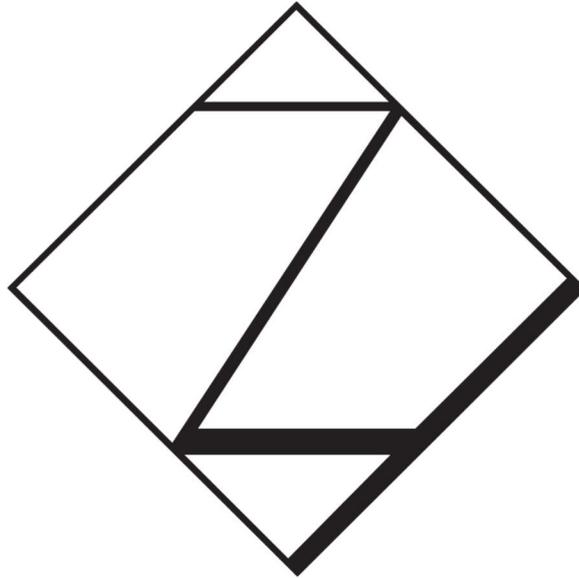


Westfälische Hochschule Zwickau
Fakultät: Kraftfahrzeugtechnik
Gebäude-, Energie- und Klimatechnik



Diplomarbeit zum Thema:

**Konzeption, Auslegung und Bewertung von
technischen Lösungen zur Kühlung der
Gemeinschaftsbereiche in einer
Pflegeeinrichtung in Jöbnitz**

Vorgelegt von:

Lukas Kussmann
Eisenbahnstraße 11
04575 Neukieritzsch
E-Mail: lukas.kussmann197@gmail.com

Matrikelnummer: 36963
Studiengang: 162456 GEK

Abgabe: 16.08.2021
Erstkorrektor: Professor Mario Reichel
Zweitkorrektor: Professor Clemens Ruy

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle sinngemäß und wörtlich übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden kenntlich gemacht.

Lobstädt, den 14.08.2021

Lukas Kussmann

Handwritten signature of L. Kussmann in black ink, consisting of the letters 'L. Kussmann' followed by a long horizontal stroke.

Inhalt

Eigenständigkeitserklärung	1
Formelzeichenverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	4
Indizes	5
Einleitung	6
Aufgabenstellung	7
Vorstellung SBW Jöbnitz Gebäude.....	8
Überarbeitung Simulation	11
Simulation mit neuen Maßnahmen	17
Variante 1 – Außenverschattung + Kühldecken	17
Variante 2 – Verglasung + Kühldecken	25
Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	32
Auswertung	37
Zusammenfassung.....	38
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	39
Formelverzeichnis	41
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	42

Formelzeichenverzeichnis

Luftwechselrate [n] in 1/h

Abminderungsfaktor [F_c]

Gesamtenergiedurchlass [g]

Lichttransmission [T_v]

Gesamtannuität [A_N]

Summe der Barwerte * a [A_{NK}]

Annuität der Instandhaltungskosten [A_{IN}]

Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten [A_{NV}]

Barwert [R]

Ersatzhäufigkeit [n]

Betrachtungszeitraum [T_N]

Annuitätsfaktor [a]

Kälteleistung [Q]

Zinsfaktor [q]

Kostenentwicklung [r]

Barwertfaktor [b]

Abkürzungsverzeichnis

SBW	Sozial betreutes Wohnen
CDP	Cooling Design Period
CDD	Cooling Design Day

Indizes

- 1) „Die Software umfasst die Bereiche Energie, Bauphysik, Heizung, Sanitär, Klima, Lüftung, Gebäude- und Anlagensimulation, Wirtschaftlichkeitsberechnung und Datenorm.“
(siehe Quelle 1, www.solar-computer.de)
- 2) VDI 2078 „Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)
- 3) „Die Querlüftung (Durchzugslüftung) ist die wirkungsvollste Lüftungsart. Hierbei werden die Fenster an den entgegengesetzten Gebäudeseiten und die Raumtüren der entsprechenden Räume vollständig geöffnet. Je nach Windanfall und der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft ist schon in kürzester Zeit die Raumluft vollständig ausgetauscht.“
(siehe Quelle 2, www.bosy-online.de)
- 4) DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- 5) VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

Einleitung

Die Sommer werden immer wärmer. Auch in Deutschland. Sechs der zehn heißesten Sommer hier waren in den 2000ern. Dies ist ein erschreckender Wert, wenn man bedenkt, dass die Aufzeichnungen dazu bereits seit 1881 durchgeführt werden. (Quelle 7: www.wetter.de)

Was früher alle 10 Jahre ein Rekordsommer war, ist heutzutage der Normalfall, doch ältere Gebäude sind nicht für diese regelmäßigen Hitzewellen ausgelegt. So kommt es schnell zu enorm hohen Innentemperaturen. Ein Arbeiten unter diesen Bedingungen kann schnell zu Belastung für Körper und Geist werden.

So auch in der Pflegeeinrichtung in Jöbnitz. Hier werden im Sommer regelmäßig über 30°C erreicht. In der vorangehenden Studienarbeit wurde bereits eine Kühllast- und Temperaturberechnung zu dem Gebäude durchgeführt.

Unter diesen Bedingungen ist es nicht möglich, dem ohnehin schon stark beanspruchendem Pflegepersonal, die Arbeit zuzumuten.

Um ein angenehmes Arbeitsklima zu schaffen, müssen Maßnahmen in Form von Verschattungen, neuen Fenstern oder Klimatisierungen getroffen werden. Dabei sollte auch auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes geachtet werden.

Um dies sicherzustellen, wird zunächst die Thematik der Verschattungen und Fenster bearbeitet, um möglichst wenig der Sonnenenergie in die Räume zu lassen. Wenn dies nicht zu den gewünschten Ergebnissen führt, sollte zusätzlich mit Kühlungsmaßnahmen gearbeitet werden.

Aufgabenstellung

In einer Pflegeeinrichtung in Jöbnitz herrschen vor allem in den Gemeinschaftsbereichen sehr oft erhöhte bis extreme Raumtemperaturen.

Dieser Umstand ist für die Nutzer nicht zumutbar. Zu den Ursachen und möglichen Lösungsansätzen sind bereits Voruntersuchungen angestellt worden und liegen z.B. in Form einer vollständigen Kühllast-/Raumtemperaturberechnung vor. Auf Grundlage der Vorbetrachtungen sind bauliche und technische Maßnahmen zur Begrenzung der maximalen Raumtemperatur zu untersuchen.

Dabei sollen sowohl bauliche Maßnahmen, als auch technische Vorkehrungen konzipiert, dimensioniert und energetisch wie auch wirtschaftlich bewertet werden.

Vorstellung SBW Jöbnitz Gebäude

Das Objekt des SBW Jöbnitz befindet sich in 08547 Jöbnitz in der Nähe von Plauen, Sachsen. Der Gebäudekomplex besteht aus einer alten Villa, sowie einem Neubau, welcher 1995 fertiggestellt wurde. Er nimmt den größten Teil des Komplexes ein.

Unterteilen lässt sich das Gebäude in die Wohneinheiten, die sich Richtung Osten befinden, die Flure, sowie den Speisesaal und den Aufenthaltsbereich. Die Verwaltung befindet sich im Altbau.

Die Wohnungen haben aufgrund ihrer Ausrichtung, sowie einer guten Beschattung durch Vegetation keine Unbehaglichkeitsprobleme in Hitzephasen.



Abbildung 1: Wohnungen SBW Jöbnitz Quelle: Holger Geipel

Die Flure, Aufenthaltsbereich und der Speisesaal hingegen haben in den warmen Sommern große Behaglichkeitsprobleme. Dies ist hauptsächlich auf die riesigen Fensterflächen zurückzuführen. Die zweifach verglasten Fenster sind außerdem der Mittags- und Nachmittagssonne ausgesetzt, da hier keine, bis wenig Verschattungen vorhanden sind.

Der Flur Nord besitzt eine riesige Fensterfront, sowie ein Lichtband. Die einzigen Verschattungen sind die Villa, ein Baum, sowie das Vordach des Gebäudes. In den späten Nachmittagsstunden treffen das Licht und die Strahlung der flach stehenden Sonne ungehindert auf das Fenster, dadurch kommt es hier zu hohen Temperaturen.



Abbildung 2: Flur Nord Quelle: Uwe Hergert

Der Speisessaal, auch Rundling genannt, ist ein knapp 5 m hoher Raum mit drei sehr großen Fenstern, hier gibt es keine nennenswerten Verschattungen. Lediglich innenliegende Vorhänge, um die Helligkeit des Raumes zu regulieren und die Bewohner und Mitarbeiter vor der direkten Strahlung zu schützen. Vor der Erwärmung des Raumes können die Vorhänge jedoch nicht schützen, da sie nicht das Eindringen und damit das Erwärmen verhindern können.



Abbildung 3: Speisessaal Quelle: Uwe Hergert

Der Flur Süd weist ebenfalls eine große Fensterfront auf, wie Flur Nord. Jedoch gibt es auch hier fast keine Verschattung. Lediglich einige Bäume, die die tiefstehende Abendsonne abschwächt.

Am Ende des Flures befindet sich außerdem ein kleiner Aufenthaltsbereich mit Tischen und Sitzmöglichkeiten. Während einer Hitzeperiode im Sommer ist dieser jedoch nicht nutzbar, da es durch die direkt einwirkende Sonne zu unbehaglich ist, sich dort aufzuhalten.



Abbildung 4: Flur Süd Quelle: Lukas Kussmann

In den stark betroffenen Bereichen gibt es keine Lüftungs- oder Klimaanlage, weswegen die Temperaturen an warmen Sommertagen schnell die 30° Marke erreichen. Es erfolgt lediglich Fensterlüftung in den Morgen- und Abendstunden, wobei einige Bereiche besser durchlüftet werden als andere.

Überarbeitung Simulation

Als Grundlage für die Optimierung der Behaglichkeit dient die vorangegangene Studienarbeit, bei welcher die Kühllasten und Temperaturen der SBW Jöbnitz simuliert wurden. Für die Simulation wurde das Berechnungsprogramm SolarComputer¹⁾ verwendet, welches die VDI 2078²⁾ als Grundlage nutzt.

Die Ergebnisse der thermischen Lasten und Raumtemperaturen sind jedoch teilweise unrealistisch hoch. So kommt in der Simulation beispielsweise im Flur Nord zu einer Temperaturspitze von 52,0°C.

Grund dafür sind die unzureichende Betrachtung der Lüftung durch Fenster. Um eine Optimierung der Behaglichkeit durchführen zu können, muss zunächst die Simulation so verändert werden, dass realistische Werte berechnet werden.

In der Studienarbeit wurde für die Lüftung folgendes angenommen:

$$n = 0,8.$$

Das bedeutet, dass der Raum das 0,8 fache seines Raumluftvolumens pro Stunde austauscht. Dieser Wert ist jedoch im Anbetracht einer Sommerlüftungssituation zu gering. Durch die geringe Luftzufuhr kann sich der Raum in der Simulation schnell erhitzen.

Man kann jedoch annehmen, dass vor allem in den kühlen Nacht- und Morgenstunden ein weitaus größerer Luftwechsel vorhanden ist.

Auch Tagsüber scheint dieser Wert zu gering, da es zu einem ständigem Luftwechsel mit den Wohnräumen kommt, zum Beispiel durch geöffnete Türen.

Je nach Öffnungszustand und Position der geöffneten Fenster und Türen kann es zu unterschiedlichen Luftwechselraten kommen.

Da die Bewohner der Einrichtung nachts wahrscheinlich mit geschlossenen Türen schlafen, können zu dieser Zeit lediglich die Fenster und Türen der Flure, sowie der angrenzenden nicht bewohnten Räume geöffnet werden. Somit wird hier folgender Wert angesetzt:

$$n = 7 \quad \text{von 22.00 Uhr – 6.00 Uhr}$$

Die Werte wurden dem Forschungsbericht der TU Dresden entnommen (Quelle 4).

Für die Dämmerungsstunden wird angenommen, dass die Wohnräume geöffnete Fenster und Türen haben. Eine Querlüftung³⁾ für die Flure ist hier nicht anzunehmen, da im Flur keine Fenster gegenüber der Wohnungstüren liegen. Da die Raumvolumina der Flure im Verhältnis zu der Fläche der geöffneten Fenster und Türen klein ist, wird für die Dämmerungsstunden folgender Wert angenommen:

$$n = 9 \quad \text{von 20.00 Uhr – 22.00 Uhr} \quad \text{von 6.00 Uhr – 8.00 Uhr}$$

Um in den Wohnungen tagsüber behagliche Raumtemperaturen zu schaffen, ist anzunehmen, dass hier Querlüftung betrieben wird. Dazu müssen die Türen zu den Fluren geöffnet sein, wodurch die Luftwechselrate steigt.

Für die restliche Zeit wird folgender Luftwechsel angenommen:

$$n = 4 \quad \text{von 8.00 Uhr – 20.00 Uhr}$$

Für den Aufenthaltsbereich, welcher keine Fenster besitzt, jedoch mit den anderen Räumen in Wechselwirkung steht, werden folgende Werte angenommen:

$$n = 3 \quad \text{von 22.00 Uhr – 6.00 Uhr}$$

$$n = 5 \quad \text{von 20.00 Uhr – 22.00 Uhr} \quad \text{von 6.00 Uhr – 8.00 Uhr}$$

$$n = 2 \quad \text{von 8.00 Uhr – 20.00 Uhr}$$

Der Speisesaal besitzt keinen direkten Kontakt zu den Wohnungen, weswegen der Luftwechsel tagsüber geringer ausfällt als in den anderen Räumen. Jedoch besitzt er große Fenster, wodurch nachts ein großer Luftwechsel stattfindet. Für den Speisesaal werden folgende Werte angenommen:

$$n = 10 \quad \text{von 22.00 Uhr – 6.00 Uhr}$$

$$n = 9 \quad \text{von 20.00 Uhr – 22.00 Uhr} \quad \text{von 6.00 Uhr – 8.00 Uhr}$$

$$n = 1,5 \quad \text{von 8.00 Uhr – 20.00 Uhr}$$

In der Simulation kann man sehen, dass die erhöhte Lüftung sich sehr positiv auf die Raumtemperaturen der kritischen Bereiche auswirkt. So sinkt die Temperatur der Räume um fünf bis zehn Grad Celsius.

Mithilfe dieser Lüftungsmaßnahmen konnten die Raumtemperaturen in der Simulation wie folgt verändert werden:

Raum	Raumtemperatur alt	Raumtemperatur neu
Flur Nord	51,6°C	40,8°C
Flur Mitte	38,6°C	33,5°C
Flur Süd	37,5°C	33,1°C
Aufenthalt/Essbereich	37,0°C	31,7°C
Speisesaal	41,6°C	36,4°C

Tabelle 1: Vergleich Simulation Neu/Alt

Trotz der gewaltigen Temperaturunterschiede kann man noch lange nicht von einem behaglichen Raumklima sprechen. Die Behaglichkeitsgrenze liegt im Allgemeinen zwischen 26°C und 28°C. Dass bedeutet, es müssen zusätzliche Maßnahmen getroffen werden, um diese Werte zu erreichen.

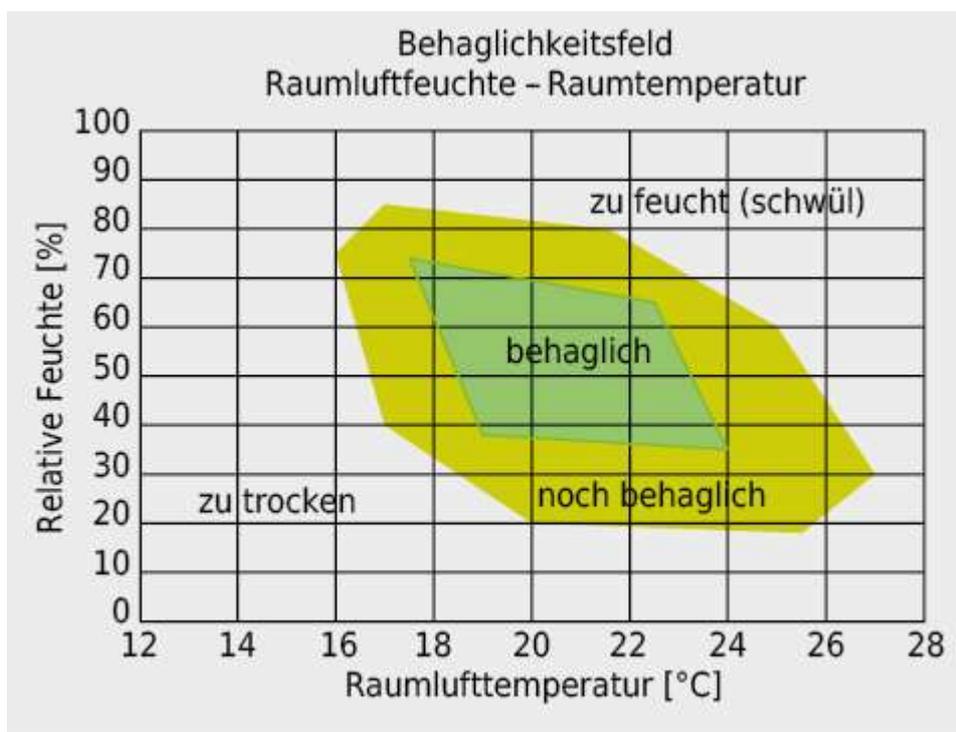


Abbildung 5: Behaglichkeitsfeld Raumluftheuchte – Raumlufttemperatur. Quelle: Frank W. (1975), Berichte aus der Bauforschung – Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn.

Bei der abgeänderten Simulation ist zu beachten, dass die Betriebszeiten verändert wurden, um eine sinnvolle Lüftung simulieren zu können.

Dadurch ist es jedoch nicht mehr möglich, die Personenverteilung für die Essenszeiten beizubehalten, da Lüftung und Personenverteilung auf die gleichen Betriebszeiten zurückgreifen.

Jedoch hat die Lüftung einen deutlich größeren Einfluss auf die Ergebnisse der Simulation, weshalb sich dafür entschieden wurde die Personenverteilung außen vor zu lassen.

Um zu überprüfen, wie realitätsnah die Simulation ist, wurde außerdem eine wöchentliche Temperaturmessung über zwei Wochen durchgeführt. Dabei wurde aller 20 min ein Temperatur- und Feuchtigkeitswert aufgenommen (1. Juli 2021 – 19. Juli 2021 – Messung Uwe Hergert). Die Außentemperaturen wurden von der Internetseite www.wetteronline.de übernommen (Quelle 9). Hier gibt es alle 30 min gerundete Messwerte.

Bei einer Messung sind nicht die gleichen Werte wie, bei einer Simulation zu erwarten, da es in der Realität viel mehr Faktoren gibt, die das Ergebnis beeinflussen. Jedoch lassen sich Schlüsse darauf schließen, ob die Simulation realitätsnah oder fern ist.

Hauptgrund für die Messung war der unerklärliche Temperaturunterschied der Flure Nord und Süd. Denn im Flur Nord zeigten sich trotz großer natürlicher Verschattungen sehr hohe Temperaturen.

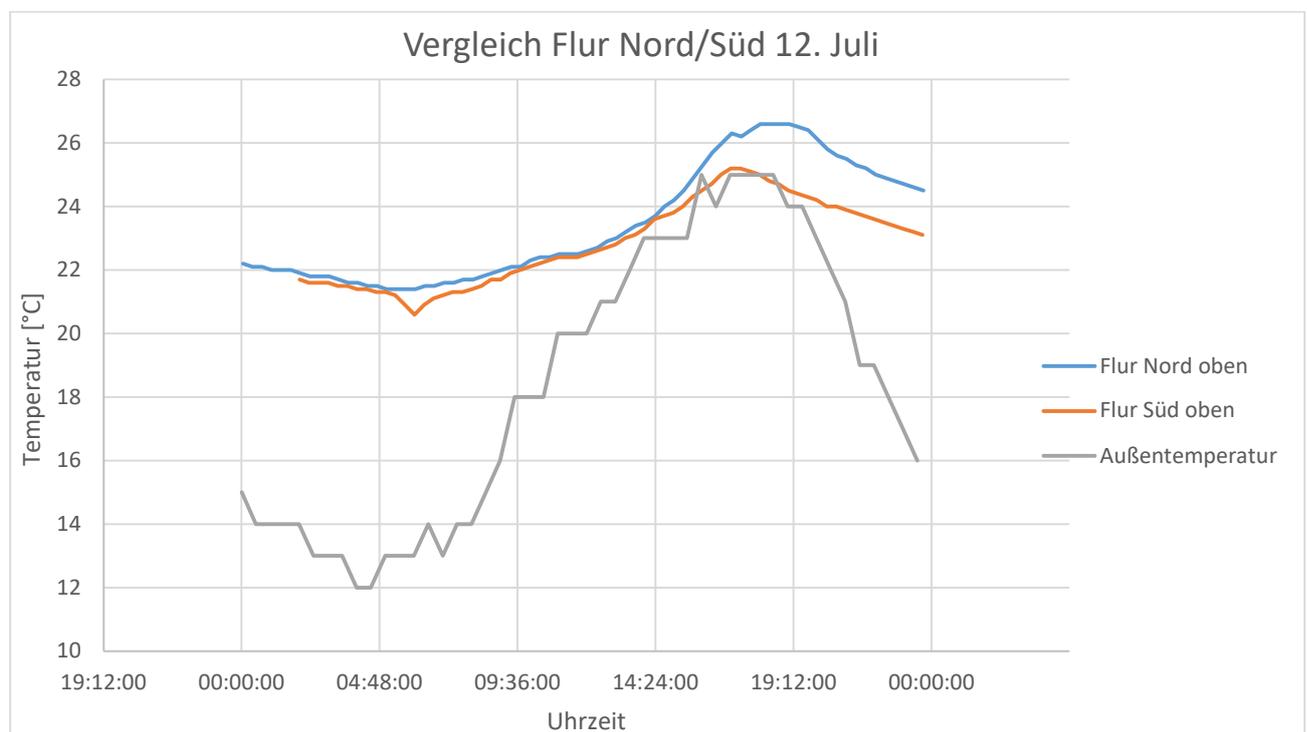


Abbildung 6: Messwerte - Vergleich Flur Nord/Süd

In der Messreihe kann man deutlich erkennen, dass auch hier die Temperatur im Flur Nord höher ist, als in den anderen Bereichen der Einrichtung.

Es fällt auf, dass die Temperatur des Flurs Nord am höchsten ist. Desweiteren sieht man deutlich, dass die Temperatur oben im Gebäude deutlich höher ist als unten. Auch die Auswirkung der Lüftung durch Fenster ist in der unteren Etage höher. Erkennbar ist dies beim Vergleich der Aufenthaltsmesswerte.

Eine Aussage ob die berechneten Temperaturen der Simulation 100-prozentig korrekt sind, kann nicht getroffen werden, da es in der Messung zu einer starken Schwankung der Außentemperaturen kam. Jedoch gibt sie Aufschlüsse darauf, ob die Verhältnisse der Temperaturen stimmen. Da dies der Fall ist, kann man auch davon ausgehen, dass die berechneten Temperaturen im korrekten Bereich liegen.

Die Simulation ist außerdem die Auslegung für eine Hitzeperiode, im Messzeitraum nicht vorlag.

Im folgenden Diagramm sind alle Messwerte zusammengetragen.

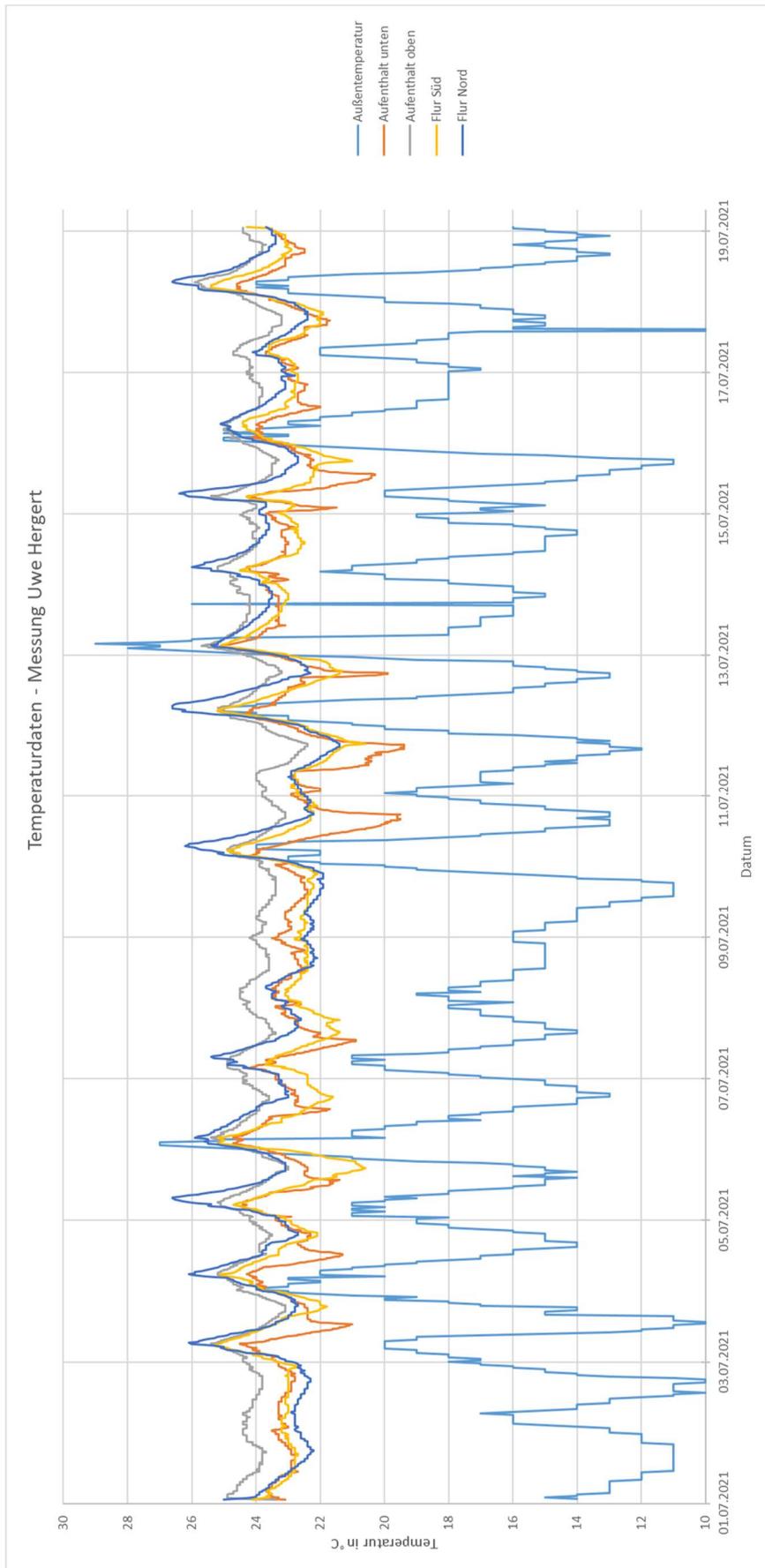


Abbildung 7: Temperaturdiagramm

Simulation mit neuen Maßnahmen

Um die Behaglichkeit in den Innenräumen zu verbessern, muss die Raumtemperatur verringert werden. Die Luftfeuchtigkeit wird nicht künstlich verändert.

Um die Raumtemperatur zu verringern, wird zunächst versucht die Energieeinstrahlung durch die Sonne zu minimieren, ohne dabei die Sicht zu stark zu beeinflussen.

Falls die Raumtemperatur nach diesen Maßnahmen immer noch zu unbehaglich sein sollte, kann mit weiteren technischen Vorkehrungen versucht werden, ein behagliches Raumklima zu schaffen.

Welche baulichen Maßnahmen kommen in Betracht?

Variante 1 – Außenverschattung + Kühldecken

Bei Verschattungen stellt sich zunächst die Frage, ob Innen- oder Außenverschattungen verwendet werden sollte. Innen liegende Maßnahmen haben den Vorteil, dass sie sich im Nachhinein einfach nachrüsten lassen und relativ kostengünstig im Vergleich zu anderen Sonnenschutzmaßnahmen sind.

Jedoch dringt bei den Innenliegenden Verschattungen die für die Wärme verantwortliche Infrarotstrahlung in den Raum ein und erwärmt die Bauteile, die ihre Wärme in den Raum abgeben.

Der offensichtliche Vorteil der Außenliegenden Verschattung ist, dass die Strahlung außerhalb der Räume absorbiert und reflektiert wird.

Um Verschattungen klassifizieren zu können gibt es einen Abminderungsfaktor F_c . Dieser kann Werte zwischen eins und null annehmen, wobei ein niedriger Wert für eine leistungsfähigere Verschattung steht.

Werte dazu findet man bevorzugt in der DIN 4108-2⁴⁾.

Die Leiterin der SBW Jöbnitz, möchte einen Sonnenschutz, welcher die Sicht so wenig beeinflusst wie möglich.

Deswegen wird sich in der Simulation für ein starres Lamellensystem entschieden.

Dieses wird so ausgelegt, dass im Sommer die Hochstehende Sonne nicht direkt in die Räume eindringen kann, jedoch die tiefstehende Wintersonne in das Gebäude mit Tageslicht versorgen kann.

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung ^a	F_C		
		$g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas) zweifach	$g > 0,40$	
			dreifach	zweifach
1	ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
2	Innenliegend oder zwischen den Scheiben ^b			
2.1	weiß oder hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ^c	0,65	0,70	0,65
2.2	helle Farben oder geringe Transparenz ^d	0,75	0,80	0,75
2.3	dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
3	Außenliegend			
3.1	Fensterläden, Rollläden			
3.1.1	Fensterläden, Rollläden, $\frac{3}{4}$ geschlossen	0,35	0,30	0,30
3.1.2	Fensterläden, Rollläden, geschlossen ^e	0,15 ^e	0,10 ^e	0,10 ^e
3.2	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen			
3.2.1	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
3.2.2	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung ^e	0,20 ^e	0,15 ^e	0,15 ^e
3.3	Markise, parallel zur Verglasung ^d	0,30	0,25	0,25
3.4	Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen ^f	0,55	0,50	0,50

Abbildung 8 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2013)

Der F_c Wert bei dem gewählten Sonnenschutz beträgt 0,5. Durch den Sonnenschutz werden also 50% der direkt einfallenden Strahlung absorbiert beziehungsweise reflektiert.

Der Sonnenschutz sollte so ausgelegt sein, dass es nicht zu direkter Sonneneinstrahlung während der warmen Mittagssonne kommt.

Dafür muss die Schattenlänge der Lamellen berechnet werden. Die Tiefe der Lamellen soll ein Meter betragen.

$$l_{\text{Schatten}} = \cos \alpha * \frac{l_{\text{Lamelle}}}{\sin \alpha} \quad (1)$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta \quad (2)$$

Der Winkel β bezeichnet den Sonnenwinkel.

Der Winkel α bezeichnet den Eintrittswinkel der Sonnenstrahlen auf dem Fenster. Da dieser Winkel sich abhängig von Tageszeit und Datum ändern müssen die Lamellen so konzipiert sein, dass sie einen großen Winkelbereich abdecken.

Mithilfe der Schattenlänge kann dann die Anzahl der Lamellen bei den 5 Meter hohen Fenstern berechnet werden.

$$n_{\text{Lamellen}} = \frac{5}{l_{\text{Schatten}}} \quad (3)$$

Im Sommer steht die Sonne höher als im Winter. Dadurch kann im Winter trotzdem genügend Tageslicht in die Räume eindringen.

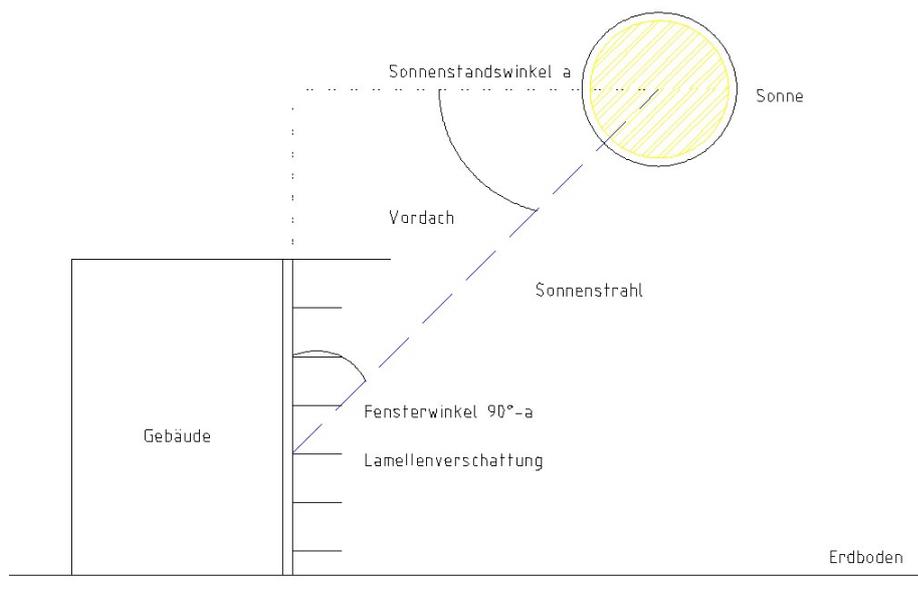


Abbildung 9: Berechnung Lamellenlänge

In der folgenden Tabelle kann man die benötigten Lamellen sehen und bis zu welchem Winkel eine 100-prozentige Verschattung herrscht.

100% Verschattung bis β [°]	α [°]	l Lamelle [m]	l Schatten [m]	n Lamellen
30	60	1	0,58	8,66
35	55	1	0,70	7,14
40	50	1	0,84	5,96
45	45	1	1,00	5,00
50	40	1	1,19	4,20

Tabelle 2: Verschattung Lamellenberechnung

Es wird sich für sieben Lamellen entschieden. Diese haben einen Abstand von 71,5 cm. Bei dieser Anzahl gibt es eine volle Verschattung bis $\beta = 35,55^\circ$.

Im Speisesaal sind außerdem Türen in die Fenster eingearbeitet. Deswegen soll hier ein Sonnensegel installiert werden, um eine Verschattung zu erzeugen.

Dieses müsste eine Länge von ca. 7 m Länge haben, um die Zeiträume für Vollständige Verschattung zu gewährleisten.

Im der folgenden Tabelle kann man die Zeiträume sehen, in denen vollständige Verschattung herrscht.

	Begin	Ende
April	10:15 Uhr	16:15 Uhr
Mai	09:15 Uhr	17:00 Uhr
Juni	09:00 Uhr	17:30 Uhr
Juli	09:15 Uhr	17:15 Uhr
August	09:45 Uhr	16:40 Uhr
September	10:45 Uhr	15:30 Uhr

Tabelle 3: Schatten Zeiträume, laut Sonnenstand am 15. des jeweilige Monats. Quelle: Internetseite sonnenstand.de

Da es in der Simulation nur die Option vollständige Verschattung und keine Verschattung gibt, wird eine 100-prozentige Verschattung im Zeitraum von 8 bis 18 Uhr angenommen.

Die Strahlung, die in den Raum eindringt, wird in diesem Zeitraum halbiert. Mit diesen Einstellungen kommt es zu folgenden Ergebnissen:

	Raumtemperatur IST [°C]	Raumtemperatur Verschattung [°C]	max Kühllast [W]
Flur Nord	40,8	32,6	-11024
Flur Mitte	33,5	32,6	-7724
Flur Süd	33,1	32,9	-11513
Aufenthalt	31,7	31,7	-2362
Speisesaal	36,4	32,9	-4680

Tabelle 4: Simulationsergebnisse Variante Verschattung

Die Raumtemperatur im Flur Nord sinkt stark von 40,8°C auf 32,6°C ab. Die Auswirkungen im Flur Nord und Mitte sind minimal. Wobei die die geringe Änderung im Flur Mitte auf die Ausrichtung der Fenster, sowie die Verschattung durch die Villa zu erklären sind.

Die geringe Temperaturänderung im Flur Süd ist durch das Lichtband zu erklären. An diesem kann aufgrund der Rauchgasabführung im Brandfall keine Verschattung angebracht werden.

Im Verlauf der Kühllast im Flur Nord sieht man einen Anstieg der Kühllast ab 10 Uhr. Danach gibt es einen Parabelförmigen Verlauf. 22 Uhr beträgt die Kühllast wieder null. Das Maximum befindet sich zwischen 16 und 17 Uhr. Dies stimmt auch in etwa mit der Messung überein, wo die maximale Temperatur im Flur circa 17 Uhr erreicht wurde. Einen ähnlichen Verlauf kann man auch im Flur Süd, sowie Flur Mitte beobachten.

Raumheiz- und Raumkühllast am Auslegungstag im Monat Juli

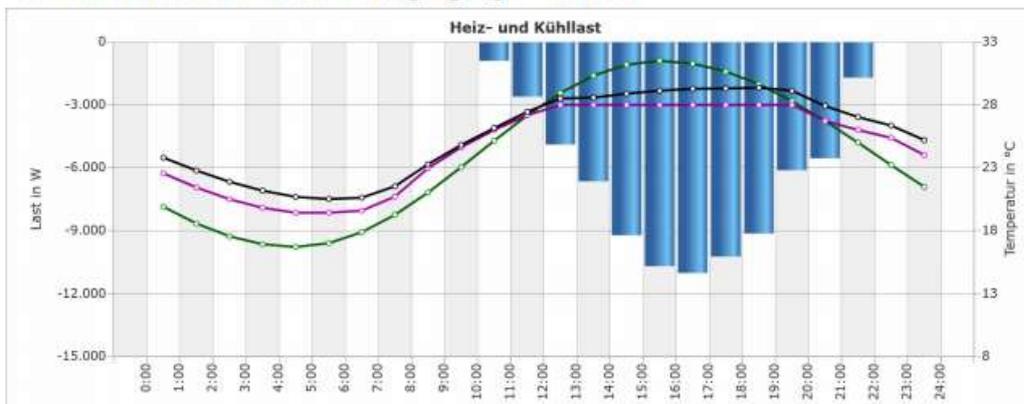


Abbildung 10: Kühllast CDD Flur Nord

Ein anderer Verlauf zeigt sich im Speisesaal. Hier ist ein Anstieg der Kühllast ab 13 Uhr zu verzeichnen. Grund hierfür ist vermutlich die gute Lüftung in den Morgenstunden, die den Raum gekühlt hat. Auch danach gibt es keinen großen Anstieg im Verlauf, erst um 18 Uhr ist ein plötzlicher Anstieg im Kurvenverlauf zu bemerken. Ein Grund ist die Darstellung im Stundentakt, ein anderer Grund ist der Stand der Sonne. Bis ca. 17.30 Uhr herrscht eine Vollkommene Verschattung der Fenster durch die Lamellen, danach gibt es direkte Sonneneinstrahlung, wodurch sich der Raum schneller erwärmt.

Raumheiz- und Raumkühllast am Auslegungstag im Monat Juli

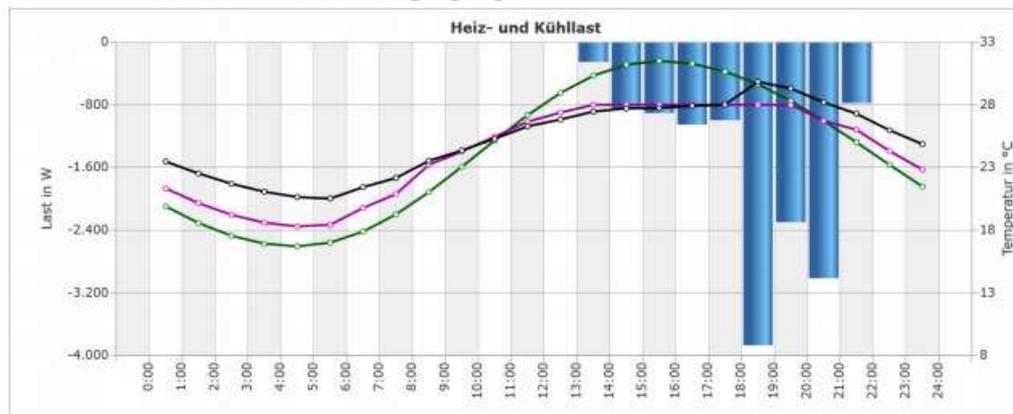


Abbildung 11: Kühllast CDD Speisesaal

Im Diagramm des Aufenthaltsbereiches muss die Kühlung am CDD bereits 8 Uhr beginnen. Grund hierfür ist die schlechte Durchlüftung des Raumes, die Abkühlung gemindert ist. Die beiden Maxima sind auf die Wechselwirkungen mit den anderen Räumen sowie Personenbelegungen zurückzuführen.

Raumheiz- und Raumkühllast am Auslegungstag im Monat Juli

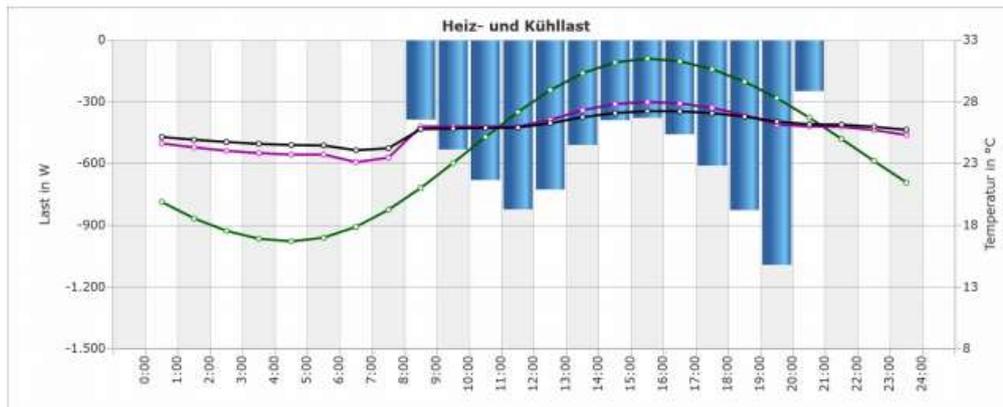


Abbildung 12: Kühllast CDD Aufenthalt UG

Durch die geringen Änderungen in den Fluren kommt es im Aufenthaltsbereich zu keiner Signifikanten Änderung der Raumtemperatur.

Da durch die Abänderung der Simulation (Fensterlüftung) die Personenbelegung nicht mehr simuliert werden kann, wird die maximale Kühllast in Speisesaal/Aufenthaltsbereich um jeweils 2000W erhöht. Dies entspricht einer Raumbellegung von 20-25 Personen.

Damit steigt die Kühllast im Aufenthaltsbereich auf 4362W und im Speisesaal auf 6680W. Für die übrige Kühllast wird eine Kühldecke berechnet. Die angenommene Leistung beträgt 90W/m². Die Berechnung der benötigten Fläche erfolgt durch folgende Formel:

$$A_{Decke} = \frac{Q_{Kühl}}{P_{Kühl}} \quad (4)$$

	Kühlleistung [W/m ²]	max. Kühllast [W]	effektive Fläche [m ²]	Kühlfläche [m ²]
Flur Nord	90	-11024	279	122
Flur Mitte		-7724	150	86
Flur Süd		-11513	281	128
Aufenthalt		-4362	68	48
Speisesaal		-6680	117	74

Tabelle 5: Berechnung Kühlfläche Var. Verschattung

In der Tabelle kann man deutlich erkennen, dass die benötigte Fläche für die Kühldecken überall zur Verfügung steht. Die Gesamte benötigte Fläche beträgt 460 m².

In den Räumen mit mehreren Etagen wird empfohlen in der oberen Etage mehr Kühldeckenfläche zu installieren, als in der unteren Etage, da die Messung ergeben hat, dass in den oberen Etagen höhere Temperaturen herrschen. Die maximale Gesamtkühlleistung dieser Variante beträgt rund 40 kW. Um diese Energiemenge zur Verfügung zu stellen, soll ein Splitgerät eingesetzt werden.

Variante 2 – Verglasung + Kühldecken

Eine weitere Möglichkeit sind sogenannte Sonnenverglasungen. Diese Fenster senken den Gesamtenergiedurchlassgrad [g] und verhindern damit die Erwärmung der Räume. Dies wird erreicht, mithilfe von Reflexion der Infrarotstrahlung durch metallische Beschichtungen. Das sichtbare Licht wird durch diese Beschichtungen nur geringfügig reflektiert, wodurch es trotzdem zu angenehmer Helligkeit in Gebäude kommt.

Dieser Effekt kann durch verschiedene Maßnahmen wie besondere Befüllungen oder Glasarten noch verstärkt werden.

Eine normale Zweifachverglasung hat eine g-Wert von rund 0,78.

Dass bedeutet, dass 78 % der auftreffenden Strahlung das Glas durchqueren und in den Raum eindringen.

Für die Simulation wird das dimmbare smart Glas | 2 von Econtrol verwendet. Diese bieten zwei verschiedene Varianten an, einmal eine Variante mit Zweifachverglasung und eine mit Dreifachverglasung.



Abbildung 13: Econtrol Glas – Innenansicht, exclusive-bauen-wohnen.de

Die Fenster werden nach Sonnenstand gedimmt, dieser wird durch einen Sensor aufgenommen. Die Verglasungen haben je nach Dimmungsgrad folgende Werte:

	Zustand des elektrochromen Glases	Lichttransmission Tv [%]	Gesamtenergiedurchlass g-Wert [%]
ECONTROL smart Zweifachisoliertes Aufbau EC9/16/4	hell	55	41
	dunkel	10	10
ECONTROL smart Dreifachisoliertes Aufbau EC9/12/12/4	hell	51	36
	dunkel	8	8

Tabelle 6 Econtrol smart Glas Werte Quelle: Glasbau König – Webseite

Die Zweifachverglasung hat folgenden Aufbau:

- 9 mm Elektrochromes Verbundglas
- 16 mm Zwischenraum
- 4 mm wärmeschutzbeschichtete Scheibe aus Floatglas

Die Dreifachverglasung hat folgenden Aufbau:

- 9 mm Elektrochromes Verbundglas
- 12 mm Zwischenraum
- 4 mm wärmeschutzbeschichtete Scheibe
- 12 mm Zwischenraum
- 4 mm wärmeschutzbeschichtete Scheibe aus Floatglas

Aufgrund der zusätzlichen Glasscheibe ist das Gewicht der dreifach Verglasung deutlich höher. Die Fensterkonstruktion der SBW Jößnitz ist jedoch nur für zweifach Verglasung ausgelegt. Aus diesem Grund müsste vor dem Einbau eine Tragfähigkeitsberechnung durchgeführt werden.

Die Simulation wird für beide Varianten durchgeführt.

Die Simulation erfolgt so, dass die gedimmten Fenster als Außensonnenschutz dargestellt werden. Die Fenster sollen bei direkter Sonneneinstrahlung gedimmt werden („dunkel“ Modus). Erfolgt keine direkte Sonneneinstrahlung, so sind die Fenster ungedimmt („hell“ Modus).

In der Simulation mit der Zweifachverglasung kann man einen deutlichen Abfall der Raumtemperaturen sehen. Durch die Fenster von Econtrol wird ein großer Teil der Strahlung

reflektiert und gelangt dadurch nicht in den Raum, wodurch die Raumtemperatur nicht so stark ansteigt.

In der Simulation werden die Raumtemperaturen ohne Kühlung, sowie die erforderliche Kühllast zur Senkung der Temperaturen auf 28 °C ermittelt.

Bei der Zweifachverglasung ist ein großer Temperaturabfall zu sehen. Am deutlichsten wird dies im Flur Nord, hier sinkt die Temperatur am Cooling Design Day um ganze 7,8 K. Dies ist durch die große Glasfläche zu erklären. Durch die neuen Fenster wird viel Strahlung reflektiert, wodurch sich im Raum weniger Wärme bilden kann.

Auch im Speisesaal kann die Temperatur stark gesenkt werden. Hier würde der Einbau der Zweifachverglasung eine Senkung von 36,4 °C auf 29,0 °C erzielen.

In den Fluren Mitte und Süd erfolgt ein Temperaturabfall von rund 3 °C.

Da der Aufenthaltsbereich keine Fenster besitzt ist hier keine Verbesserung zu vermerken. Der Temperaturabfall der anderen Räume scheint ebenfalls zu gering zu sein, um einen positiven Effekt auf die Temperatur hier zu haben.

Durch die Senkung der Raumtemperaturen sinkt auch die Kühllast der Räume ab. Die Kühllasten entstehen bei einer Kühlung auf 28 °C Raumtemperatur.

	Raumtemperatur IST [°C]	Raumtemperatur 2fach Verglasung [°C]	max Kühllast [W]
Flur Nord	40,8	33,0	-11922
Flur Mitte	33,5	30,2	-3740
Flur Süd	33,1	30,8	-6462
Aufenthalt	31,7	31,7	-2044
Speisesaal	36,4	29,0	-2948

Tabelle 7: Simulationsergebnisse Econtrol Zweifachverglasung

Bei der Simulation mit der Dreifachverglasung sieht man ähnliche Ergebnisse. Die Temperaturen aller Räume, außer des Aufenthaltsraum, sind weiter gesunken.

Auch hier ist keine Veränderung der Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich festzustellen.

	Raumtemperatur IST [°C]	Raumtemperatur 3fach Verglasung [°C]	max Kühllast [W]
Flur Nord	40,8	32,5	-10625
Flur Mitte	33,5	30,1	-3379
Flur Süd	33,1	30,6	-5999
Aufenthalt	31,7	31,7	-2044
Speisesaal	36,4	28,6	-1143

Tabelle 8: Simulationsergebnisse Econtrol dreifach Verglasung

Da durch die Abänderung der Simulation (Fensterlüftung) die Personenbelegung nicht mehr simuliert werden kann, wird die maximale Kühllast in Speisesaal/Aufenthaltsbereich um jeweils 2000W erhöht. Dies entspricht einer Raumbelegung von 20-25 Personen.

Im Flur Nord zeigt sich hier ein ähnliches Bild wie bei der Verschattungsvariante. Der Beginn der Kühlung am CDD ist um 10 Uhr und das maximum zwischen 16 Uhr und 17 Uhr. Die maximale Last beträgt knapp 12000 W. Nach 22 Uhr ist keine Kühlung mehr nötig.

Raumheiz- und Raumkühllast am Auslegungstag im Monat Juli

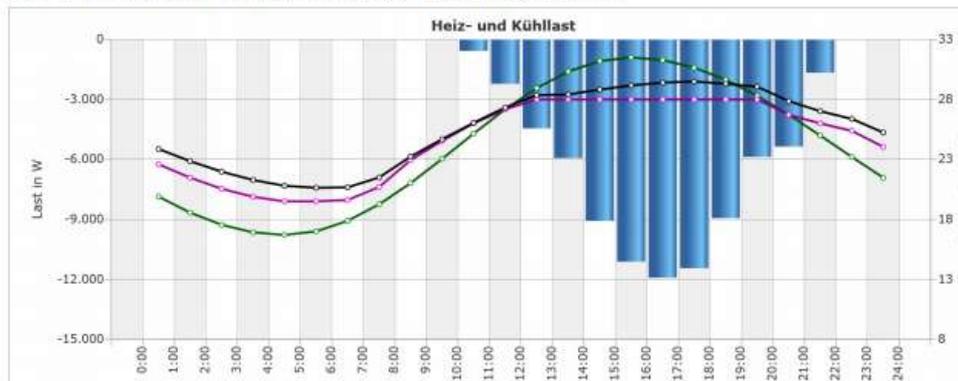


Abbildung 14: Flur Nord Kühllast - Zweifachverglasung

Im Flur Mitte ist eine Kühlung erst ab 13 Uhr notwendig, Grund dafür ist, dass ein Großteil der Fensterfläche morgens durch die Villa verschattet ist. Gegen Mittag scheint die Sonne jedoch direkt darauf, was den spontanen Anstieg erklärt.

Raumheiz- und Raumkühllast am Auslegungstag im Monat Juli

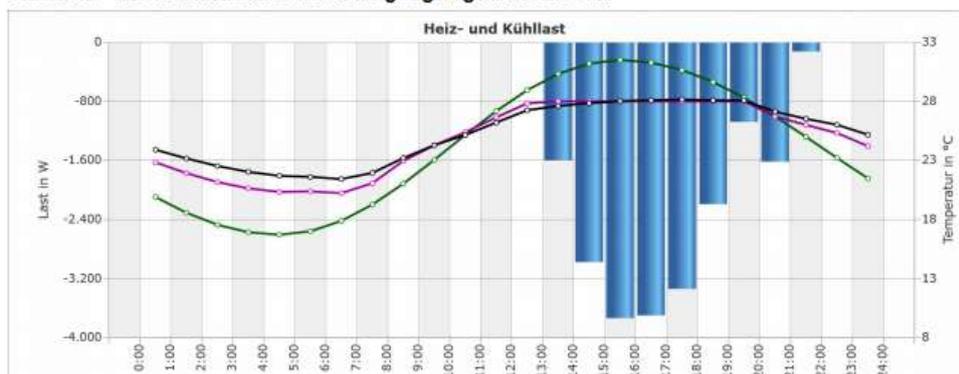


Abbildung 15: Flur Mitte Kühllast - Zweifachverglasung

Auch der Flur Süd wird morgens nur wenig von der Sonne bestrahlt, durch die Fenster ist also auch hier eine Kühlung erst gegen Mittag notwendig. Nachmittags ist der Flur der Sonnenstrahlung ausgesetzt, da es keine Verschattungen gibt weswegen die Kühllast stark ansteigt. Gegen Abend bedecken die Schatten einiger Bäume die Fenster und die Außentemperatur sinkt, so auch die Kühllast.

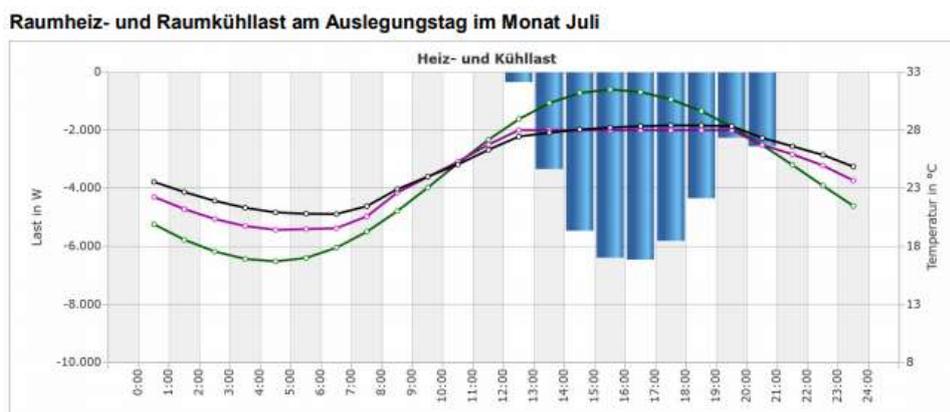


Abbildung 16: Flur Süd Kühllast - Zweifachverglasung

Im Speisesaal sieht man einen, auf den ersten Blick unerklärlichen, Verlauf der Kühllast. Der Grund dafür liegt darin, dass die Simulation so eingestellt wurde, dass bei Außentemperaturen unter 28 °C auf 26 °C gekühlt werden soll anstatt auf 28 °C Raumtemperatur. Diese Grenze ist ab 20 Uhr erreicht, weswegen die Kühllast hier ansteigt, obwohl die Außentemperatur sinkt.

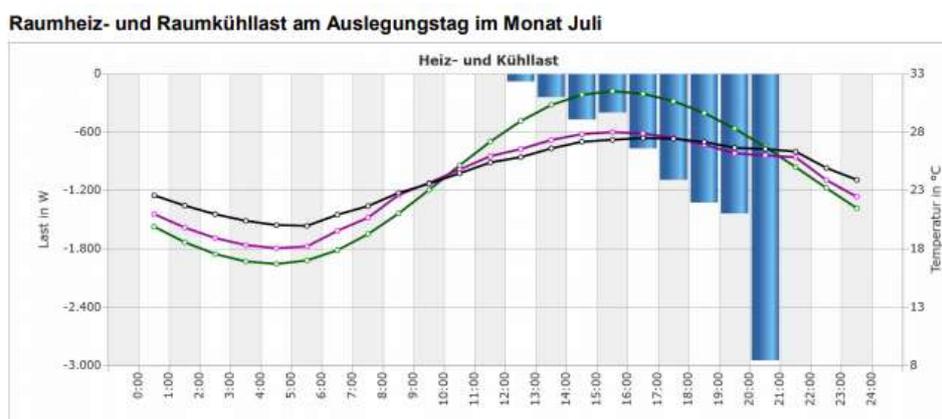


Abbildung 17: Kühllast Speisesaal - Zweifachverglasung

Im Aufenthalt ähnelt das Diagramm dem der Verschattungsvariante. Grund dafür ist, dass es hier keine Fenster gibt und damit der Raum von den Varianten der Simulation nur wenig beeinflusst wird. Die Kühllasten hier sind jedoch geringer, da die Raumtemperaturen der angrenzenden Räume geringer ist.

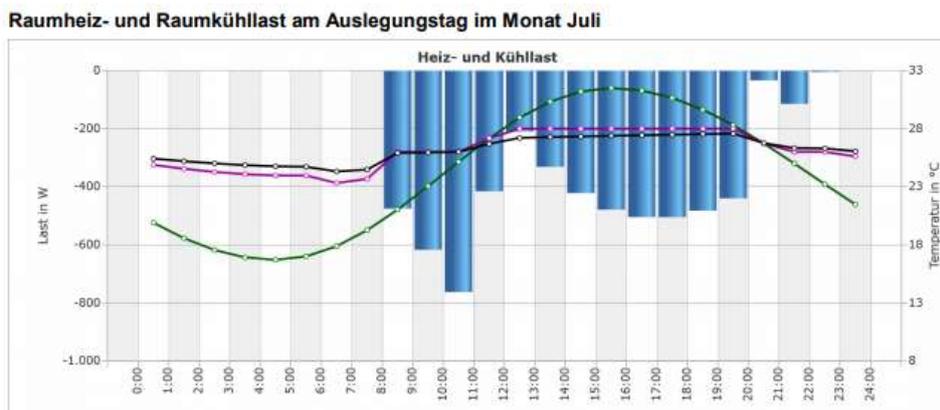


Abbildung 18: Kühllast Aufenthalt UG - Zweifachverglasung

Für die weitere Betrachtung wird aufgrund der unsicheren Traglastsituation mit der Zweifachverglasung weitergearbeitet.

Ähnlich wie bei der Außenverschattungsvariante soll eine Kühldecke die übrige Kühlung übernehmen. Dafür wird zunächst die benötigte Kühlfläche mit Formel (4) berechnet.

In der Auslegung der Decken wird davon ausgegangen, dass 1 Quadratmeter eine Kühlleistung von 90 W erreicht.

Aus der maximalen Kühllast und der Kühlleistung ergibt sich die benötigte Fläche:

$$A_{\text{Decke}} = \frac{Q_{\text{Kühl}}}{P_{\text{Kühl}}} \quad (4)$$

	Kühlleistung [W/m ²]	max. Kühllast [W]	effektive Fläche [m ²]	Kühlfläche [m ²]
Flur Nord	90	-11922	279	132
Flur Mitte		-3740	150	42
Flur Süd		-6462	281	72
Aufenthalt		-4044	68	45
Speisesaal		-4948	117	55

Tabelle 9: Berechnung Kühlfläche Var. Zweifachverglasung

Auch in dieser Variante sind die benötigten Flächen für die Deckenkühlung vorhanden. Die maximale Gesamtkühllast beträgt hier 24 kW + 4 kW zusätzlich für die Personenbelegung.

Gesamtkühllast am Auslegungstag

Uhrzeit		Kühllast					
von Uhr	bis Uhr	April W	Mai W	Juni W	Juli W	August W	September W
0:00	1:00	0	0	-86	-122	-112	0
1:00	2:00	0	0	-105	-140	-131	0
2:00	3:00	0	0	-113	-148	-142	-8
3:00	4:00	0	0	-111	-145	-143	-15
4:00	5:00	0	0	-97	-131	-133	-15
5:00	6:00	0	0	-71	-105	-113	-5
6:00	7:00	0	0	-31	-64	-78	0
7:00	8:00	0	0	0	-13	-29	0
8:00	9:00	0	0	-245	-481	-392	0
9:00	10:00	-598	-668	-1221	-1577	-1452	-798
10:00	11:00	-563	-639	-1442	-2370	-1672	-810
11:00	12:00	-530	-713	-3700	-3198	-3222	-971
12:00	13:00	0	-89	-2734	-5086	-1743	-359
13:00	14:00	-488	-1020	-2966	-11730	-5604	-1351
14:00	15:00	-545	-2770	-9441	-18772	-13145	-1374
15:00	16:00	0	-3480	-13205	-22136	-16573	-1560
16:00	17:00	-574	-6000	-14901	-23752	-18535	-3133
17:00	18:00	-596	-5686	-13944	-22611	-16735	-3623
18:00	19:00	0	-2700	-8918	-17287	-12028	-734
19:00	20:00	-603	-1209	-12272	-11506	-6191	-1553
20:00	21:00	-670	-839	-4655	-13499	-9570	-916
21:00	22:00	-739	-821	-1154	-3191	-1627	-905
22:00	23:00	0	0	-205	-332	-305	0
23:00	24:00	0	-2	-148	-266	-245	0

Abbildung 19: Kühllast am CDD

Die entsprechende Kühlleistung soll durch ein Splitgerät zur Verfügung gestellt werden. Die Gesamtfläche der benötigten Kühldeckenfläche beträgt 350 m². Dabei sollte beachtet werden, dass die Temperatur in den oberen Stockwerk höher ist als im Erdgeschoss. Deshalb sollte die Kühlfläche im Flur Nord, Flur Süd, Flur Mitte und Aufenthaltsbereich nicht gleichmäßig aufgeteilt werden. Eine größere Fläche in der ersten Etage ist zu empfehlen. Dafür weniger Quadratmeter im Erdgeschoss. Grund dafür ist die Temperaturschichtung in den Räumen. warme Luft steigt nach oben und sammelt sich unter der Decke.

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Vergleich der Wirtschaftlichkeit wird nach der VDI 2067⁵⁾ durchgeführt. Zunächst wurde eine Liste erstellt mit allen benötigten Bauteilen mit Ihrem Anschaffungspreis sowie der Nutzungsdauer, den Instandhaltungs- und Wartungskosten pro Jahr. Die Daten hierfür werden aus der Tabelle A2 der VDI entnommen.

	Kosten [€]	Nutzungsdauer [a]	Instandsetzung [%]	Wartung [%]
Kälteerzeuger	35200	15	2	1,5
Kühldecke	99127,2	20	1	1
Verrohrung	2000	40	1	0
Dämmung	5836	20	1	0
Pumpen	3000	10	2	0
Abspeerer	250	15	1	1
Regelung	2000	10	10	2
Sensoren	1000	10	10	2
Befestigungsmaterial	1000	20	0	0
Verschattung	128747,5	40	1	0
Ausdehnungsgefäß	400	15	1	1

Tabelle 10: Anschaffungskosten, Nutzungsdauer, Instandhaltungskosten, Wartungskosten - Variante Verschattung, Quelle 14, 16, 17, 18

	Kosten [€]	Nutzungsdauer [a]	Instandsetzung [%]	Wartung [%]
Kälteerzeuger	22400	15	2	1,5
Kühldecke	74678,4	20	1	1
Verrohrung	1500	40	1	0
Dämmung	4377	20	1	0
Pumpen	2500	10	2	0
Abspeerer	200	15	1	1
Regelung	1500	10	10	2
Sensoren	1000	10	10	2
Befestigungsmaterial	750	20	0	0
Fenster	302022,5	48	1	1
Ausdehnungsgefäß	400	15	1	1

Tabelle 11: Anschaffungskosten, Nutzungsdauer, Instandhaltungskosten, Wartungskosten - Variante Fenster, Quelle 14, 16, 17, 18

Im Anschluss wird ein Betrachtungszeitraum festgelegt. Die Empfehlung liegt hier bei kältetechnischen Anlagen bei 15 Jahren. Danach wird ein Zinssatz festgelegt, in dieser Berechnung beträgt der Zinssatz 4%.

Damit kann dann die Annuität berechnet werden.

$$a = \frac{(1+i)^{n \cdot i}}{(1+i)^{n-1}} \quad (5)$$

zinssatz [%]	4
Betrachtungszeitraum [a]	15
Annuitätsfaktor	0,0899411

Tabelle 12: Annuitätsfaktor

Nun werden die jährlichen Energiekosten berechnet. Dafür wird ein Strompreis von 0,32 €/kWh und 450 Volllaststunden pro Jahr angenommen (Quelle 20, Quelle 21).

Für die Berechnung der Energiekosten wird folgende Formel genutzt:

$$A_{V1} = \frac{Q_{Kälte}}{3} * Preis \quad (6)$$

Variante Fenster		Variante Verschattung	
Kälteleistung	28 kW	Kälteleistung	44 kW
Strom Kühlung	1344 €/a	Strom Kühlung	2112 €/a
Strom Sonstiges	165 €/a	Strom Sonstiges	165 €/a
Energiekosten	1509 €/a	Energiekosten	2277 €/a

Tabelle 13: Energiekostenberechnung Variante Fenster/Verschattung

Außerdem müssen für die verschiedenen Kostenpunkte Preissteigerungsfaktoren festgelegt werden. Diese werden in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

zins in %				
4	Aufzinsfaktor	q	1,04	Barwertfaktor
3	kapital gebundene Kosten	rk	1,03	13,49
5	verbrauchsgebundene Kosten	rv	1,05	15,44
3	betriebsgebundene Kosten	rb	1,03	13,49
3	sonstige Kosten	rs	1,03	13,49
3	Kosten für Instandhaltung	ri	1,03	13,49
3	Erlöse	re	1,03	13,49

Tabelle 14: Preissteigerungen Wirtschaftlichkeitsberechnung

In den Nachfolgenden Tabellen wird zunächst die Ersatzhäufigkeit berechnet. Der Wert zeigt an, wie oft ein Bauteil während des Betrachtungszeitraums ersetzt werden muss.

Aufgrund des kleinen Betrachtungszeitraums bei kältetechnischen Anlagen müssen hier maximal einmal Teile ersetzt werden. Deswegen gibt es keine Investitionskosten A_2 und A_3 . Außerdem werden die Annuitäten der kapitalgebundenen Kosten, sowie der Instandhaltungskosten berechnet.

Die nachfolgenden Formeln wurden für die Berechnung der Tabellen genutzt.

$$A_n = A_0 * \frac{r^{n*T_N}}{q^{n*T_N}} \quad (7)$$

$$R_W = A_0 * r^{n*T_N} * \frac{(n+a)*T_N - T}{T_N} \quad (8)$$

$$R_{Summe} = A_0 + A_1 + A_2 \dots + A_N - R_W \quad (9)$$

$$A_{NK} = R_{Summe} * a \quad (10)$$

$$B_{IN} = f_k * A_0 * b_{IN} \quad (11)$$

$$A_{IN} = B_{IN} * a \quad (12)$$

Komponent	Ersatzhäufigkeit	Barwert der Ersatzinvestition			Barwert des Restwertes	Summe der Barwerte	Summe der Barwerte * a	Barwert der Instandhaltungskosten	Annuität der Instandhaltung
		A ₁	A ₂	A ₃					
Nr.	n	A ₁	A ₂	A ₃	R _w		A _{NK}		A _{IN}
1	1	30451	0	0	30451	35200	3166	16622	1495,0
2	0	81709	0	0	124265	56572	5088	26748	2405,7
3	0	0	0	0	694	1306	117	270	24,3
4	0	4811	0	0	7316	3331	300	787	70,8
5	1	2724	0	0	4513	1211	109	809	72,8
6	1	216	0	0	216	250	22	67	6,1
7	1	1816	0	0	3009	807	73	3238	291,2
8	1	908	0	0	1504	404	36	1619	145,6
9	0	824	0	0	1254	571	51	20664	1520,5
10	0	0	0	0	44681	84067	7561	17370	1562,3
11	1	346	0	0	346	400	36	108	9,7
		123805	0	0	218248	184117	16560	88302,5	7604

Tabelle 15: Berechnungstabelle Variante Verschattung

Komponent	Ersatzhäufigkeit	Barwert der Ersatzinvestition			Barwert des Restwertes	Summe der Barwerte	Summe der Barwerte * a	Barwert der Instandhaltungskosten	Annuität der Instandhaltung
		A ₁	A ₂	A ₃					
Nr.	n	A ₁	A ₂	A ₃	R _w		A _{NK}		A _{IN}
1	1	19378	0	0	19378	22400	2015	10577	951,3
2	0	61556	0	0	93616	42619	3833	20151	1812,4
3	0	0	0	0	521	979	88	202	18,2
4	0	3608	0	0	5487	2498	225	591	53,1
5	1	2270	0	0	3761	1009	91	675	60,7
6	1	173	0	0	173	200	18	54	4,9
7	1	1362	0	0	2256	605	54	2428	218,4
8	1	908	0	0	1504	404	36	1619	145,6
9	0	618	0	0	940	428	38	20664	1520,5
10	0	0	0	0	115295	186727	16794	81495	7329,8
11	1	346	0	0	346	400	36	108	9,7
		90219	0	0	243277	258269	23229	138597,0	12124

Tabelle 15: Berechnungstabelle Variante Fenster

In der Tabelle kann man zunächst die Nummer der Komponenten sehen, sowie ihre Ersatzhäufigkeit.

Mit Hilfe dieser kann man die Barwerte der Ersatzinvestitionen bestimmen, in diesem Fall maximal eine.

Im Anschluss sieht man den Restwert der Komponenten nach dem Betrachtungszeitraum. Damit kann die Summe der Barwerte, sowie die Annuität berechnet werden. Das gleiche Verfahren erfolgt bei den Instandhaltungskosten, um die Annuität dieser zu berechnen.

Zum Schluss wird noch die Annuität der verbrauchsgebunden Kosten berechnet.

$$A_{NV} = A_{V1} * a$$

Im Anschluss werden die Einzelannuitäten zusammengerechnet, um die Gesamtannuität zu erhalten. Dabei ist zu beachten, dass es keine Erlöse und sonstige Kosten in der Berechnung gibt, weswegen die beiden Werte null sind.

Annuität		Verschattung	Fenster
kapitalgebundene	A_{NK}	16560	23229
verbrauchsgebundene	A_{NV}	2932	1866
betriebsgebundene	A_{NB}	9227	14712
sonstige	A_{NS}	0	0
Erlöse	A_{ER}	0	0
Gesamtannuität	A_N	-28718	-39807

Tabelle 16: Annuitätenberechnung

Da beide Varianten keine Erlöse erzielen sind die Annuitäten negativ. In diesem Fall ist die Anlage mit größerer Annuität wirtschaftlicher, da im Betrachtungszeitraum weniger Kosten anfallen.

In diesem Fall ist also die Variante mit der Verschattung mit einer Annuität von -28718 wirtschaftlicher, als die Fenstervariante mit -39807. Grund dafür ist, dass die Anschaffungskosten und die Instandhaltungskosten geringer sind. Lediglich bei den verbrauchsgebunden Kosten scheidet die Verschattungsvariante schlechter ab.

Auswertung

Beide Varianten erfüllen ihren Zweck, sie sorgen dafür, dass die Innentemperatur in den Gemeinschaftsbereichen im Sommer behaglich bleibt.

Wie sich in der Wirtschaftlichkeitsberechnung gezeigt hat, ist die Variante mit der Außenverschattung wirtschaftlicher, doch sie bringt auch andere Vorteile mit sich.

Bei einer Außenverschattung kann ein separates Gestell gebaut werden, welches die Konstruktion eigenständig trägt. Außerdem sind die Wartungs- und Instandhaltungskosten der Konstruktion gering, da es keine beweglichen Teile gibt, die unter Verschleiß leiden. Außerdem kann eine Außenverschattung ein optisches Stilelement sein, welche die Optik des Gebäudes aufwertet.

Ein Nachteil der Konstruktion ist die Einschränkung der Sicht, welche je nach Position und Größe einer Person unterschiedlich ausfallen kann. Jedoch wurde dafür ein großer Abstand zwischen den Lamellen gewählt, um die Einschränkung möglichst gering zu halten.

Außerdem ist der Effekt der Verschattung geringer als die der Fenster, weshalb eine größere Kühldeckenfläche, als auch Kühlleistung benötigt wird. Die resultiert auch in einem höheren Strombedarf.

Doch auch die dimmbaren Fenster haben Vor- und Nachteile. Die Fenster sind dimmbar, sowohl manuell als auch automatisch. Sie verdunkeln nur leicht die Sicht nach draußen, jedoch kann dies auch von einigen Menschen als unangenehm empfunden werden.

Ein weiterer Vorteil ist die Effektivität der Fenster, welche im Vergleich zur Verschattung höher ist, der Grund hierfür liegt vermutlich darin, dass sie auch das Lichtband mit abdecken können.

Nachteile der Fenster sind offensichtlich die niedrigere Wirtschaftlichkeit durch die enorm hohen Anschaffungskosten.

Zusammenfassung

Die Pflegeeinrichtung Jöbnitz besitzt große offene Flur und Gemeinschaftsbereiche. Diese besitzen große Fensterflächen, die einen schönen Blick nach draußen gewähren. Jedoch sorgen diese auch für enorm hohe Temperaturen im Sommer.

Aus diesem Grund wurde zunächst im Rahmen einer Studienarbeit ein Kühllastberechnung erstellt, um den IST- Zustand aufzunehmen. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde die Simulation noch einmal überarbeitet und verfeinert. Auf Grundlage dieser Arbeit wurden technische Lösungen simuliert und betrachtet.

Auf der einen Seite eine Variante mit Festen horizontalen Lamellen. Diese sollen die Fenster im Sommer verschatten, um so die einfallende Strahlung zu verkleinern. Jedoch reicht dies allein nicht um das Temperaturziel von 28 °C zu erreichen. Deswegen wird außerdem ein Kühldecke mit entsprechender Kühlleistung ausgelegt, um die Räumlichkeiten zu kühlen.

Die zweite Variante ist ein dimmbares Sonnenschutzglas von Econtrol, dieses passt sich je nach Einstrahlung an und mindert dadurch den Strahlungsdurchlass. Jedoch kann auch das Glas allein die Räume nicht auf die gewünschte Temperatur kühlen, weshalb auch ein eine Kühldecke installiert werden muss.

Im Anschluss werden beide Varianten im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht. Die geschieht mit Hilfe des Annuitätenverfahren laut VDI 2067.

Hier stellt sich heraus, dass die Variant mit der Außenverschattung besser abschneidet. Grund dafür sind die geringeren Investitionskosten, sowie Instandhaltungskosten.

Im Punkt Verbrauchsgebundene Kosten kann die Fenstervariante glänzen.

Jedoch hat die Fenstervariante einen anderen Vorteil, die Sicht wird dadurch kaum beeinflusst, zwar wurden bei den Lamellen auch große Abstände gewählt, um dies zu gewährleisten. Trotzdem wird die Sicht durch die Verschattung beeinträchtigt.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen:

Abbildung 1: Wohnungen SBW Jöbnitz Quelle: Holger Geipel.....	8
Abbildung 2: Flur Nord Quelle: Uwe Hergert	9
Abbildung 3: Speisesaal Quelle: Uwe Hergert	9
Abbildung 4: Flur Süd Quelle: Lukas Kussmann.....	10
Abbildung 5: Behaglichkeitsfeld Raumlufffeuchte – Raumlufftemperatur. Quelle: Frank W. (1975), Berichte aus der Bauforschung – Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn.....	13
Abbildung 6: Messwerte - Vergleich Flur Nord/Süd	14
Abbildung 7: Temperaturdiagramm.....	16
Abbildung 8 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren FC von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2013)	18
Abbildung 9: Berechnung Lamellenlänge.....	20
Abbildung 10: Kühllast CDD Flur Nord.....	22
Abbildung 11: Kühllast CDD Speisesaal.....	22
Abbildung 12: Kühllast CDD Aufenthalt UG.....	23
Abbildung 13: Econtrol Glas – Innenansicht, exclusive-bauen-wohnen.de.....	25
Abbildung 14: Flur Nord Kühllast - Zweifachverglasung	28
Abbildung 15: Flur Mitte Kühllast - Zweifachverglasung	28
Abbildung 16: Flur Süd Kühllast - Zweifachverglasung.....	29
Abbildung 17: Kühllast Speisesaal - Zweifachverglasung.....	29
Abbildung 18: Kühllast Aufenthalt UG - Zweifachverglasung	30
Abbildung 19: Kühllast am CDD.....	31

Tabellen:

Tabelle 1: Vergleich Simulation Neu/Alt	13
Tabelle 2: Verschattung Lamellenberechnung.....	20
Tabelle 3: Schatten Zeiträume, laut Sonnenstand am 15. des jeweilige Monats. Quelle: Internetseite sonnenstand.de.....	21
Tabelle 4: Simulationsergebnisse Variante Verschattung.....	21
Tabelle 5: Berechnung Kühlfläche Var. Verschattung.....	23
Tabelle 6 Econtrol smart Glas Werte Quelle: Glasbau König – Webseite	26
Tabelle 7: Simulationsergebnisse Econtrol Zweifachverglasung.....	27
Tabelle 8: Simulationsergebnisse Econtrol dreifach Verglasung	27
Tabelle 9: Berechnung Kühlfläche Var. Zweifachverglasung	30
Tabelle 10: Anschaffungskosten, Nutzungsdauer, Instandhaltungskosten, Wartungskosten - Variante Verschattung, Quelle 14, 16, 17, 18.....	32
Tabelle 11: Anschaffungskosten, Nutzungsdauer, Instandhaltungskosten, Wartungskosten - Variante Fenster, Quelle 14, 16, 17, 18.....	32
Tabelle 12: Annuitätsfaktor	33
Tabelle 13: Energiekostenberechnung Variante Fenster/Verschattung	33
Tabelle 14: Preissteigerungen Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	33
Tabelle 15: Berechnungstabelle Variante Verschattung	35
Tabelle 16: Annuitätenberechnung	36

Formelverzeichnis

$$l_{\text{Schatten}} = \cos \alpha * \frac{l_{\text{Lamelle}}}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta \dots\dots\dots (2)$$

$$n_{\text{Lamellen}} = \frac{5}{l_{\text{Schatten}}} \dots\dots\dots (3)$$

$$A_{\text{Decke}} = \frac{Q_{\text{Kühl}}}{P_{\text{Kühl}}} \dots\dots\dots (4)$$

$$a = \frac{(1+i)^{n \cdot i}}{(1+i)^{n-1}} \dots\dots\dots (5)$$

$$A_{V1} = \frac{Q_{\text{Kälte}}}{3} * \text{Preis} \dots\dots\dots (6)$$

$$A_n = A_0 * \frac{r^{n \cdot T_N}}{q^{n \cdot T_N}} \dots\dots\dots (7)$$

$$R_W = A_0 * r^{n \cdot T_n} * \frac{(n+a) \cdot T_N - T}{T_N} \dots\dots\dots (8)$$

$$R_{\text{Summe}} = A_0 + A_1 + A_2 \dots + A_N - R_W \dots\dots\dots (9)$$

$$A_{NK} = R_{\text{Summe}} * a \dots\dots\dots (10)$$

$$B_{IN} = f_k * A_0 * b_{IN} \dots\dots\dots (11)$$

$$A_{IN} = B_{IN} * a \dots\dots\dots (12)$$

Literatur- und Quellenverzeichnis

1. <https://www.solar-computer.de/index.php?seite=unternehmen&sub=firmenprofil>, 07.05.2021 13.00Uhr
2. [http://www.bosy-online.de/Richtig_lueften.htm#:~:text=der%20L%C3%BCftungsart%20k%C3%B6nnen%20mit%20einer,0%20bis%200%2C3%20h&text=Fenster%20gekippt%20\(Spaltl%C3%BCftung\)%20%3E%200,3%20bis%201%2C5%20h&text=Gegen%C3%BCberliegende%20Fenster%20und%20T%C3%BCren%20st%C3%A4ndig%20ge%C3%B6ffnet%20\(Querl%C3%BCftung\)%20%3E%20bis%2040%20h](http://www.bosy-online.de/Richtig_lueften.htm#:~:text=der%20L%C3%BCftungsart%20k%C3%B6nnen%20mit%20einer,0%20bis%200%2C3%20h&text=Fenster%20gekippt%20(Spaltl%C3%BCftung)%20%3E%200,3%20bis%201%2C5%20h&text=Gegen%C3%BCberliegende%20Fenster%20und%20T%C3%BCren%20st%C3%A4ndig%20ge%C3%B6ffnet%20(Querl%C3%BCftung)%20%3E%20bis%2040%20h), 08.05.2021 10.27Uhr
3. Abbildung 5: Frank W. (1975), Berichte aus der Bauforschung – Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn.
Kopie von: <https://enbau-online.ch/bautechnik-der-gebaeudehuelle/2-1%E2%80%82behaglichkeit/>, 08.05.2021 11.33Uhr
4. Luftwechselraten: https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf_d_F_2425.pdf, 08.05.2021 11.40Uhr
5. Abbildung 1: Foto: Holger Geipel 1.10.2020
6. Abbildung 2, Abbildung 3: Foto: Uwe Hergert
7. <https://www.wetter.de/cms/klimawandel-die-10-heissesten-sommer-in-deutschland-4571689.html>, 11.05.2021 8.52Uhr
8. <https://www.glasbau-koenig.de/spezialgl%C3%A4ser/econtrol-glas/>, 7.06.2021 12:57Uhr
9. <https://www.wetteronline.de/wetterdaten/joessnitz>, 28.6.2021
10. Formel (1) <http://www.geoastro.de/astro/mittag/index.htm>, 28.6.2021 14:11Uhr
11. <https://de.wikipedia.org/wiki/J%C3%B6nitz>, 28.6.2021 14:12Uhr
12. Messdaten Temperatur: Uwe Hergert
13. <https://welt-der-bwl.de/Annuit%C3%A4t>, Annuitätfaktor, 08.08.2021 7:53Uhr
14. VDI 2076, September 2012
15. DIN 4108 -2, Februar 2013
16. Preise Wirtschaftlichkeit: Prof. Reichel, Kühlgerät, Lamellenverschattung
17. Preise Wirtschaftlichkeit: Michael Franz (Econtrol), Fenster
18. <https://www.andries24.de/>, 06.08.2021, 13:21Uhr
19. <https://rumpfinger-fenster.de/blog/wann-ein-fenster-sanierungsbeduerftig-wird/>, 06.08.2021, 13:45Uhr
20. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/klimafreundliche_gebaeudeklimatisierung.pdf, 1.8.2021, 18:36 Uhr - Volllaststunden
21. <https://www.exclusive-bauen-wohnen.at/b2b-econtrol-glas-sonnenschutz-mit-dimmbarem-glas>, 08.08.2021, 8:06Uhr
22. <https://www.finanztip.de/stromvergleich/strompreis/>, 10.8.2021, 8:01 Uhr - Strompreis

23. https://www.lindner-group.com/de_DE/ausbauprodukte/heiz-und-kuehldecken/,
10.08.2021 10:19Uhr
24. Kühllast Diagramme – Simulation Solarcomputer
25. https://www.bhkw-infozentrum.de/richtlinien-normen-bhkw-kwk/vdi2067_uebersicht.html#:~:text=Die%20VDI%2D%20Richtlinie%202067%20mit,energetischen%20und%20monet%C3%A4ren%20Bewertung%20geboten.,
11.08.21 12:37Uhr
26. <https://www.baulinks.de/webplugin/2020/1845.php4>, 11.08.21, 12:39Uhr
27. <https://www.testo.com/de-DE/>, - Messdaten Auswertung 19.07.21 9:22Uhr