 2022. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/w/waermespeicherfaehigkeit-49489>.

— — —. „Wärmespeicherfähigkeit | Dämmstoffe | Glossar | Baunetz_Wissen“. Baunetz Wissen. Zugegriffen 23. Januar 2022. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/w/waermespeicherfaehigkeit-1288407>.

„Berechnung des notwendigen Luftwechsels. Empfehlungen für Projektierung“. Zugegriffen 5. November 2021. <https://ventilation-system.com/de/berechnung-des-notwendigen-luftwechsels-empfehlungen-fur-projektierung>.

„Das Programm THERAKLES“. Zugegriffen 23. Januar 2022. http://bauklimatik-dresden.de/therakles/help/v3.4/de/#_strahlungslasten.

Dresden. „Stadtarchiv“. www.dresden.de. Zugegriffen 5. November 2021. <https://www.dresden.de/de/rathaus/aemter-und-einrichtungen/unternehmen/stadtarchiv.php>.

„Einführung - THERAKLES - Handbuch“. Zugegriffen 22. Januar 2022. <http://www.bauklimatik-dresden.de/therakles/help/de/>.

„Kosten für Klimaanlage und Lüftungsanlagen 2020/2021“. Zugegriffen 27. Januar 2022. <https://www.energieheld.de/klima-lueftung/kosten#:~:text=F%C3%BCr%20den%20Betrieb%20einer%20zentralen%20L%C3%BCftungsanlage%20k%C3%B6nnen%20j%C3%A4hrliche,die%20Kosten%20f%C3%BCr%20die%20Anschaffung%20und%20den%20Betrieb>.

Heizung.de. „Luftwechselrate: Bedeutung und Berechnung“, 00:00 100 n. Chr. <https://heizung.de/heizung/wissen/luftwechselrate-bedeutung-und-berechnung/>.

„Preisfrage: Was kosten Sonnenschutzfolien? – zuheiss.de“. Zugegriffen 27. Januar 2022. <https://zuheiss.de/kosten-von-sonnenschutzfolien/>.

Glaserei.org | Hier auf Glaserei.org finden Sie wichtige Informationen zur Glaserei- und Glasbau-Branche für Endverbraucher und Bauherren! „Sonnenschutzverglasung – ein guter Schutz vor Wärme?“, 8. August 2014. <https://www.glaserei.org/magazin/sonnenschutzverglasung-20143031>.

„Städte unter Stress – BuVEG“. Zugegriffen 28. Januar 2022. <https://studie.buveg.de/>.

„ZUB Helena Sommer | Software | ZUB-Systems“. Zugegriffen 22. Januar 2022. <https://www.zub-systems.de/de/produkte/helena/sommer>.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Temperaturanomalien in Deutschland von Jahr 1881 -2021.....	1
Abbildung 2-1: Klimaregionen in Deutschland	5
Abbildung 2-2: Darstellung des Gesamtenergiedurchlassgrades	6
Abbildung 2-3: Zeitliche Verläufe der Strahlungsintensität auf vertikale Flächen verschiedener Orientierung zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende und Tag- Nachtgleiche; gemessen in Holzkirchen (SA: Sonnenaufgang, SU: Sonnenuntergang)	7
Abbildung 2-4: Grundriss des Lesesaals	13
Abbildung 2-5: Oberlicht; Sicht von unten	14
Abbildung 2-6: Oberlicht; Sicht vom Dach.....	14
Abbildung 2-7: Lesesaal Innenansicht.....	15
Abbildung 2-8: Regelung für die Lüftungsanlage	16
Abbildung 2-9: Zuluftkanal (Wickelblechrohr) und Überströmöffnung (verzinktes Lüftungsgitter) für Umluftkälteaggregat.....	16
Abbildung 2-10: Lüftungsanlage für Außenluftwechsel im benachbarten Kaltdachbereich..	16
Abbildung 2-11: Diagramm Temperaturmessprotokoll	17
Abbildung 2-12: Anbringungsorte der Sensoren.....	18
Abbildung 2-13: gemessene Raumlufttemperaturen	19
Abbildung 2-14: gemessene Raumluftfeuchtigkeiten	20
Abbildung 3-1: Einfallswinkeleinstellung in Therakles.....	25
Abbildung 4-1: Vergleich der Übertemperaturgradstunden unter den Simulationsprogrammen.....	33
Abbildung 4-2: Vergleich der unterschiedlichen Einstellungen der Grundflächen des Lesesaals in ZUB Helena Sommer	35
Abbildung 4-3: Vergleich Temperaturverlauf der Simulation mit Sensorenmessungen.....	36
Abbildung 4-4: Kostenschätzung der einzelnen Varianten.....	38

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Randbedingungen der Simulationsrechnung abhängig von der Nutzung	12
Tabelle 2-2: Eigenschaften der Verglasung des Oberlichts	14
Tabelle 3-1: Randbedingungen für die Nachweisführung des Lesesaals nach DIN 4108- 2:2013-02 Abschnitt 8.4.2	26
Tabelle 3-2: Modellierungsmöglichkeiten der Ausgangssituation des Lesesaals	27
Tabelle 3-3: Variantenbeschreibungen	28
Tabelle 3-4: Berechnung der internen Wärmequellen in Form der Ausstattung	31
Tabelle 4-1: Ergebnisse des Sonneneintragskennwerteverfahren	32
Tabelle 4-2: Ergebnisse der Variantenstudie	33
Tabelle 4-3: Ergebnisse der Variantenstudie mit erhöhter Raumfläche	34
Tabelle 4-4: Kostenschätzung der einzelnen Varianten	38

ANHANG

Anhang 1	Grundriss
Anhang 2	Standorte der Sensoren
Anhang 3	Wärmespeicherfähigkeit
Anhang 4	Diagramm zum Temperaturmessprotokoll
Anhang 5	gemessene Lufttemperaturen
Anhang 6	gemessene Raumluftfeuchtigkeit
Anhang 7	Sonneneintragskennwerteverfahren V0
Anhang 8	Sonneneintragskennwerteverfahren V1
Anhang 9	Sonneneintragskennwerteverfahren V2
Anhang 10	Sonneneintragskennwerteverfahren V3
Anhang 11	Sonneneintragskennwerteverfahren V4
Anhang 12	Sonneneintragskennwerteverfahren V5
Anhang 13	Temperaturvergleich der benutzerdefinierten Variante

Aufgrund des großen Umfangs der Simulationsberechnungen erfolgt die Abgabe dieser als extra Datenpaket.

Erklärung zur selbständigen Anfertigung der Wissenschaftlichen Arbeit

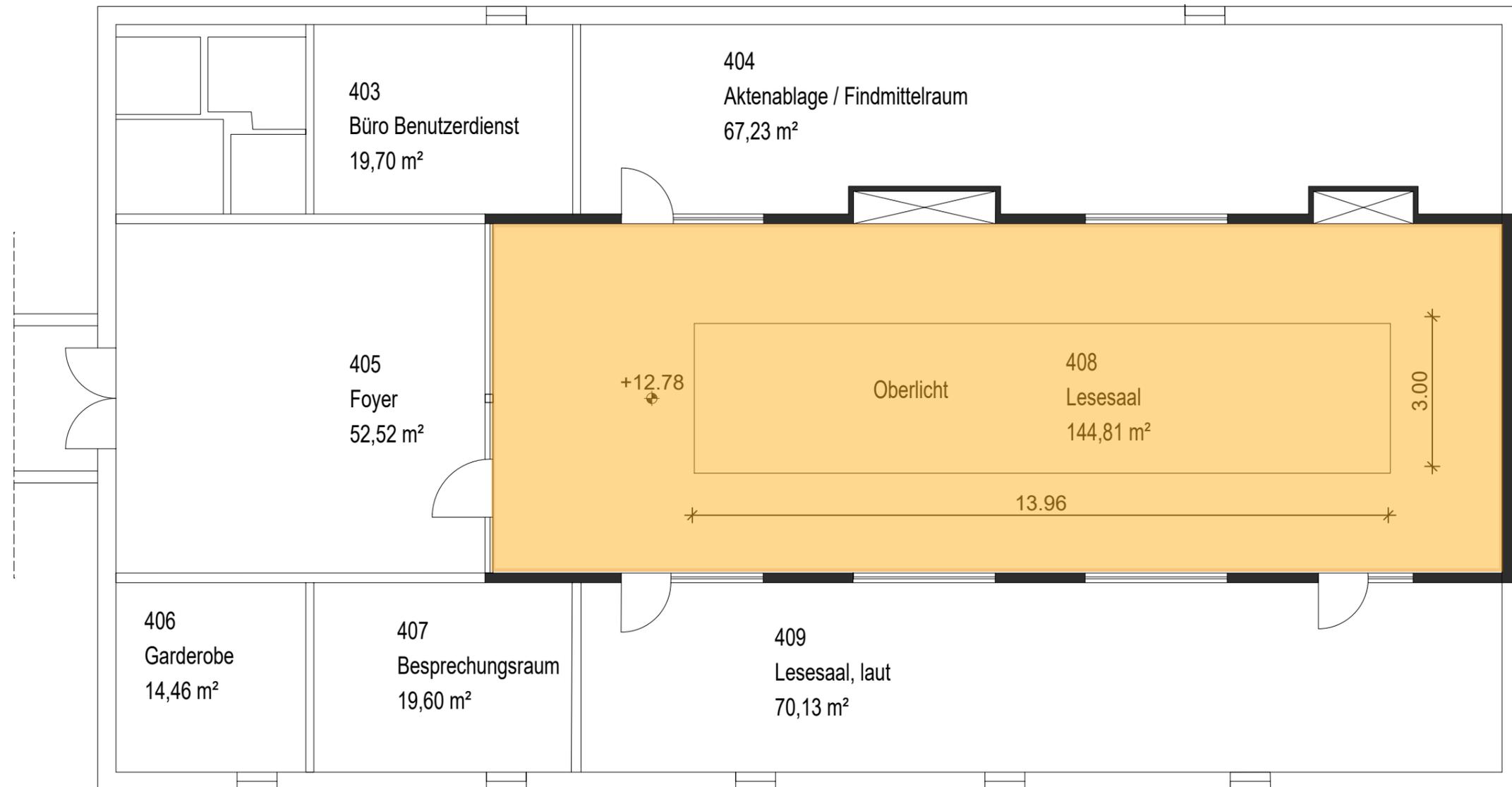
Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Dresden, den 01. Februar 2022



Unterschrift

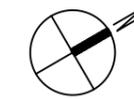
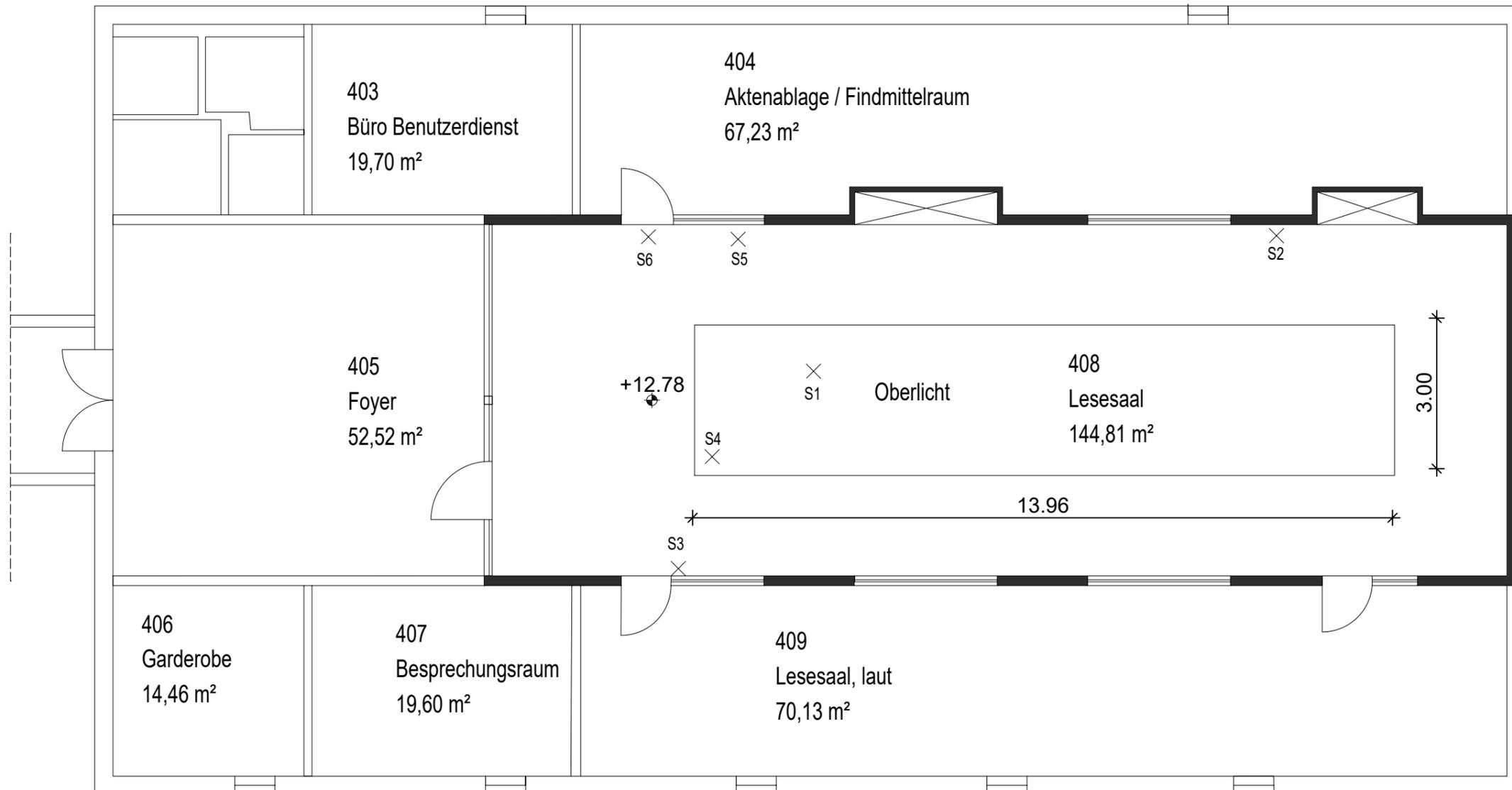


Planinhalt: Lesesaal des Stadtarchivs Dresden			Maßstab: 1:100	gezeichnet Datum
Planungsstand: -	Index:	Projektnummer:	Plannummer:	Plandatum:
Darstellungsart: Grundriss		1	1	28.12.2021

 Bauherr

 Verfasser

Luisa Kotte



Anbringung der Sensoren:

- S1 = Sensor Raummitte
- S2 = Sensor Heizkörper
- S3 = Sensor Abluft
- S4 = Sensor Oberlicht
- S5 = Sensor Kühlung
- S6 = Sensor Zuluft

Planinhalt: Lesesaal des Stadtarchivs Dresden - Sensoren			Maßstab: 1:100	gezeichnet Datum
Planungsstand: -	Index:	Projektnummer:	Plannummer: 1	Plandatum: 28.12.2021
Darstellungsart: Grundriss		1		
Bauherr		Verfasser: Luisa Kotte		
H/B = 297 / 420 (0.12m²)				

Objekt	BV, Bauherr:	0,00
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden

Bauteil 1:

Bauteiltyp: Außenbauteil Innenbauteil

Bezeichnung: massive Trennwand

Fläche A: 19,53 [m²]

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0,13$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	$C_{w,10cm}$ [Wh/m ² K]	$d_{w,eff}$ [m]
Schicht 1	Kalkputz	0,015	0,710	1600	900	6,00	0,015
Schicht 2	Hochlochziegel	0,360	0,995	1980	900	42,08	0,085
Schicht 3	Zementputz	0,020	0,930	1800	850	0,00	0,000
Schicht 4						0,00	0,000
Schicht 5						0,00	0,000
Schicht 6						0,00	0,000

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0,13$ [m²K / W]

Wärmedurchgangskoeffizient: $U = 1,505$ [W / m²K]

$C_{w,10cm}$ gesamt: 48,08 [Wh/m²K]

$C_{w,eff}$: 938,9 [Wh/K]

Bauteil 2:

Bauteiltyp: Außenbauteil Innenbauteil

Bezeichnung: Innenwand Trockenbau

Fläche A: 100,00 [m²]

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0,130$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	$C_{w,10cm}$ [Wh/m ² K]	$d_{w,eff}$ [m]
Schicht 1	Kalk-Gipsputz	0,075	1,000	1800	1000	37,50	0,075
Schicht 2	Dämmung	0,075	0,035	40	1500	0,00	0,000
Schicht 3	Kalk-Gipsputz	0,075	1,000	1800	1000	0,00	0,000
Schicht 4						0,00	0,000
Schicht 5						0,00	0,000
Schicht 6						0,00	0,000

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0,130$ [m²K / W]

Wärmedurchgangskoeffizient: $U = 0,392$ [W / m²K]

$C_{w,10cm}$ gesamt: 37,50 [Wh/m²K]

$C_{w,eff}$: 3750,0 [Wh/K]

Bauteil 3:

Bauteiltyp: Außenbauteil Innenbauteil

Bezeichnung: Fußbodenkonstruktion

Fläche A: 144,81 [m²]

Wärmeübergangswiderstand innen: $R_{si} = 0,170$ [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	$C_{w,10cm}$ [Wh/m ² K]	$d_{w,eff}$ [m]
Schicht 1	Parkett	0,020	0,180	700	1600	6,22	0,020
Schicht 2	Trockenstrich	0,025	0,173	1000	1000	6,94	0,025
Schicht 3	Trittschalldämmung	0,040	0,040	67	840	0,00	0,000
Schicht 4	Betonbauplatte	0,060	2,100	2300	1000	0,00	0,000
Schicht 5	Holzbalckendecke	0,240	0,180	700	1600	0,00	0,000
Schicht 6	Gipskartonplatte	0,013	0,210	730	900	0,00	0,000

Wärmeübergangswiderstand außen: $R_{se} = 0,170$ [m²K / W]

Wärmedurchgangskoeffizient: $U = 0,331$ [W / m²K]

$C_{w,10cm}$ gesamt: 13,17 [Wh/m²K]

$C_{w,eff}$: 1906,7 [Wh/K]

Bauteil 4:

Bauteiltyp: Außenbauteil Innenbauteil **Fläche A:**

Bezeichnung: **Dachkonstruktion** **120,82** [m²]

Wärmeübergangswiderstand innen: **R_{si} = 0,100** [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/KgK]	C _{wirk,10cm} [Wh/m ² K]	d _{wirk} [m]
Schicht 1	Kalk-Gipsputz	0,013	2,200	730	900	2,37	0,013
Schicht 2	Mineralwolle	0,160	0,040	67	840	0,00	0,000
Schicht 3	Nutzholz	0,040	0,180	700	1600	0,00	0,000
Schicht 4	Schiefer					0,00	0,000
Schicht 5						0,00	0,000
Schicht 6						0,00	0,000

außen

Wärmeübergangswiderstand außen: **R_{se} = 0,040** [m²K / W] **gesamt 2,37** [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient **U = 0,229** [W / m²K] **C_{wirk,10cm} 286,6** [Wh/K]

Bauteil 5:

Bauteiltyp: Außenbauteil Innenbauteil **Fläche A:**

Bezeichnung: **Glastüren** **32,47** [m²]

Wärmeübergangswiderstand innen: **R_{si} = 0,130** [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/KgK]	C _{wirk,10cm} [Wh/m ² K]	d _{wirk} [m]
Schicht 1	Glas	0,020	0,800	2400	1000	6,67	0,010
Schicht 2						0,00	0,000
Schicht 3						0,00	0,000
Schicht 4						0,00	0,000
Schicht 5						0,00	0,000
Schicht 6						0,00	0,000

außen

Wärmeübergangswiderstand außen: **R_{se} = 0,130** [m²K / W] **gesamt 6,67** [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient **U = 3,509** [W / m²K] **C_{wirk,10cm} 216,5** [Wh/K]

Bauteil 6:

Bauteiltyp: Außenbauteil Innenbauteil **Fläche A:**

Bezeichnung: [m²]

Wärmeübergangswiderstand innen: **R_{si} =** [m²K / W]

innen	Schichtbezeichnung:	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/KgK]	C _{wirk,10cm} [Wh/m ² K]	d _{wirk} [m]
Schicht 1						0,00	0,000
Schicht 2						0,00	0,000
Schicht 3						0,00	0,000
Schicht 4						0,00	0,000
Schicht 5						0,00	0,000
Schicht 6						0,00	0,000

außen

Wärmeübergangswiderstand außen: **R_{se} =** [m²K / W] **gesamt 0,00** [Wh/m²K]

Wärmedurchgangskoeffizient **U = 0,000** [W / m²K] **C_{wirk,10cm} 0,0** [Wh/K]

Gesamte wirksame Speicherkapazität

Raum: **Lesesaal** **0,00**

wirksame Speicherkapazität: **C_{wirk} = 7099** [Wh/K]

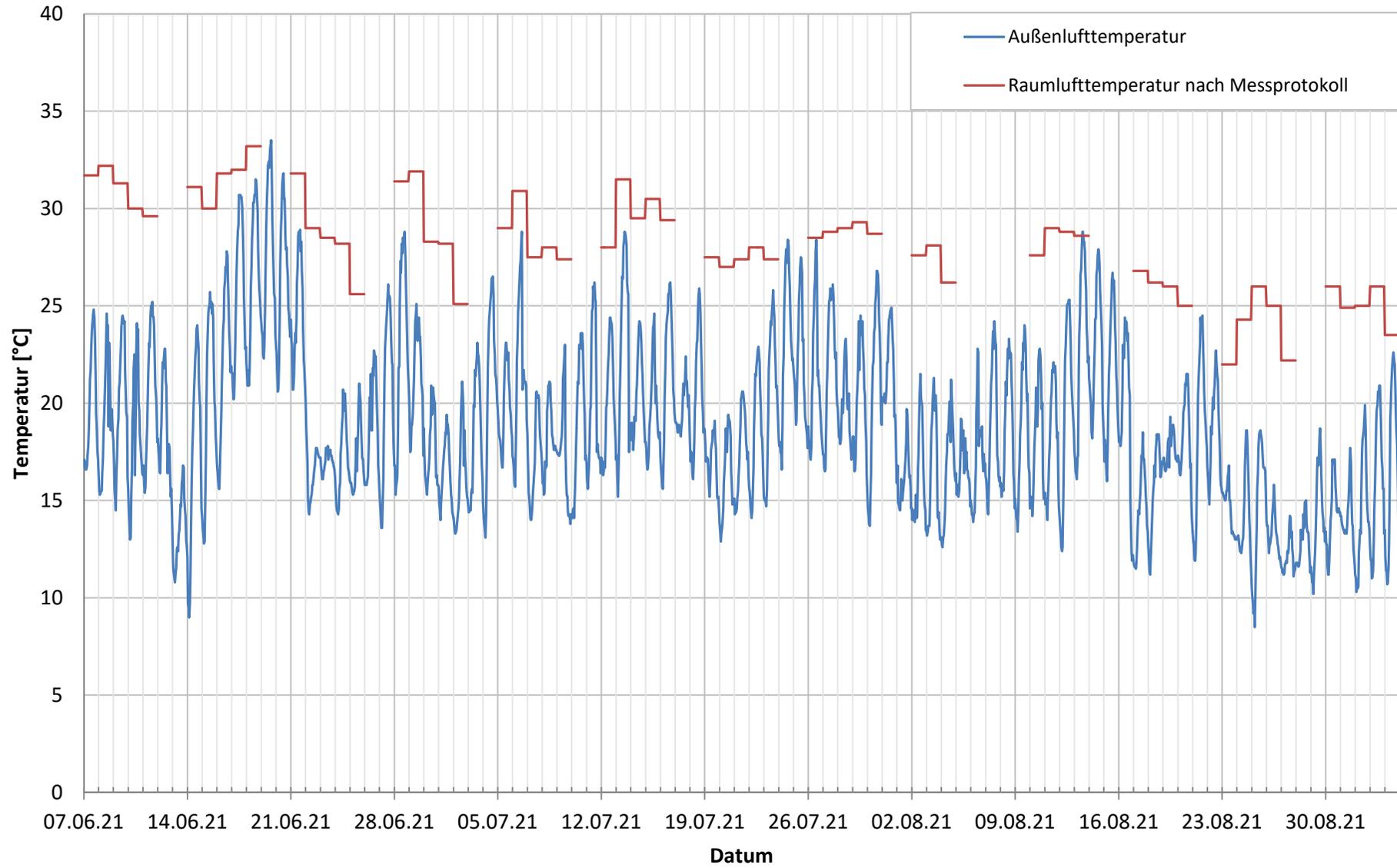
Raum-Grundfläche: **A_G = 144,81** [m²]

Beurteilung Bauart: **C_{wirk} / A_G = 49,0** [Wh/m²K]

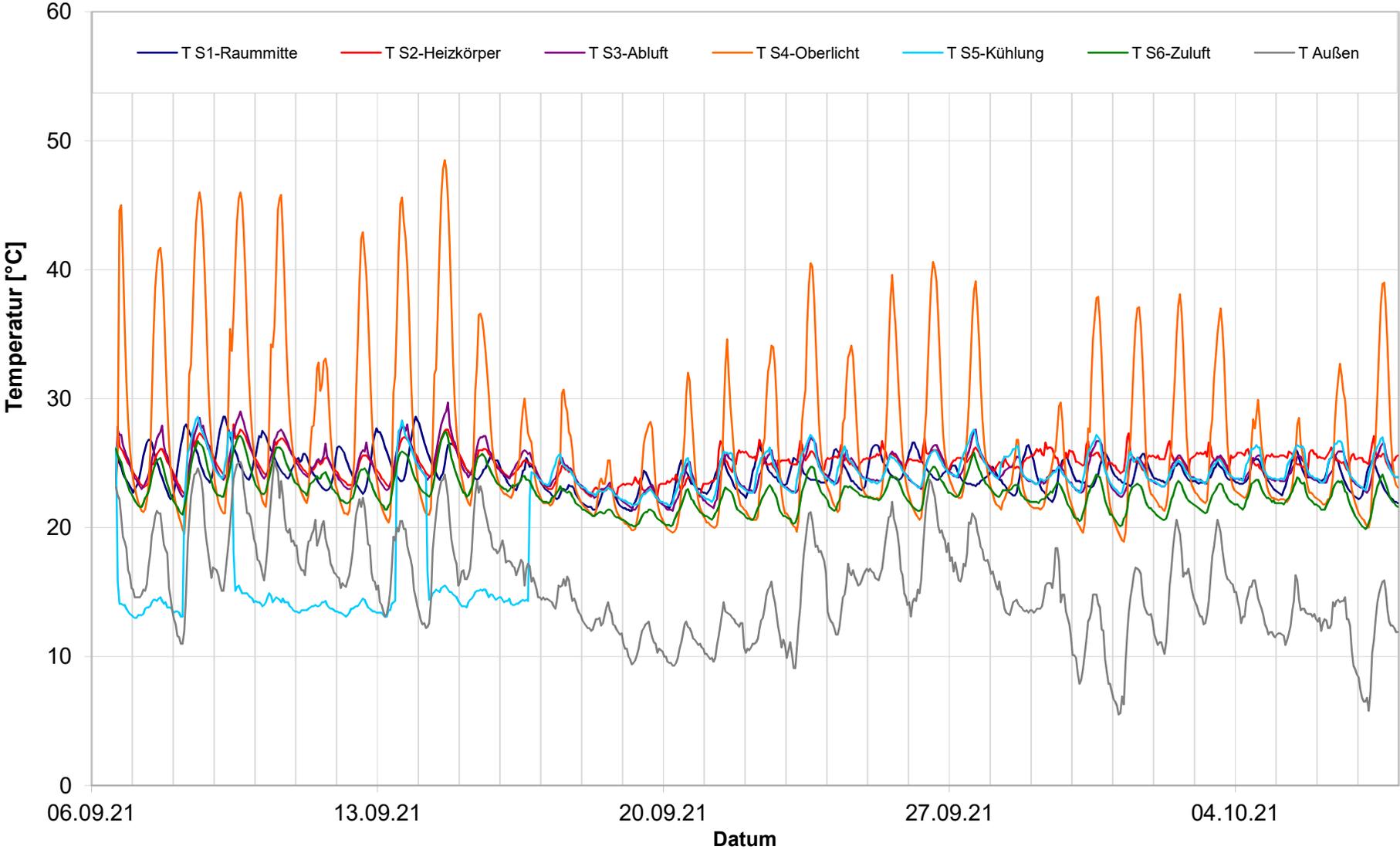
leichte Bauart

Im Arbeitsblatt <sommerlicher Wärmeschutz> wurde keine detaillierte Berechnung der wirksamen Speicherkapazität ausgewählt !!! Diese Berechnung wird daher für den Nachweis nicht wirksam!

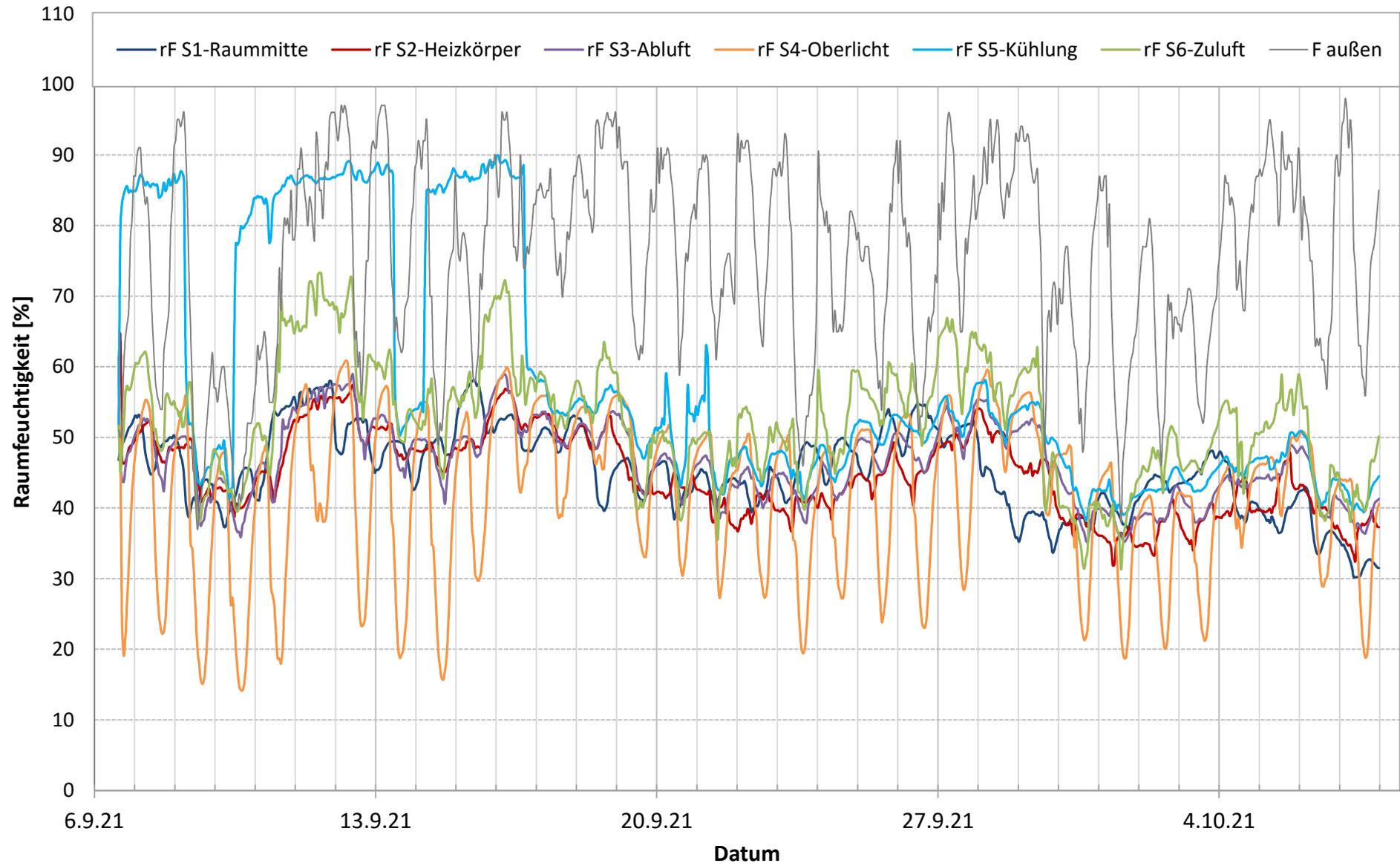
Diagramm zum Temperaturmessprotokoll



gemessene Raumlufthtemperaturen



gemessene Raumluftheuchtigkeit



Objekt	BV, Bauherr:	
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden
	Raum:	Lesesaal
	Nutzung:	Nichtwohngebäude
1	1. Sonneneintragskennwert	
2	1.1 Vorhandener Sonneneintragskennwert S	
3	1.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche	
4	Gesamte Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	A_{W,ges} = 50,26 [m²]
5	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	A_G = 144,81 [m²]
6	1.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte	
7	Fassade 1: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
8	Orientierung:	Ost [-]
9	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
10	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,510 [-]
11	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung F_c =	1,00 [-]
12	Fassade 2: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
13	Orientierung:	West [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,510 [-]
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung F_c =	1,00 [-]
17	Fassade 3: Fensterfläche: ^{a)}	0,00 [m²]
18	nicht aktiviert	
19		
20		
21		
22	1.1.3 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh}	
23	S_{vorh} = ∑ (A_{W,i} · g_{tot,i}) / A_G mit g_{tot,i} = g_i * F_{c,i}	S_{vorh} = 0,177

- a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung.
- b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein.
Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden.
- c) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
- d) für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
- e) hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ≤ 10%, Reflexion ≥ 60%
- f) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering.
- g) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten.
- h) F_c-Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden, da ein geschlossener Sonnenschutz den dahinterliegenden Raum stark verdunkelt und zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen kann.

24	1.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}			
25	1.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x			
26	Gebäuelage, Bauart, Nachtlüftung			S_1
27	Klimaregion: <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion A <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion B <input checked="" type="radio"/> Gebäude in Klimaregion C			
28	Bauart: ^{i,j)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart" <input type="radio"/> Detaillierte Berechnung <input checked="" type="radio"/> Leichte Bauart $C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. ohne Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Schwere Bauart $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ bzw. reine KS-Konstruktion ^{j)}			0,000
29	Nachtlüftung: <input checked="" type="radio"/> Keine Nachtlüftung <input type="radio"/> erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2,0 \text{ [1/h]}$ ^{k)} <input type="radio"/> hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5,0 \text{ [1/h]}$ ^{l)}			
30	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: ^{m)}	$a = 0,03$ $b = 0,115$	$f_{WG} = 0,35$	S_2 -0,010
31	Sonnenschutzverglasung: ⁿ⁾ <input type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$		$A_{W,gtot \leq 04} = 0,00$	S_3 0,000
32	Fensterneigung: ^{o)} $0^\circ \leq \text{Neigung } \alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$		$f_{neig} = 0,00$ - $0,035 f_{neig}$	S_4 0,000
33	Orientierung: ^{p)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.		$f_{nord} = 0,00$ $0,10 f_{nord}$	S_5 0,000
34	Einsatz passiver Kühlung: <input type="checkbox"/> passive Kühlung			S_6 0,000
35	1.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}			
41	$S_{zul} = \sum S_x = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = S_{zul} =$ $0,000 + -0,010 + 0,000 + 0,000 + 0,000 + 0,000$			-0,010
42	2. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes			
43	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt:			
44	$S_{vorh} = 0,177 \leq -0,010 = S_{zul}$		Anforderung:	nicht erfüllt

- i) Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine andere Bauart nachgewiesen ist. Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wirk} nach DIN EN ISO 13786 ermittelt werden.
- j) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.
- k) Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- l) Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- m) $f_{WG} = A_W / A_G$ mit A_W : Fensterfläche und A_G : Nettogrundfläche nach Zeile 5.
- n) Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{tot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
 $S_3 = 0,03 * A_{W,gtot \leq 04} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche und $A_{W,gtot \leq 04}$: Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0,4$.
- o) $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$: geneigte Fensterfläche und $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche.
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist beschränkt auf grundflächenbezogene Fensterflächenanteile $f_{WG} \leq 0,15$.
- p) $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$: die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind und $A_{W,gesamt}$: Gesamtfensterfläche.
Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung F_s Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5=0$ zu setzen.

Objekt	BV, Bauherr:	
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden
	Raum:	Lesesaal Variante 1
	Nutzung:	Nichtwohngebäude
1	1. Sonneneintragskennwert	
2	1.1 Vorhandener Sonneneintragskennwert S	
3	1.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche	
4	Gesamte Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	A_{W,ges} = 50,26 [m²]
5	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	A_G = 144,81 [m²]
6	1.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte	
7	Fassade 1: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
8	Orientierung:	Ost [-]
9	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
10	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,300 [-]
11	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung F_c =	1,00 [-]
12	Fassade 2: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
13	Orientierung:	West [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,300 [-]
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung F_c =	1,00 [-]
17	Fassade 3: Fensterfläche: ^{a)}	0,00 [m²]
18	nicht aktiviert	
19		
20		
21		
22	1.1.3 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh}	
23	S_{vorh} = ∑ (A_{W,i} · g_{tot,i}) / A_G mit g_{tot,i} = g_i * F_{c,i}	S_{vorh} = 0,104

- a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung.
- b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden.
- c) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
- d) für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
- e) hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ≤ 10%, Reflexion ≥ 60%
- f) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering.
- g) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten.
- h) F_c-Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden, da ein geschlossener Sonnenschutz den dahinterliegenden Raum stark verdunkelt und zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen kann.

24	1.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}			
25	1.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x			
26	Gebäuelage, Bauart, Nachtlüftung			S_1
27	Klimaregion: <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion A <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion B <input checked="" type="radio"/> Gebäude in Klimaregion C			0,000
28	Bauart: ^{i,j)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart" <input type="radio"/> Detaillierte Berechnung <input checked="" type="radio"/> Leichte Bauart $C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. ohne Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Schwere Bauart $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ bzw. reine KS-Konstruktion ^{j)}			
29	Nachtlüftung: <input checked="" type="radio"/> Keine Nachtlüftung <input type="radio"/> erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2,0 \text{ [1/h]}$ ^{k)} <input type="radio"/> hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5,0 \text{ [1/h]}$ ^{l)}			
30	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: ^{m)} $a = 0,03$ $b = 0,115$	$f_{WG} = 0,35$	S_2 -0,010	
31	Sonnenschutzverglasung: ⁿ⁾ <input checked="" type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	$A_{W,gtot \leq 0,4} = 50,26$	S_3 0,030	
32	Fensterneigung: ^{o)} $0^\circ \leq \text{Neigung } \alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$	$f_{neig} = 0,00$	$-0,035 f_{neig}$ S_4 0,000	
33	Orientierung: ^{p)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.	$f_{nord} = 0,00$	$0,10 f_{nord}$ S_5 0,000	
34	Einsatz passiver Kühlung: <input type="checkbox"/> passive Kühlung			S_6 0,000
35	1.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}			
41	$S_{zul} = \sum S_x = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = S_{zul} =$ $0,000 + -0,010 + 0,030 + 0,000 + 0,000 + 0,000$			0,020
42	2. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes			
43	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt:			
44	$S_{vorh} = 0,104 \leq 0,020 = S_{zul}$	Anforderung:	nicht erfüllt	

- i) Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine andere Bauart nachgewiesen ist. Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wirk} nach DIN EN ISO 13786 ermittelt werden.
- j) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.
- k) Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- l) Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- m) $f_{WG} = A_W / A_G$ mit A_W : Fensterfläche und A_G : Nettogrundfläche nach Zeile 5.
- n) Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{tot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
 $S_3 = 0,03 * A_{W,gtot \leq 0,4} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche und $A_{W,gtot \leq 0,4}$: Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0,4$.
- o) $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$: geneigte Fensterfläche und $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche.
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist beschränkt auf grundflächenbezogene Fensterflächenanteile $f_{WG} \leq 0,15$.
- p) $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$: die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind und $A_{W,gesamt}$: Gesamtfensterfläche.
Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung F_s Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5=0$ zu setzen.

Objekt	BV, Bauherr:	
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden
	Raum:	Lesesaal Variante 2
	Nutzung:	Nichtwohngebäude
1	1. Sonneneintragskennwert	
2	1.1 Vorhandener Sonneneintragskennwert S	
3	1.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche	
4	Gesamte Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	$A_{W,ges} = 50,26$ [m ²]
5	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	$A_G = 144,81$ [m ²]
6	1.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte	
7	Fassade 1: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m ²]
8	Orientierung:	Ost [-]
9	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
10	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe $g =$	0,300 [-]
11	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung $F_c =$	1,00 [-]
12	Fassade 2: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m ²]
13	Orientierung:	West [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe $g =$	0,300 [-]
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung $F_c =$	1,00 [-]
17	Fassade 3: Fensterfläche: ^{a)}	0,00 [m ²]
18	nicht aktiviert	
19		
20		
21		
22	1.1.3 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh}	
23	$S_{vorh} = \sum (A_{W,i} \cdot g_{tot,i}) / A_G$ mit $g_{tot,i} = g_i \cdot F_{c,i}$	$S_{vorh} =$ 0,104

- a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung.
- b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden.
- c) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
- d) für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
- e) hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz $\leq 10\%$, Reflexion $\geq 60\%$
- f) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering.
- g) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten.
- h) F_c -Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden, da ein geschlossener Sonnenschutz den dahinterliegenden Raum stark verdunkelt und zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen kann.

24	1.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}			
25	1.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x			
26	Gebäuelage, Bauart, Nachtlüftung			S_1
27	Klimaregion: <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion A <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion B <input checked="" type="radio"/> Gebäude in Klimaregion C			0,048
28	Bauart: ^{i,j)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart" <input type="radio"/> Detaillierte Berechnung <input checked="" type="radio"/> Leichte Bauart $C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. ohne Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Schwere Bauart $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ bzw. reine KS-Konstruktion ^{j)}			
29	Nachtlüftung: <input type="radio"/> Keine Nachtlüftung <input checked="" type="radio"/> erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2,0 \text{ [1/h]}$ ^{k)} <input type="radio"/> hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5,0 \text{ [1/h]}$ ^{l)}			
30	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: ^{m)} $a = 0,03$ $b = 0,115$	$f_{WG} = 0,35$	S_2 -0,010	
31	Sonnenschutzverglasung: ⁿ⁾ <input checked="" type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	$A_{W,gtot \leq 0,4} = 50,26$	S_3 0,030	
32	Fensterneigung: ^{o)} $0^\circ \leq \text{Neigung } \alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$	$f_{neig} = 0,00$	$- 0,035 f_{neig}$ S_4 0,000	
33	Orientierung: ^{p)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.	$f_{nord} = 0,00$	$0,10 f_{nord}$ S_5 0,000	
34	Einsatz passiver Kühlung: <input type="checkbox"/> passive Kühlung			S_6 0,000
35	1.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}			
41	$S_{zul} = \sum S_x = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = S_{zul} =$ $0,048 + -0,010 + 0,030 + 0,000 + 0,000 + 0,000$			0,068
42	2. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes			
43	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt:			
44	$S_{vorh} = 0,104 \leq 0,068 = S_{zul}$	Anforderung:	nicht erfüllt	

- i) Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine andere Bauart nachgewiesen ist. Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wirk} nach DIN EN ISO 13786 ermittelt werden.
- j) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.
- k) Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- l) Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- m) $f_{WG} = A_W / A_G$ mit A_W : Fensterfläche und A_G : Nettogrundfläche nach Zeile 5.
- n) Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{tot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
 $S_3 = 0,03 * A_{W,gtot \leq 0,4} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche und $A_{W,gtot \leq 0,4}$: Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0,4$.
- o) $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$: geneigte Fensterfläche und $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche.
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist beschränkt auf grundflächenbezogene Fensterflächenanteile $f_{WG} \leq 0,15$.
- p) $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$: die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind und $A_{W,gesamt}$: Gesamtfensterfläche.
Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung F_s Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5=0$ zu setzen.

Objekt	BV, Bauherr:	
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden
	Raum:	Lesesaal Variante 3
	Nutzung:	Nichtwohngebäude
1	1. Sonneneintragskennwert	
2	1.1 Vorhandener Sonneneintragskennwert S	
3	1.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche	
4	Gesamte Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	A_{W,ges} = 50,26 [m²]
5	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	A_G = 144,81 [m²]
6	1.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte	
7	Fassade 1: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
8	Orientierung:	Ost [-]
9	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
10	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,400 [-]
11	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)} Außenliegend: Markise, parallel zur Verglasung (Sonnenschutzverglasung 2-fach)	F_c = 0,30 [-]
12	Fassade 2: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
13	Orientierung:	West [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,400 [-]
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)} Außenliegend: Markise, parallel zur Verglasung (Sonnenschutzverglasung 2-fach)	F_c = 0,30 [-]
17	Fassade 3: Fensterfläche: ^{a)}	0,00 [m²]
18	nicht aktiviert	
19		
20		
21		
22	1.1.3 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh}	
23	S_{vorh} = ∑ (A_{W,i} · g_{tot,i}) / A_G mit g_{tot,i} = g_i * F_{c,i}	S_{vorh} = 0,042

a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung.

b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein.

Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden.

c) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.

d) für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.

e) hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ≤ 10%, Reflexion ≥ 60%

f) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering.

g) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten.

h) F_c-Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden, da ein geschlossener Sonnenschutz den dahinterliegenden Raum stark verdunkelt und zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen kann.

24	1.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}				
25	1.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x				
26	Gebäuelage, Bauart, Nachtlüftung			S_1	
27	Klimaregion: <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion A <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion B <input checked="" type="radio"/> Gebäude in Klimaregion C				
28	Bauart: ^{i,j)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart" <input type="radio"/> Detaillierte Berechnung <input checked="" type="radio"/> Leichte Bauart $C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. ohne Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Schwere Bauart $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ bzw. reine KS-Konstruktion ^{j)}				0,000
29	Nachtlüftung: <input checked="" type="radio"/> Keine Nachtlüftung <input type="radio"/> erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2,0 \text{ [1/h]}$ ^{k)} <input type="radio"/> hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5,0 \text{ [1/h]}$ ^{l)}				
30	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: ^{m)} $a = 0,03$ $b = 0,115$	$f_{WG} = 0,35$	S_2 -0,010		
31	Sonnenschutzverglasung: ⁿ⁾ <input checked="" type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	$A_{W,gtot \leq 0,4} = 50,26$	S_3 0,030		
32	Fensterneigung: ^{o)} $0^\circ \leq \text{Neigung } \alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$	$f_{neig} = 0,00$	$-0,035 f_{neig}$ S_4 0,000		
33	Orientierung: ^{p)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.	$f_{nord} = 0,00$	$0,10 f_{nord}$ S_5 0,000		
34	Einsatz passiver Kühlung: <input type="checkbox"/> passive Kühlung			S_6 0,000	
35	1.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}				
41	$S_{zul} = \sum S_x = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = S_{zul} =$ $0,000 + -0,010 + 0,030 + 0,000 + 0,000 + 0,000$			0,020	
42	2. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes				
43	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt:				
44	$S_{vorh} = 0,042 \leq 0,020 = S_{zul}$		Anforderung:	nicht erfüllt	

- i) Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine andere Bauart nachgewiesen ist. Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wirk} nach DIN EN ISO 13786 ermittelt werden.
- j) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.
- k) Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- l) Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- m) $f_{WG} = A_W / A_G$ mit A_W : Fensterfläche und A_G : Nettogrundfläche nach Zeile 5.
- n) Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{tot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
 $S_3 = 0,03 * A_{W,gtot \leq 0,4} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche und $A_{W,gtot \leq 0,4}$: Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0,4$.
- o) $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$: geneigte Fensterfläche und $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche.
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist beschränkt auf grundflächenbezogene Fensterflächenanteile $f_{WG} \leq 0,15$.
- p) $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$: die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind und $A_{W,gesamt}$: Gesamtfensterfläche.
Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung F_s Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5=0$ zu setzen.

Objekt	BV, Bauherr:	
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden
	Raum:	Lesesaal Variante 4
	Nutzung:	Nichtwohngebäude
1	1. Sonneneintragskennwert	
2	1.1 Vorhandener Sonneneintragskennwert S	
3	1.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche	
4	Gesamte Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	$A_{W,ges} = 50,26$ [m ²]
5	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	$A_G = 144,81$ [m ²]
6	1.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte	
7	Fassade 1: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m ²]
8	Orientierung:	Ost [-]
9	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
10	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe $g =$	0,150 [-]
11	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung $F_c =$	1,00 [-]
12	Fassade 2: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m ²]
13	Orientierung:	West [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe $g =$	0,150
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung $F_c =$	1,00 [-]
17	Fassade 3: Fensterfläche: ^{a)}	0,00 [m ²]
18	nicht aktiviert	
19		
20		
21		
22	1.1.3 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh}	
23	$S_{vorh} = \sum (A_{W,i} \cdot g_{tot,i}) / A_G$ mit $g_{tot,i} = g_i \cdot F_{c,i}$	$S_{vorh} =$ 0,052

- a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung.
- b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden.
- c) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
- d) für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
- e) hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz $\leq 10\%$, Reflexion $\geq 60\%$
- f) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering.
- g) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten.
- h) F_c -Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden, da ein geschlossener Sonnenschutz den dahinterliegenden Raum stark verdunkelt und zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen kann.

24	1.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}			
25	1.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x			
26	Gebäuelage, Bauart, Nachtlüftung			S_1
27	Klimaregion: <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion A <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion B <input checked="" type="radio"/> Gebäude in Klimaregion C			0,000
28	Bauart: ^{i,j)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart" <input type="radio"/> Detaillierte Berechnung <input checked="" type="radio"/> Leichte Bauart $C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. ohne Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Schwere Bauart $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ bzw. reine KS-Konstruktion ^{j)}			
29	Nachtlüftung: <input checked="" type="radio"/> Keine Nachtlüftung <input type="radio"/> erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2,0 \text{ [1/h]}$ ^{k)} <input type="radio"/> hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5,0 \text{ [1/h]}$ ^{l)}			
30	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: ^{m)} $a = 0,03$ $b = 0,115$	$f_{WG} = 0,35$	S_2 -0,010	
31	Sonnenschutzverglasung: ⁿ⁾ <input checked="" type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	$A_{W,gtot \leq 0,4} = 50,26$	S_3 0,030	
32	Fensterneigung: ^{o)} $0^\circ \leq \text{Neigung } \alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$	$f_{neig} = 0,00$	$-0,035 f_{neig}$ S_4 0,000	
33	Orientierung: ^{p)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.	$f_{nord} = 0,00$	$0,10 f_{nord}$ S_5 0,000	
34	Einsatz passiver Kühlung: <input type="checkbox"/> passive Kühlung			S_6 0,000
35	1.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}			
41	$S_{zul} = \sum S_x = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = S_{zul} =$ $0,000 + -0,010 + 0,030 + 0,000 + 0,000 + 0,000$			0,020
42	2. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes			
43	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt:			
44	$S_{vorh} = 0,052 \leq 0,020 = S_{zul}$		Anforderung:	nicht erfüllt

- i) Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine andere Bauart nachgewiesen ist. Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wirk} nach DIN EN ISO 13786 ermittelt werden.
- j) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.
- k) Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- l) Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- m) $f_{WG} = A_W / A_G$ mit A_W : Fensterfläche und A_G : Nettogrundfläche nach Zeile 5.
- n) Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{tot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
 $S_3 = 0,03 * A_{W,gtot \leq 0,4} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche und $A_{W,gtot \leq 0,4}$: Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0,4$.
- o) $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$: geneigte Fensterfläche und $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche.
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist beschränkt auf grundflächenbezogene Fensterflächenanteile $f_{WG} \leq 0,15$.
- p) $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$: die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind und $A_{W,gesamt}$: Gesamtfensterfläche.
Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung F_s Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5=0$ zu setzen.

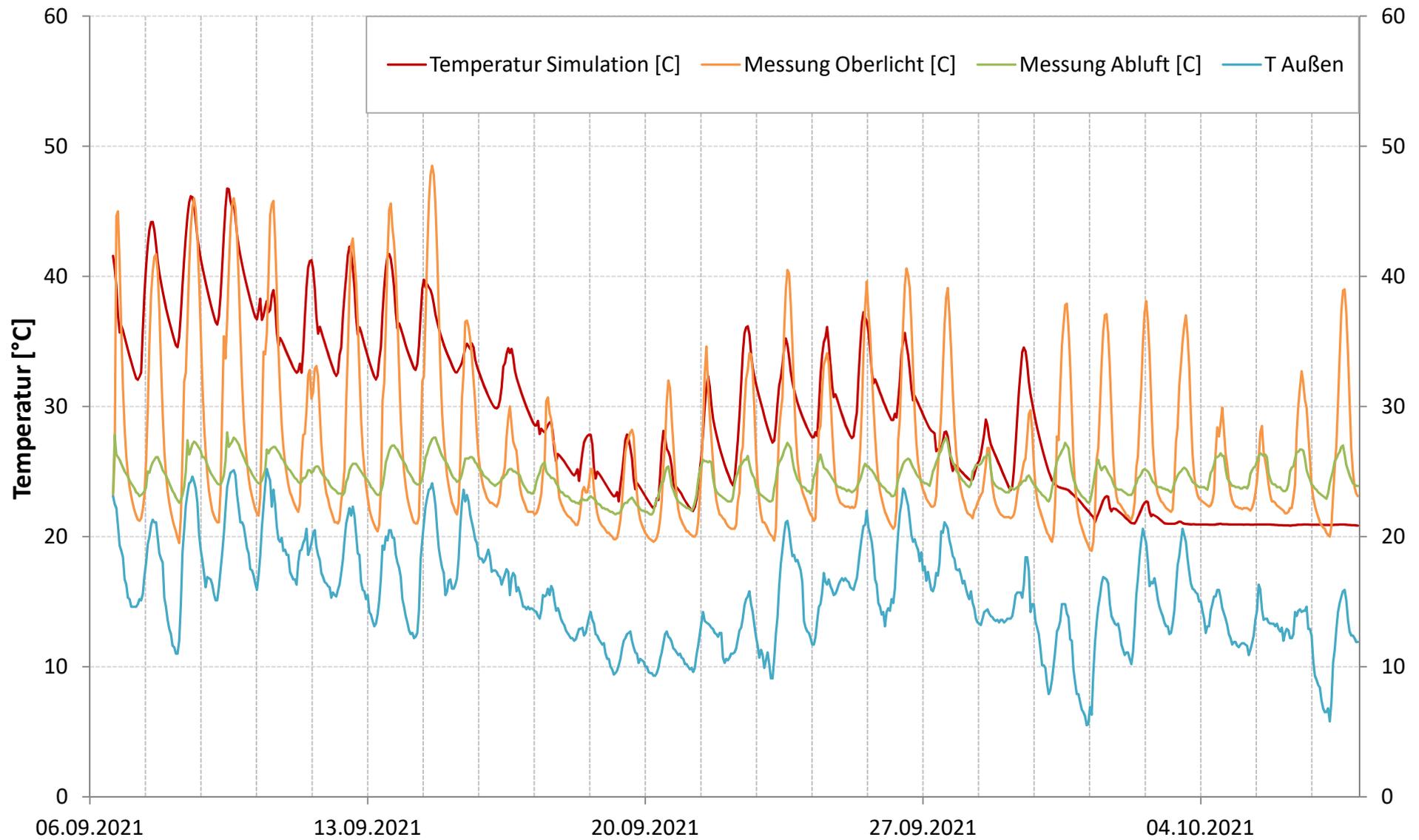
Objekt	BV, Bauherr:	
	Straße, PLZ, Ort:	Elisabeth-Boer-Str. 1 · 01099 Dresden
	Raum:	Lesesaal Variante 5
	Nutzung:	Nichtwohngebäude
1	1. Sonneneintragskennwert	
2	1.1 Vorhandener Sonneneintragskennwert S	
3	1.1.1 Gesamte Fenster- und Netto-Grundfläche	
4	Gesamte Fensterflächen des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{a)}	A_{W,ges} = 50,26 [m²]
5	Netto-Grundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs ^{b)}	A_G = 144,81 [m²]
6	1.1.2 Fassaden- und Verglasungswerte	
7	Fassade 1: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
8	Orientierung:	Ost [-]
9	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
10	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,150 [-]
11	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung F_c =	1,00 [-]
12	Fassade 2: Fensterfläche: ^{a)}	25,13 [m²]
13	Orientierung:	West [-]
14	Fensterneigung: (0° horizontal / 90° vertikal)	30° [-]
15	Gesamtenergiedurchlassgrad nach DIN 410 oder Herstellerangabe g =	0,150 [-]
16	Abminderungsfaktoren fest installierter Sonnenschutzvorrichtungen ^{c,d,e,f,g,h)}	
	Ohne Sonnenschutzvorrichtung F_c =	1,00 [-]
17	Fassade 3: Fensterfläche: ^{a)}	0,00 [m²]
18	nicht aktiviert	
19		
20		
21		
22	1.1.3 Berechnung des vorhandenen Sonneneintragskennwertes S_{vorh}	
23	S_{vorh} = ∑ (A_{W,i} · g_{tot,i}) / A_G mit g_{tot,i} = g_i * F_{c,i}	S_{vorh} = 0,052

- a) Es gelten die Maße der lichten Rohbauöffnung.
- b) Die Netto-Grundfläche A_G wird aus den lichten Innenraumabmessungen berechnet. Bei großen Räumen ist die anzusetzende Raumtiefe zu begrenzen. Die größtmögliche Raumtiefe muss kleiner als die dreifache lichte Raumhöhe sein. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden mit Fenstern ergibt sich keine Begrenzung der anzusetzenden Raumtiefe, wenn deren lichter Abstand kleiner oder gleich der sechsfachen lichten Raumhöhe ist. Bei Räumen mit gegenüberliegenden Fassaden, bei denen die lichten Abstände der Außenwände mehr als das Sechsfache der lichten Höhe betragen, muss der Nachweis für die beiden Fassaden unter Berücksichtigung der zugehörigen Netto-Grundflächen A_G getrennt geführt werden.
- c) Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
- d) für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
- e) hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ≤ 10%, Reflexion ≥ 60%
- f) Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtung unter 15% gilt als gering.
- g) Für Vordächer, Loggien und Markisen, sowie freistehende Lamellen muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Es sind die Anforderungen an den Abdeckwinkel einzuhalten.
- h) F_c-Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden, da ein geschlossener Sonnenschutz den dahinterliegenden Raum stark verdunkelt und zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen kann.

24	1.2 Zulässiger Sonneneintragskennwert S_{zul}			
25	1.2.1 Anteilige Sonneneintragskennwerte S_x			
26	Gebäuelage, Bauart, Nachtlüftung			S_1
27	Klimaregion: <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion A <input type="radio"/> Gebäude in Klimaregion B <input checked="" type="radio"/> Gebäude in Klimaregion C			0,048
28	Bauart: ^{i,j)} detaillierter Nachweis (Berechnung liegt bei), oder Einstufung pauschal "Leichte Bauart" <input type="radio"/> Detaillierte Berechnung <input checked="" type="radio"/> Leichte Bauart $C_{wirk} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. ohne Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Mittlere Bauart $50 \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ <input type="radio"/> Schwere Bauart $C_{wirk} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ mit Nachweis ⁱ⁾ bzw. reine KS-Konstruktion ^{j)}			
29	Nachtlüftung: <input type="radio"/> Keine Nachtlüftung <input checked="" type="radio"/> erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2,0 \text{ [1/h]}$ ^{k)} <input type="radio"/> hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5,0 \text{ [1/h]}$ ^{l)}			
30	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: ^{m)} $a = 0,03$ $b = 0,115$	$f_{WG} = 0,35$	S_2 -0,010	
31	Sonnenschutzverglasung: ⁿ⁾ <input checked="" type="checkbox"/> Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	$A_{W,gtot \leq 0,4} = 50,26$	S_3 0,030	
32	Fensterneigung: ^{o)} $0^\circ \leq \text{Neigung } \alpha \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen) bei $f_{WG} \leq 0,15$	$f_{neig} = 0,00$	$-0,035 f_{neig}$ S_4 0,000	
33	Orientierung: ^{p)} Nordwest- über Nord- bis Nordost-orientierte Fenster mit einer Neigung gegenüber der Horizontalen von $\alpha > 60^\circ$ und Fenster die dauernd durch das Gebäude selbst verschattet werden.	$f_{nord} = 0,00$	$0,10 f_{nord}$ S_5 0,000	
34	Einsatz passiver Kühlung: <input type="checkbox"/> passive Kühlung			S_6 0,000
35	1.2.2 Berechnung des zulässigen Höchstwertes S_{zul}			
41	$S_{zul} = \sum S_x = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = S_{zul} =$ $0,048 + -0,010 + 0,030 + 0,000 + 0,000 + 0,000$			0,068
42	2. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes			
43	Der Nachweis an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht wenn gilt:			
44	$S_{vorh} = 0,052 \leq 0,068 = S_{zul}$	Anforderung:	erfüllt	

- i) Ohne Nachweis der wirksamen Wärmekapazität ist von leichter Bauart auszugehen, wenn keine andere Bauart nachgewiesen ist. Für den genauen Nachweis kann die wirksame Speicherfähigkeit C_{wirk} nach DIN EN ISO 13786 ermittelt werden.
- j) Für Wohngebäude kann bei Ausführung der Außen- und Innenwände mit KS-Mauerwerk der Rohdichteklasse $\geq 1,8$, sowie Stahlbetondecken (ohne innenseitige wärmetechnische Bekleidung) immer pauschal schwere Bauart angesetzt werden.
- k) Bei der Wohnnutzung kann in der Regel von der Möglichkeit zu erhöhter Nachtlüftung ausgegangen werden. Der Ansatz der erhöhten Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- l) Von hoher Nachtlüftung kann ausgegangen werden, wenn für den zu bewertenden Raum oder Raumbereich die Möglichkeit besteht, geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen. Der Ansatz der hohen Nachtlüftung darf auch erfolgen, wenn eine Lüftungsanlage so ausgelegt wird, dass durch die Lüftungsanlage ein nächtlicher Luftwechsel von mindestens $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt wird.
- m) $f_{WG} = A_W / A_G$ mit A_W : Fensterfläche und A_G : Nettogrundfläche nach Zeile 5.
- n) Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, welche die diffuse Strahlung nutzerunabhängig permanent reduziert und hierdurch ein $g_{tot} \leq 0,4$ erreicht wird. Bei Fensterflächen mit unterschiedlichem g_{tot} wird S_3 flächenanteilig gemittelt:
 $S_3 = 0,03 \cdot A_{W,gtot \leq 0,4} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche und $A_{W,gtot \leq 0,4}$: Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0,4$.
- o) $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$: geneigte Fensterfläche und $A_{W,gesamt}$: gesamte Fensterfläche.
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist beschränkt auf grundflächenbezogene Fensterflächenanteile $f_{WG} \leq 0,15$.
- p) $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$: die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind und $A_{W,gesamt}$: Gesamtfläche.
Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet werden: werden für die Verschattung F_s Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 verwendet, so ist für jene Fenster $S_5=0$ zu setzen.

Anhang 13 - Temperaturverteilung der benutzerdefinierten Variante



Kostenschätzung für Baumaßnahmen der einzelnen Varianten

Variante	Beschreibung	Kostenart	Menge	Einheit	EP [€/Einheit]	GP [€]
V1	Folierung*	Material	64	m ²	15	960,00
	Einbau	Lohnanteil	64	m ²	160	10240,00
Summe						11200,00
V2	Folierung*	Material	64	m ²	15	960,00
	Ausbau, Einbau	Lohnanteil	64	m ²	160	10240,00
	Lüftungsanlagen**	Nutzung	20	Jahr	150	3000,00
Summe						14200,00
V3	Sonnenschutzverglasung	Material	64	m ²	210	13440,00
	Ausbau, Einbau	Lohnanteil	64	m ²	361	23104,00
	Sonnenschutz	Material + Lohnanteil	64	m ²	259	16590,53
Summe						53134,53
V4	Okalux	Material	64	m ²	600	38400,00
	Ausbau, Einbau	Lohn	64	m ²	361	23104,00
Summe						61504,00
V5	Okalux	Material	64	m ²	600	38400
	Ausbau, Einbau	Lohn	64	m ²	361	23104
	Lüftungsanlagen	Nutzung	20	Jahr	150	3000
Summe						64504,00

Indizes für Berechnung Austausch der Verglasung***

Index neu:	133,4	2021 4. Quartal
index alt:	91,6	2011 1. Quartal

* <https://zuheiss.de/kosten-von-sonnenschutzfolien/>

<https://www.energieheld.de/klima->

** [lueftung/kosten#:~:text=F%C3%BCr%20den%20Betrieb%20einer%20zentralen%20L%C3%BCftungsanlage%20k%C3%B6nnen%20j%C3%A4hr](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/Publicationen/Downloads-Bau-und-Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-)

[https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/Publicationen/Downloads-Bau-und-](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/Publicationen/Downloads-Bau-und-Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-)

[Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-)

*** [2170400213244.pdf;jsessionid=70204649A6C1B6279A46FAC8A7EAF692.live732?__blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/Publicationen/Downloads-Bau-und-Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-2170400213244.pdf;jsessionid=70204649A6C1B6279A46FAC8A7EAF692.live732?__blob=publicationFile)