

Cooler Fenster

Fenster mit Beschattung im Spannungsfeld sommerliche
Überwärmung, Tageslicht, winterlicher Wärmeschutz in der Klimakrise

C. Leh, V. Stiegler, R. Wolffhardt,
S. Vavrik-Kirchsteiger,
J. Bachinger, H. Ferk,
P. Schober, B. Nusser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

68/2023

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

DIⁱⁿ Vera Stiegler, Ing. Rupert Wolffhardt, Dr.ⁱⁿ Julia Bachinger, Dipl.-HTL-Ing. Peter Schober,
Dr. Bernd Nusser (Holzforschung Austria – Österreichische Gesellschaft für Holzforschung)
DI Christopher Leh, DI Selina Vavrik-Kirchsteiger, DI Heinz Ferk (Technische Universität Graz - Labor
für Bauphysik)

Wien, 2023

Cooler Fenster

Fenster mit Beschattung im Spannungsfeld sommerliche Überwärmung,
Tageslicht, winterlicher Wärmeschutz in der Klimakrise

DIⁱⁿ Vera Stiegler, Ing. Rupert Wolffhardt, Dr.ⁱⁿ Julia Bachinger, Dipl.-HTL-Ing. Peter Schober,
Dr. Bernd Nusser

Holzforschung Austria – Österreichische Gesellschaft für Holzforschung

DI Christopher Leh, DI Selina Vavrik-Kirchsteiger, DI Heinz Ferk
Technische Universität Graz - Labor für Bauphysik

Wien und Graz, November 2022

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMK publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract	10
3	Ausgangslage	12
4	Projekthalt	16
4.1.	Allgemeine Beschreibung der Vorgehensweise	16
4.2.	Vorstudie - Haustechnikelement Coole Fenster	39
4.3.	Hauptstudie - Wirkung Haustechnikelement Coole Fenster im Wohnungsverband	42
4.3.1.	Klimamodell	42
4.3.2.	Raummodell.....	44
4.3.3.	Simulationsgrundlagen und weitere Randbedingungen	47
4.3.4.	Optimierung – Allgemeines	51
4.3.5.	Optimierung nach Komfort und Beleuchtung	52
4.3.6.	Optimierung nach Kühlenergiebedarf und Beleuchtung.....	54
4.3.7.	Einsatz von Sonnenschutz als zusätzliche Dämmschicht im Winterfall bzw. in der Übergangszeit	55
4.4.	Weiterführende Interpretations- und Prognosemöglichkeiten.....	56
4.4.1.	Regressionsmodell.....	56
4.4.2.	Einflussmatrix.....	58
4.4.3.	Prognosemöglichkeit	59
5	Ergebnisse	60
5.1.	Vorstudie - Haustechnikelement Coole Fenster	60
5.2.	Hauptstudie - Wirkung Haustechnikelement Coole Fenster im Wohnungsverband	68
5.2.1.	Simulation mit DesignBuilder	68
5.2.2.	Ergebnisse nach Optimierung.....	72
5.2.3.	Einsatz von Sonnenschutz als zusätzliche Dämmschicht im Winterfall bzw. in der Übergangszeit	101
5.3.	Weiterführende Interpretations- und Prognosemöglichkeiten.....	104
5.3.1.	Regressionsmodell.....	104
5.3.2.	Einflussmatrizen.....	108
5.3.3.	Prognosemöglichkeit	125
5.4.	Forschungsfragen.....	130
5.4.1.	Optimierung Tageslicht.....	130
5.4.2.	Optimierung Sommer / Winter / Übergangszeit	135
5.4.3.	Energieeinsparung durch innovativen Sonnenschutz bzw. innovative Beschattung	137
6	Schlussfolgerungen	141

7	Ausblick und Empfehlungen	144
8	Verzeichnisse	145
9	Anhang	158
9.1.	Data Management Plan (DMP)	158
9.2.	Klimadaten	160
9.3.	Einflussmatrizen.....	162
9.4.	Merkblatt	180

1 Kurzfassung

Die Klimakrise ist allgegenwärtig und nach aktuellem Wissenstand nicht mehr aufzuhalten. Schon jetzt gibt es gerade im dicht verbauten, urbanen Raum eine spürbare Zunahme heißer Tage mit Temperaturen über 30 °C mit darauffolgenden Tropennächten. Solche physiologisch ungeeigneten klimatischen Verhältnisse haben eine negative Auswirkung auf Gesundheit und Behaglichkeit der Nutzer*innen von Wohngebäuden. Gleichzeitig ist sogar unter den ungünstigsten klimatischen Zukunftsszenarien in der Winterzeit nach wie vor mit einer ausgeprägten Heizperiode zu rechnen. Im Gegensatz zum winterlichen Wärmeschutz ist der Sommerfall erst im letzten Jahrzehnt vermehrt in den Fokus gerückt. Häufig wird darauf unter hohem Energieeinsatz mit der Verwendung von Kleinklimageräten mit schlechtem Wirkungsgrad reagiert. Dem gegenüber steht das große Potential des außenliegenden Sonnenschutzes, um sommerliche Überhitzung im Innenraum möglichst zu reduzieren.

Bei Untersuchungen von Sonnenschutz und Fenster wurde der Hauptfokus bisher meist entweder auf den Schutz vor sommerlicher Überwärmung oder den winterlichen Wärmeschutz gelegt. Diese einseitige Betrachtung ist jedoch problematisch, da beide Fälle gegenläufige Anforderungen an das Fenster stellen. Zudem wird die Tageslichtverfügbarkeit meist nicht mitberücksichtigt.

Daher sollten in diesem Projekt das Fenster und seine Zusatzkomponenten wie Sonnenschutz oder Blendschutz erstmals **ganzheitlich als Haustechnik-Element „Cooles Fenster“** im Wohnbau verstanden werden, das zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen hat. Folglich zielte das vorliegende Projekt darauf ab, die Aspekte Sonnenschutz, Tageslichtversorgung, Blendschutz, Steuerung, Lüftung und Energieeinsparung (Heiz- und ggf. Kühlfall) stets integrativ ganzjährig zu betrachten und im Kontext der zunehmenden Problematik der urbanen Hitzeinseln zu untersuchen.

Aufbauend auf diesen Analysen sollten in weiterer Folge die einzelnen Komponenten des passiven Haustechnikelementes „Cooles Fenster“ und deren Zusammenspiel ganzheitlich optimiert werden sowie Lösungskonzepte für das Haustechnikelement „Cooles Fenster“ ausgearbeitet werden, um im urbanen Wohnbau unter künftigen Klimabedingungen ein physiologisch geeignetes Wohnraumklima möglichst ohne den Einsatz aktiver Kühlung sicherstellen zu können. Diese umfassen Konzepte für ein jahreszeitenabhängig optimiertes Solar- und Tageslichtmanagement mit dazugehöriger Steuerung bei möglichst reduziertem Energieeinsatz und somit geringen CO₂-Emissionen, welche für weiterführende FEI-Projekte und Entwicklungen als Basis dienen können.

Zur Projektumsetzung wurde die im Folgenden beschriebene methodische Vorgehensweise gewählt. Zur Optimierung der „Coolen Fenster“ wurde unter Zugrundelegung eines innerstädtischen Prognoseklimadatensatzes für Wien im Jahr 2050 eine Referenzwohnung mittels Gebäudesimulation untersucht und vier Zielgrößen beurteilt: Tageslichtversorgung, Heiz- und Kühlbedarf sowie thermischer Komfort. Diese werden durch zahlreiche Parameter beeinflusst (Ausrichtung, Bauweise, Fenstergröße, Verglasungseigenschaften, bauliche Verschattung, bewegliche Beschattung, Lüftungseigenschaften, Nutzerverhalten, Standort etc.), die selbst bei grober Abstufung eine ausufernd hohe Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten ergeben.

In einem ersten Schritt erfolgte daher im Zuge der KickOff-Veranstaltung gemeinsam mit den Projektpartnern eine Eingrenzung der möglichen Parameter, die in Folge durch eine Vorstudie mit vereinfachtem Simulationsmodell und Sondierberechnungen weiter reduziert wurden. Ebenso wurde festgelegt, dass die Ergebnisse der Varianten mit jenen zweier Basisvarianten verglichen werden sollten, einer in Bezug auf Heiz- und Kühlbedarf schlechten, aber im Gebäudebestand durchaus vorhandenen Variante („Worst Case“) und einer mit heute üblicher Bauweise im Sanierungsfall („Standardausführung“).

Aufbauend auf dieser Eingrenzung der Parameter wurde mit dem Programm „DesignBuilder,“ das auf den Berechnungsmodellen des state-of-the-art Simulationstools „EnergyPlus™“ basiert, eine Simulationsstudie durchgeführt. Hierfür wurde das programminterne Optimierungstool genutzt, um für die Minimierung der konfliktären Zielgrößen „Anzahl unkomfortabler Stunden/Beleuchtungsenergiebedarf“ und „Kühlenergiebedarf/Beleuchtungsenergiebedarf“ geeignete Parameterkombinationen zu finden, bei gleichzeitiger Begrenzung des zulässigen Heizenergiebedarfs und unter Zugrundelegung verschiedener Steuerungsvarianten für die Beschattung und Lüftung.

In Ergänzung dazu, wurden auf Basis der Ergebnisse der über zwölftausend durchgeführten Gebäudesimulationen Regressionsmodelle und Einflussmatrizen erstellt, mit deren Hilfe die Zusammenhänge zwischen den veränderlichen Parametern und den von diesen abhängigen Zielgrößen abschätzbar gemacht werden konnten.

Aus diesen detaillierten Analysen konnten grundlegende Erkenntnisse zu den Auswirkungen der Eigenschaften des Fensters sowie dessen Beschattung auf die zugehörige Wohneinheit abgeleitet werden. Diese Erkenntnisse werden als Empfehlungen für Hersteller, Planer und Konsumenten in einem Merkblatt in Form von „**10 goldenen Regeln**“ vereinfacht zusammengefasst.

Die Auswertung der Simulationsergebnisse zeigte auch, dass allgemeingültige Aussagen zu isolierten Eigenschaften, aufgrund der komplexen Interaktion der vielfältigen Einflussparameter, nur begrenzt gültig sein können. Die multiplen Zusammenhänge der unterschiedlichsten Einflussparameterkombinationen sind in den Einflussmatrizen, welche mittels einer multilinenaren Regression erstellt wurden und eine Quantifizierung der jeweiligen Parameter ermöglichen, ersichtlich. Eine zielsichere, an die projektspezifischen Randbedingungen angepasste Auswahl an aufeinander abgestimmten Produktparametern von Fenstern und Beschattungen ist daher für optimale Ergebnisse erforderlich. Im Zuge dieses Sondierungsprojektes konnte die Grundlage gelegt werden, um für diese Aufgabe ein einfach zu bedienendes **Prognosetool** erstellen zu können. Mit dessen Hilfe soll es möglich werden, das Produkt „Cooles Fenster“ für optimale Ergebnisse in Hinblick auf eine Reduktion des Heizenergie- und des Kühlenergiebedarfs, unter zeitgleicher Berücksichtigung einer guten Tageslichtverfügbarkeit individuell zu optimieren.

2 Abstract

The climate crisis is omnipresent and, based on current knowledge, can no longer be stopped. Even now, especially in densely built-up urban areas, there is a noticeable increase in hot days with temperatures above 30 °C, followed by so called “tropical nights”. Physiologically unsuitable climatic conditions such as these have a negative effect on the health and comfort of residential dwellers. At the same time, a pronounced heating period can still be expected in winter even under the most unfavourable projections of global warming. While thermal protection during the cold period has been the focus for a long time, protection against overheating during summer has only come to attention during the past decade. In many cases this is counteracted by using small air conditioning units with poor energy efficiency. On the other hand, there is the great potential of external sunblinds in order to reduce interior overheating during summer as much as possible.

In previous research concerning sunblinds and windows, the focus has so far mostly been placed either on protection against overheating in summer or on thermal protection during winter. However, this one-sided view is problematic, since the two cases place opposing demands on the window. In addition, daylighting is usually not considered.

Therefore, in this project, the window and its additional components (sunblinds, etc.) were, for the first time, understood as a holistic building equipment unit that optimally meets the respective requirements of the annual seasons as well as the requirements in the course of a day.

To this end, the aspects of sun protection, daylight supply, glare protection, control algorithms, ventilation and energy saving (heating and, if necessary, cooling) were to be integratively analysed in the course of a year while at the same time being examined in the context of the ever rising problems of urban heat islands.

Based on these analyses the components of the passive building equipment unit “Cooles Fenster” and their interaction were to be optimised with an end-to-end approach. Furthermore, implementation concepts for the building equipment unit “Cooles Fenster” were to be conceived in order to achieve a physiologically suitable ambient indoor climate in urban housing under future climate conditions, if possible, without use of active cooling.

These include concepts for seasonally optimized solar and daylight management with associated controls that allow for the lowest possible use of energy and thus low CO₂ emissions and consequently can serve as a basis for further RDI projects and developments.

The methodical procedure described below was chosen for the implementation of the project. In order to optimize “Cooles Fenster” units, a reference apartment was examined with a prognosticated inner-city climate data set for Vienna in 2050 applied as climatic boundary conditions using building simulation software and four target values were assessed: daylight supply, heating and cooling requirements and thermal comfort. These are influenced by numerous parameters (orientation, construction method, window size, glazing properties, structural shading, movable shading, ventilation properties, user behaviour, location, etc.), which, even with rough grading, result in an excessively high number of possible combinations.

As a first step, the possible parameters were narrowed down by deliberating with the project partners during the kick-off event. Following that, the parameters were further reduced by a preliminary study with a simplified simulation model and exploratory calculations. It was also defined that the results of the remaining variants should be compared with those of two basic variants, one that performs poorly in terms of heating and cooling requirements but is certainly present in the building stock ("worst case") and one with a performance that is common today in refurbished buildings ("standard version").

Based on this limitation of parameters, a simulation study was carried out using the building simulation software "DesignBuilder", which is based on the calculation models of the state-of-the-art simulation tool "EnergyPlus™". A software-implemented optimization tool was used in order to find suitable parameter combinations for minimizing the conflicting target values "number of uncomfortable hours" vs. "lighting energy requirement" and "cooling energy requirement" vs "lighting energy requirement", while at the same time limiting the permissible heating energy requirements. This simulation procedure was carried out several times taking different control variants for shading and ventilation into account.

In addition, based on the results of more than twelve thousand building simulations, regression models and matrices of parameter impact were created. With the help of these the dependencies between the variable parameters and their relation to the target variables could be estimated.

Fundamental insights into the effects of the windows properties and its shading on the associated residential unit were derived from these detailed analyses. These findings are summarized in simplified form as recommendations for manufacturers, planners and consumers in a leaflet as "10 golden rules".

The evaluation of the simulation results also showed that general statements about isolated properties can only be valid to a limited extent due to the complex interaction of the various influencing parameters. The multiple interdependencies of the diverse influencing parameter combinations are visualised in matrices of parameter impact, which were created by means of a multilinear regression and allow for a quantification of the respective parameters impact. An unerring selection of well-balanced product parameters for windows and shading, adapted to the project specifics is therefore necessary for optimal results. Within the scope of this exploratory project the groundwork for the creation of an easy-to-use forecasting tool for this task was laid. With such a tools help, it will be possible to individually optimise "Coole Fenster" units for optimal results with regarding a reduction in heating and cooling energy requirements, while at the same time considering good daylight availability.

3 Ausgangslage

Durch den Klimawandel kommt es bereits jetzt zu einem merklichen Anstieg der Außenlufttemperatur. Vor allem in den Sommermonaten ist dieser Trend deutlich spürbar und es wird vielfach erwartet, dass sich dieser in den kommenden Jahrzehnten noch verstärken wird, ebenso dass dann die Anzahl der Tropennächte noch steigen wird [1] [2] [3] [4]. Für Wien wird ein Anstieg der Maximaltemperatur im heißesten Monat um 7,6 K vorhergesagt (Abbildung 1, [5]).

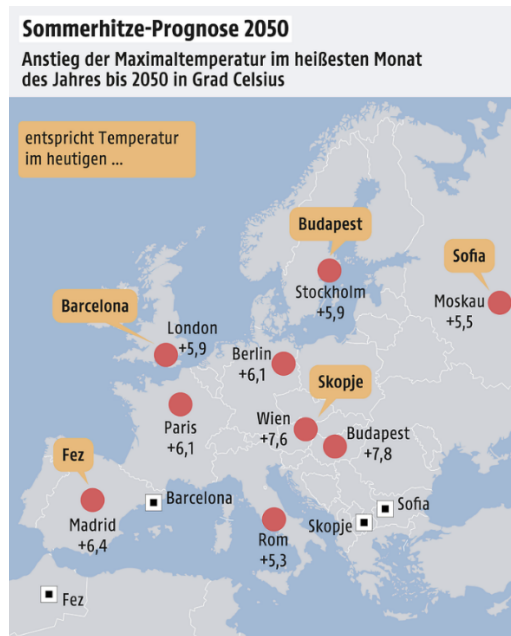


Abbildung 1: Prognose des Anstieges der Maximaltemperatur im heißesten Monat bis zum Jahr 2050 [5]

Eine erwartbare Folge der Klimakrise stellen häufiger von Überhitzung bedrohte Innenräume dar, die unter anderem vor allem eine hohe Belastung für den menschlichen Organismus mit allen damit verbundenen gesundheitlichen Problemen mit sich bringen. Gerade die vulnerabelsten Bevölkerungsgruppen, namentlich ältere Menschen und Kinder, sind von diesem Szenario besonders bedroht.

Aufgrund der Tropennächte entfällt besonders in bestimmten städtischen Bereichen der Kühleffekt durch nächtliche, kühlungswirksame Lüftung. Um die Wärmelast zu reduzieren und den Temperaturanstieg im Gebäudeinneren zu dämpfen, wird vor allem der außenliegende Sonnenschutz eine Rolle spielen, und dort, wo es ohne maschinelle Kühlung nicht mehr geht, wird richtig geregelter Sonnenschutz zur Reduktion der erforderlichen Kühlenergie besonders wichtig. Dabei ist dieser Bedarf sowohl im Neubau als auch im Bestand gegeben. Gerade bei Letzterem existiert ein nicht unerheblicher Anteil an Gebäuden, die für kühlere Klimate geplant wurden, jedoch nicht über die immensen Speichermassen des Altbaus verfügen und die daher von einer gut geplanten Solar- und Tageslichtmanagementlösung stark profitieren würden.

Die Installation eines Kühlgerätes wird häufig aufgrund geringer Investitionskosten und rascher Aufstellmöglichkeit bevorzugt. Dabei werden die langfristigen Auswirkungen auf Energieverbrauch und -Kosten außer Acht gelassen. Besonders rasch verfügbare, billige Kleinklimageräte weisen oft schlechte Wirkungsgrade auf und tragen zu weiterer umwelt- und ressourcenschädlicher Vermehrung von Geräte- und Elektronikmüll bei. Dazu wird gerade dann elektrische Energie gebraucht, wenn auch gleichzeitig andere Verbraucher in der Mittagszeit wirksam sind. Insbesondere im hochverdichteten, urbanen Raum kommen durch diese Geräte weitere Probleme hinzu, welche hier auf engem Raum auf ein hohes Niveau skaliert werden: Der Betrieb der Kühlgeräte erzeugt eine nicht unerhebliche Abwärme, die eine Temperaturerhöhung in der näheren Umgebung bewirkt und die Außentemperatur weiter aufheizt. So wurde beispielsweise im Rahmen einer Studie der Arizona State University [6] für eine zehntägige Hitzeperiode in 2009 in Phönix, Arizona, eine Erhöhung der Temperatur in der Stadt durch die Klimaanlage um 1°C errechnet. Forscher des Rocky Mountain Institute im US-Bundesstaat Colorado gehen davon aus, dass allein Klimaanlage in Wohnräumen die Erde bis ins Jahr 2100 um 0,5°C erwärmen werden [7]. Die IEA geht in einem Bericht [8] davon aus, dass sich der Stromverbrauch durch Kühlung bis 2050 verdreifachen wird.

Hinzu kommt noch die Lärmentwicklung der Geräte, die gerade nachts einem erholsamen Schlaf ebenso entgegenwirkt wie physiologisch ungeeignet hohe Temperaturen, weshalb beides als gesundheitsgefährdend einzustufen ist.

Dem gegenüber steht das große Potential des außenliegenden Sonnenschutzes, um den Energieeintrag durch Sonnenstrahlung möglichst weitgehend zu reduzieren und somit wirkungsvoll dazu beizutragen, sommerliche Überhitzung im Innenraum zu vermeiden: Hier kommt es zu keinem oder ggf. nur einem vernachlässigbaren Energieverbrauch für eine Steuerung, zu keiner Temperaturerhöhung in der Umgebung und zu keiner Lärmentwicklung. Schon mit den heute verfügbaren Verglasungen und Sonnenschutzeinrichtungen und mit einer durchdachten Planung, kann wesentlich zu einem angenehmen Innenraumklima beigetragen werden.

Es zeigt sich allerdings in bisherigen Studien wie etwa [9], [10] und auch in der Praxis, dass hinsichtlich des Solar- und Tageslichtmanagements in folgenden Bereichen Optimierungsbedarf besteht, wobei dies, wie in [1], [2], [3], [4], [5] veranschaulicht, insbesondere für dichtverbaute innerstädtische Quartiere Gültigkeit hat:

- Eine nutzungsbedingte und vor allem nutzungsgerechte Abstimmung des Tageslichteinfalls und der Tageslichtintensität sowie der Sichtbezüge nach außen, bei gleichzeitiger möglichst wirksamer Abschattung solarer Wärmestrahlung, ist mit heute üblichen Mitteln nur eingeschränkt möglich. Auch starre Verschattungen oder Sonnenschutzverglasungen können zu Tagesrandzeiten bzw. in der dunkleren Jahreszeit bei trüber Witterung problematisch hinsichtlich der Tageslichtversorgung sein. Eine mangelhafte Tageslichtversorgung führt jedoch zur vermehrten Nutzung künstlicher Belichtung und somit höherem Energieverbrauch. Zudem kommen hierbei gesundheitliche Aspekte ins Spiel.
- Die heute üblichen einfachen Sensor-basierten Steuerungen für Sonnenschutzeinrichtungen sind nicht in der Lage, Komfort- und Energieeinsparungspotentiale, insbesondere unter Berücksichtigung des Tageslichtbedarfs und der Lüftung, optimal auszunützen (siehe auch [11]). Daher besteht ein Bedarf, Möglichkeiten für neue und bessere, integrative Ansätze für Steuerungsalgorithmen im Wohnbau auszuloten. Gerade ganzheitliche Betrachtungen, welche neben dem Sommerfall auch die diffizile Situation in der Übergangszeit (siehe auch

weiter unten) oder die Möglichkeit eines zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstandes durch die geschlossene Verschattung nachts während der kalten Jahreszeit berücksichtigen, fehlen.

- Selbst unter der ungünstigen Annahme für ein zukünftiges Klimaszenario entsprechend RCP 8.5 sind in der Winterzeit in unseren Breiten nach wie vor anhaltend niedrige Temperaturen zu erwarten, die eine entsprechende Heizperiode bedingen [9]. Dies bringt mit sich, dass das System Fenster/Sonnenschutz im Sommer und Winter im Grunde gegensätzliche Anforderungen zu erfüllen hat. Diese sind insbesondere in der Übergangszeit einem häufigen Wechsel in kurzer zeitlicher Abfolge unterworfen. Es besteht ein Optimierungsbedarf auf Basis dieser gesamtheitlichen Betrachtung, um eine höchstmögliche Variabilität des Fenstersystems und seiner Komponenten im Sinne der Nutzung und der Erfordernisse von Energieeinsparung und Klimawandel sicherstellen und somit die jahreszeitlich bedingt erwünschten Strahlungsaspekte bestmöglich ausschöpfen zu können.
- Hinzu kommt der Bedarf, die oben angeführten Aspekte unter Berücksichtigung der Lüftung und des Zusammenspiels unterschiedlicher Lüftungsszenarien zu betrachten, da einerseits mit der Lüftung Einfluss auf Raumtemperatur und Energiebedarf genommen werden kann, andererseits Bauteilkomponenten wie Sonnenschutz oder Insektenschutzgitter den Luftwechsel beeinflussen können.

Während außenliegender Sonnenschutz bei entsprechender Konzeption wirksam den Energieeintrag in die dahinterliegenden Räume weitgehend unterbinden kann, besteht zum einen das Problem, dass Sonnenschutz nur wirksam werden kann, wenn dieser auch richtig genutzt wird und andererseits, dass er nicht für andere Nutzungserfordernisse, wie Tageslicht und visuellen Kontakt mit der Umwelt nach außen, als hinderlich angesehen wird. Dies führt dann oft dazu, dass Sonnenschutz zeitlich nicht in ausreichendem Maß (zu spät, zu kurz oder gar nicht) verwendet wird, insbesondere auch, da das Problem besteht, dass das nicht-Verwenden oft erst dann als problematisch empfunden wird, wenn der Raum bereits überhitzt ist, und der Sonnenschutz in Folge oft als wenig wirksam empfunden wird. Oft wird auch, um den visuellen Kontakt mit der Umwelt zu ermöglichen, der Sonnenschutz in der heutigen Form nur teilweise oder halb heruntergelassen, und wirkt dadurch auch nur auf einer Teilfläche der Verglasung, mit vergleichbaren Folgen wie oben angeführt. Auf der anderen Seite wird – oft auch schon in der Planung – aus verschiedenen Gründen – darauf vergessen, dass Globalstrahlung auch die Nordseite von Gebäuden betrifft, und hier auf Sonnenschutz verzichtet. Wird hingegen eine Steuerung vorgesehen, wird aus Einsparungsgründen nicht individuell, nutzungsabhängig und auf Basis lokalisierter Parameter gesteuert, sondern vereinfacht in Gruppen, was ebenso zu mangelnder Akzeptanz und damit falscher Nutzung führen kann.

Darüber hinaus sind verschiedene zeitliche Komponenten als Szenarien für einen wirksamen Sonnenschutz zu berücksichtigen:

- Warme Jahreszeit mit Überhitzungspotenzial: Hier muss außenliegender Sonnenschutz Priorität haben, und das System Fenster/Beschattung sollte so gestaltet sein, dass die erforderliche Tageslichtnutzung bei Bedarf sichergestellt ist. Dabei ist es wesentlich, dass bereits bei niedriger Strahlungsleistung (Global/Direktstrahlung) der Sonnenschutz wirksam werden kann. Nach Absinken der Strahlungsleistung abends wiederum sollte der Sonnenschutz möglichst hochgefahren werden, um einerseits einen Strahlungsaustausch der Verglasungsfläche mit dem Nachthimmel zu ermöglichen, andererseits auch gegebenenfalls kühlungswirksame Nachtlüftung wirksam werden zu lassen.

- Kalte Jahreszeit mit Heizwärmebedarf: Hier muss – falls für die Sicherstellung des Blendschutzes oder der Privatsphäre erforderlich – ein innenliegender Blendschutz in der Nutzung Priorität haben, sofern Strahlungsleistung zur Verfügung steht. Dadurch kann im Sinne des Glashauseffektes die einfallende Strahlung im Raum für die Unterstützung der Raumerwärmung genutzt werden. Nachts hingegen muss der außenliegende Sonnenschutz im Sinne eines wirksamen Strahlungsschutzes möglichst aktiviert werden (im Sinne eines „Wärmedeckels“), wodurch die Randbedingungen für die wärmedämmende Verglasung verbessert werden. Im Idealfall könnte in dieser Stellung auch eine schallabsorbierende Funktion wirksam werden, sofern dies aufgrund des Lärmpegels außen relevant wäre.
- Übergangszeit: Dies ist – aus steuerungstechnischer und systemtechnischer Sicht – die aufwändigste Periode. Je nach Heizbedarf oder Kühlbedarf muss in Kombination mit der Tageszeit – im Idealfall prädiktiv mit dem erwarteten Wetter zumindest des folgenden Tages – die ideale Kombination der einzelnen Komponenten adaptiv angepasst und gesteuert werden, um einerseits gegebenenfalls vorhandene Einstrahlung als Unterstützung für die Raumerwärmung nutzen zu können, eine Überwärmung zu verhindern und gleichzeitig die erforderlichen Nutzungsbedingungen sicher zu stellen. Da die Raumerwärmung auch mit den klimatischen Verhältnissen der Tage davor und der vorhandenen speicherwirksamen Masse genauso zusammenhängt, wie mit dem Dämmniveau und der Belegung des betroffenen Raumes, aber auch den Lüftungsverhältnissen, stellt dieser komplexe Steuerungsfall die größte Herausforderung für ein innovatives integrales System Fenster/Beschattung/Lüftung/Raum/Gebäude und Nutzung dar. Im Idealfall wären hier selbstlernende Steuerungen in Form von KI, kombiniert mit entsprechenden technischen Systemen für Fenster und Beschattung auf Basis neuer architektonischer Lösungen anzudenken.

Heute werden die einzelnen Komponenten als „Einzelkomponenten“ verstanden, entwickelt und montiert, in der Regel manuell, gelegentlich auch durch eine einfache Steuerung aktiviert. Dass tatsächlich eine lokalisierte und nutzungsbezogene Steuerung eines für den spezifischen Fall optimierten Systems Fenster/Beschattung/Lüftung erfolgt, ist immer noch Science-Fiction – im Rahmen dieses Projektes sollen wichtige Erkenntnisse in diese Richtung erarbeitet werden.

Aus der obigen Darlegung von Problemstellung und Forschungsbedarf ergibt sich folglich die Notwendigkeit, die Bauteile „Fenster“ **und** „Beschattungseinrichtung“, sowie etwaiges sonstiges Zubehör als aufeinander abgestimmte, zusammengehörige Komponenten eines Haustechnikelementes integrativ zu verstehen und den erkennbaren Entwicklungsbedarf zu konkretisieren. Das gleiche Verständnis ist zukünftig auch für die Planung dieser Haustechnikelemente geboten. Daher kann für das gegenständliche Projekt folgendes übergeordnetes Ziel abgeleitet werden:

Ganzheitliche Optimierung der Komponenten des *passiven Haustechnikelementes* „Coole-Fenster“ und deren Zusammenspiel, um im urbanen Wohnbau unter künftigen Klimabedingungen ein physiologisch geeignetes Innenraumklima möglichst ohne den Einsatz aktiver Kühlung sicherstellen zu können.

4 Projektinhalt

4.1. Allgemeine Beschreibung der Vorgehensweise

Zur Optimierung der „Coolen Fenster“ wurde unter Zugrundelegung eines innerstädtischen Prognoseklimadatensatzes (RCP8.5) für Wien im Jahr 2050 eine Referenzwohnung mittels Gebäudesimulation untersucht und vier Zielgrößen beurteilt: Tageslichtversorgung, Heiz- und Kühlbedarf sowie thermischer Komfort. Diese werden durch zahlreiche Parameter beeinflusst (Ausrichtung, Bauweise, Fenstergröße, Verglasungseigenschaften, bauliche Verschattung, bewegliche Beschattung, Lüftungseigenschaften, Nutzerverhalten, Standort etc.), die selbst bei grober Abstufung eine ausufernd hohe Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten ergeben.

In einem ersten Schritt erfolgte daher im Zuge der KickOff-Veranstaltung gemeinsam mit den Projektpartnern eine Eingrenzung der möglichen Parameter, die in Folge durch eine Vorstudie mit vereinfachtem Simulationsmodell und Sondierberechnungen weiter reduziert werden sollten. Ebenso wurde festgelegt, dass die Ergebnisse der Varianten mit jenen zweier Basisvarianten verglichen werden sollten, einer in Bezug auf Heiz- und Kühlbedarf schlechten, aber im Gebäudebestand durchaus vorhandenen Variante („Worst Case“) und einer mit heute üblicher Bauweise im Sanierungsfall („Standardausführung“).

Das zur Simulationsstudie verwendete Programm „DesignBuilder“ ermöglicht eine detaillierte, instationäre Gebäudesimulation auf Basis der Berechnungsmodelle des state-of-the-art-Simulationstools „EnergyPlus™“ und bietet ein Optimierungsverfahren [12], das mittels eines genetischen Algorithmus optimale Kombinationen aus Variablen ermittelt, um zwei konfliktäre Zielgrößen zu minimieren oder zu maximieren. Zusätzlich können noch diverse Ausschlusskriterien wie etwa ein maximal zulässiger Heizenergiebedarf vorgegeben werden. Der Algorithmus arbeitet dabei schrittweise in „Generationen“, wobei die statistische Vorgangsweise von einem evolutionären Modell der Optimierung durch Vererbung, Variation und Auslese bestimmt wird. Die Lösungen bilden eine Punktwolke, die sich somit Generation für Generation immer weiter der Gruppe jener Lösungen annähert, die optimale Kompromisse aus den konfliktären Zielgrößen darstellen und nicht weiter verbessert werden können. Diese sogenannte Pareto-Front reduziert somit weiter die relevante Anzahl an Parameter-Kombinationen.

In der Variantenmatrix (Tabelle 1 bis Tabelle 22) sind die gewählten Parameter für die verschiedenen Varianten dargestellt. Diese wurden zuerst für die Minimierung der beiden Zielgrößen Beleuchtungsenergiebedarf und Anzahl unkomfortabler Stunden mit dem Optimierungstool durchgerechnet (ungekühlte Varianten), und anschließend für die Minimierung der Zielgrößen Beleuchtungsenergiebedarf und Kühlenergiebedarf (gekühlte Varianten). Der Zusatz „_k“ in der Bezeichnung einer Variante kennzeichnet dabei die Möglichkeit zur technischen Kühlung.

Tabelle 1: Variantenmatrix (1/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort															
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel		
Modell allgemein	Modell	Wohnung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Standort	Wien UHI	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ländlich																	
	Hauptausrichtung	Nord																	
		Nord-Ost																	
		Ost																	
		Süd-West	x		x		x		x		x		x		x		x	x	
		Süd		x		x		x		x		x		x		x			
	Bauweise	Holzrahmen																	
		Holzmassiv																	
		Ziegel (HLZ 60er)	x		x		x		x		x		x		x		x	x	
		Stahlbeton		x		x		x		x		x		x		x			
	Gebäudequalität	Neubau (Niedrigenergie)																	
		Bestand (saniert)		x		x		x		x		x		x		x			
		Altbau (ca. 60-70er)	x		x		x		x		x		x		x		x	x	
	Querlüftung	ja		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o
		nein	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x	

Tabelle 2: Variantenmatrix (2/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort															
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel		
Modell allgemein (Forts.)	Fensteranteil (zu FB-Fläche)	0,1																	
		0,2		x		x		x		x		x		x		x			
		0,3	x		x		x		x		x		x		x		x	x	
		0,4																	
		0,5																	
	Bauliche (fixe) Verschattung	ohne																	
		Nachbargebäude (Horizont)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		keine Auskrägung	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x
		Balkon (1m Auskrägung)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Balkon (2m Auskrägung)		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o
	bewegl. Beschattung	ohne	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x
		außen (nur SW bis SO)		x		x		x		x		x		x		x			
		außen (alle Ausrichtungen)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		innen & außen (nur SW bis SO)																	
		innen & außen (alle Ausrichtungen)																	
		innen (nur O bis W)																	

Tabelle 3: Variantenmatrix (3/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort														
				Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1. Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1. Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2. Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2. Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3. Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3. Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4. Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4. Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5. Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5. Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6. Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6. Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7. Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°
Fenster eigenschaften	Wärmedurchgang Verglasung	0,5 W/m²K			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		1,0 W/m²K		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
		1,4 W/m²K	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x
		0,6 W/m²K (nur mit var. g-Wert)																
	Lichttechn./ Strahlungstechn. Eigenschaften	g=0,3; Lichttransmission = 0,54; direkte solare Transm. = 0,26			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		g=0,5; Lichttransmission = 0,71; direkte solare Transm. = 0,45		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
		g=0,7; Lichttransmission = 0,83; direkte solare Transm. = 0,63	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x
		g=0,05-0,4; Lichttransm. = 0,01-0,6; direkte solare Transm. = 0,045-0,36																
	Lüftung	nach Zeitplan (Mindestluftwechsel)													x	x		
		nach Zeitplan (oft)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
		Temperaturgesteuert																
	Öffenbarer Anteil der Fensterfläche	10%	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x
		50%		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
		90%			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 5: Variantenmatrix (5/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort														
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	
Lamellenbehang	Lamellenachse	Horizontal	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	
	Lamellengeometrie	Glasabstand 5 cm; Lamellenbreite 2,5 cm; Abstand zw. Lamellen 2cm (innen)		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Glasabstand 10 cm; Lamellenbreite 8 cm; Abstand zw. Lamellen 7cm (außen)	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o
	Lamellendicke	0,4 mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wärmeleitung Lamelle	160 W/mK	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Lamellenwinkel	immer 45°	x	o	x				o	x			o	x	o	x		o
		variabel nach Sonnenstand				o	o				o	o					o	
	Min. Winkel	5° (geschlossen)				o	o				o	o					o	
		30°																
	Max. Winkel	60°															o	
90° (horizontal)				o	o					o	o							

Tabelle 6: Variantenmatrix (6/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

			Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort													
			Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
Lamellenbehang (Forts.)	Solare Eigenschaften	Transmission = 0; Reflexion oben = 0,8; Reflexion unten = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,5; Reflexion unten = 0,5	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,2; Reflexion unten = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sichtbare Eigenschaften	Transmission = 0; Reflexion oben = 0,8; Reflexion unten = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,5; Reflexion unten = 0,5	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,2; Reflexion unten = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 7: Variantenmatrix (7/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort																
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel			
Lamellenbehang (Forts.)	IR (thermische) Eigenschaften	Transmission = 0; Emission oben = 0,9; Emission unten = 0,9			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
		Transmission = 0; Emission oben = 0,9; Emission unten = 0,9	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o	
		Transmission = 0; Emission oben = 0,9; Emission unten = 0,9			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	freie Lüftungsöffnung	oben=unten=seitlich=0cm																		
		oben=unten=seitlich=1cm	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o	o
		oben=unten=seitlich=2cm																		
		oben=unten=1cm; seitlich=0cm																		
		oben=unten=2cm; seitlich=0cm																		

Tabelle 8: Variantenmatrix (8/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort															
				Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
Textiler Behang	Glasabstand	5cm (innen)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		10cm (außen)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Dicke Behang	1mm			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		50mm (Thermoelement)																	
	Wärmeleitung Behang	0,10 W/mK			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Luftdurchlässigkeit	0																	
0,1				o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

Tabelle 9: Variantenmatrix (9/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort															
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel		
Textiler Behang (Forts.)	Solare Eigenschaften	Transmission = 0,1; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,7; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 10: Variantenmatrix (10/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Komfort															
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel		
Textiler Behang (Forts.)	Sichtbare Eigenschaften	Transmission = 0,1; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,7; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 11: Variantenmatrix (11/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten	Optimierung nach Beleuchtung/Komfort															
			Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	B1.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel	A2.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	B2.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel	A3.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$	A8.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
Textiler Behang (Forts.)	IR (thermische)Eigenschaften	Transmission = 0;Emission = 0,9			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	freie Lüftungsöffnung	oben=unten=seitlich=0cm																
		oben=unten=seitlich=1cm			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		oben=unten=seitlich=2cm																
		oben=unten=1cm; seitlich=0cm																
		oben=unten=2cm; seitlich=0cm																

Tabelle 12: Variantenmatrix (12/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf															
				Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel
Modell allgemein	Modell	Wohnung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Standort	Wien UHI	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ländlich																	
	Hauptausrichtung	Nord																	
		Nord-Ost																	
		Ost																	
		Süd-West	x		x		x		x		x		x		x		x		x
		Süd		x		x		x		x		x		x		x			
	Bauweise	Holzrahmen																	
		Holzmassiv																	
		Ziegel (HLZ 60er)	x		x		x		x		x		x		x		x		x
		Stahlbeton		x		x		x		x		x		x		x			
	Gebäudequalität	Neubau (Niedrigenergie)																	
		Bestand (saniert)		x		x		x		x		x		x		x			
		Altbau (ca. 60-70er)	x		x		x		x		x		x		x		x		x
	Querlüftung	ja		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o
nein		x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	

Tabelle 13: Variantenmatrix (13/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf															
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel		
Modell allgemein (Forts.)	Fensteranteil (zu FB-Fläche)	0,1																	
		0,2		x		x		x		x		x		x		x			
		0,3	x		x		x		x		x		x		x		x	x	
		0,4																	
		0,5																	
	Bauliche (fixe) Verschattung	ohne																	
		Nachbargebäude (Horizont)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		keine Auskragung	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x	
		Balkon (1m Auskragung)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Balkon (2m Auskragung)		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o
	bewegl. Beschattung	ohne	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x	
		außen (nur SW bis SO)		x		x		x		x		x		x		x			
		außen (alle Ausrichtungen)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		innen & außen (nur SW bis SO)																	
		innen & außen (alle Ausrichtungen)																	
		innen (nur O bis W)																	

Tabelle 14: Variantenmatrix (14/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

Fensterereigenschaften		Basisvarianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf													
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel
Wärmedurchgang Verglasung	0,5 W/m²K			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	1,0 W/m²K		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
	1,4 W/m²K	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x
	0,6 W/m²K (nur mit var. g-Wert)																
Lichttechn./ Strahlungstechn. Eigenschaften	g=0,3; Lichttransmission = 0,54; direkte solare Transm. = 0,26			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	g=0,5; Lichttransmission = 0,71; direkte solare Transm. = 0,45		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
	g=0,7; Lichttransmission = 0,83; direkte solare Transm. = 0,63	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x
	g=0,05-0,4; Lichttransm. = 0,01-0,6; direkte solare Transm. = 0,045-0,36																
Lüftung	nach Zeitplan (Mindestluftwechsel)													x	x		
	nach Zeitplan (oft)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
	Temperaturgesteuert																
Öffenbarer Anteil der Fensterfläche	10%	x		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	x
	50%		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o
	90%			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 16: Variantenmatrix (16/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf														
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	
Lamellenbehang	Lamellenachse	Horizontal	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	
	Lamellengeometrie	Glasabstand 5 cm; Lamellenbreite 2,5 cm; Abstand zw. Lamellen 2cm (innen)		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Glasabstand 10 cm; Lamellenbreite 8 cm; Abstand zw. Lamellen 7cm (außen)	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o
	Lamellendicke	0,4 mm	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wärmeleitung Lamelle	160 W/mK	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Lamellenwinkel	immer 45°	x	o	x				o	x			o	x	o	x		o
		variabel nach Sonnenstand				o	o				o	o					o	
	Min. Winkel	5° (geschlossen)				o	o				o	o					o	
		30°															o	
	Max. Winkel	60°															o	
90° (horizontal)				o	o					o	o							

Tabelle 17: Variantenmatrix (17/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

			Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf														
			Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	
Lamellenbehang (Forts.)	Solare Eigenschaften	Transmission = 0; Reflexion oben = 0,8; Reflexion unten = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,5; Reflexion unten = 0,5	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,2; Reflexion unten = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
	Sichtbare Eigenschaften	Transmission = 0; Reflexion oben = 0,8; Reflexion unten = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,5; Reflexion unten = 0,5	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	
		Transmission = 0; Reflexion oben = 0,2; Reflexion unten = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

Tabelle 18: Variantenmatrix (18/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf																
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel			
Lamellenbehang (Forts.)	IR (thermische) Eigenschaften	Transmission = 0; Emission oben = 0,9; Emission unten = 0,9			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
		Transmission = 0; Emission oben = 0,9; Emission unten = 0,9	x		o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o	
		Transmission = 0; Emission oben = 0,9; Emission unten = 0,9			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	freie Lüftungsöffnung	oben=unten=seitlich=0cm																		
		oben=unten=seitlich=1cm		x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	x	o	o	o	o
		oben=unten=seitlich=2cm																		
		oben=unten=1cm; seitlich=0cm																		
		oben=unten=2cm; seitlich=0cm																		

Tabelle 19: Variantenmatrix (19/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

			Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf														
			Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	
Textiler Behang	Glasabstand	5cm (innen)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		10cm (außen)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Dicke Behang	1mm			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		50mm (Thermoelement)																	
	Wärmeleitung Behang	0,10 W/mK			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Luftdurchlässigkeit	0																	
0,1				o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	

Tabelle 20: Variantenmatrix (20/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf																
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel			
Textiler Behang (Forts.)	Solare Eigenschaften	Transmission = 0,1; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,7; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 21: Variantenmatrix (21/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
 Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf																
		Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel			
Textiler Behang (Forts.)	Sichtbare Eigenschaften	Transmission = 0,1; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,7; Reflexion = 0,2			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
		Transmission = 0,4; Reflexion = 0,5			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		Transmission = 0,1; Reflexion = 0,8			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Tabelle 22: Variantenmatrix (22/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs
Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)

		Basis-varianten		Optimierung nach Beleuchtung/Kühlbedarf															
				Worst Case (Varianten "A")	Standardausführung (Varianten "B")	A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	B1_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel	A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	B2_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel	A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	B3_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel	A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	B4_k.Variation von Standard Beschattung ab 50W/m² Strahlung, var. Lamellenwinkel	A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel	A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	B6_k.Variation von Standard Beschattung ab Ti ≥ 24°C, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel	A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab Ti ≥ 24°C, var. Lamellenwinkel 30° - 60°	A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab 200W/m² Strahlung, fixer Lamellenwinkel
Textiler Behang (Forts.)	IR (thermische)Eigenschaften	Transmission = 0;Emission = 0,9			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
	freie Lüftungsöffnung	oben=unten=seitlich=0cm																	
		oben=unten=seitlich=1cm			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
		oben=unten=seitlich=2cm																	
		oben=unten=1cm; seitlich=0cm																	
		oben=unten=2cm; seitlich=0cm																	

4.2. Vorstudie - Haustechnikelement Coole Fenster

Zur Einschränkung der Vielfalt an möglichen Variationsmöglichkeiten des Simulationsmodells der Hauptstudie, wurden im Zuge dieser Vorstudie die maßgeblichen Entwurfparameter anhand eines Einraummodells ermittelt und deren Einflüsse und Interaktionen untersucht. Dabei lag der Fokus der Untersuchung ausschließlich auf den Auswirkungen des Systems Fenster und Beschattung auf die ganzjährige Energiebilanz – also einer zeitgleichen Beurteilung des Heiz- und des Kühlenergiebedarfs. Zusätzliche Kriterien wie die thermische Behaglichkeit und die Tageslichtverfügbarkeit wurden in der Vorstudie nicht weiter betrachtet.

Bei der Bildung des Simulationsmodells der Vorstudie wurde darauf geachtet, Modelleigenschaften und Randbedingungen so zu wählen, dass Einflüsse auf die betrachtete Energiebilanz abseits des Systems Fenster und Beschattung soweit wie möglich reduziert wurden. Durch diese bewusste Reduktion von Randbedingungen und externen Einflüsse konnten die spezifischen Einflüsse der betrachteten Parameter auf die durch das Fenster induzierten Auswirkungen (Transmissionswärmeverluste und solare Gewinne) auf die Energiebilanz des Raumes gezielt eruiert werden.

Das in der Vorstudie betrachtete Modell besteht aus einem rechteckigen Raum, welcher eine Außenwand mit einem Fenster beinhaltet. Die detaillierten Eigenschaften des Simulationsmodells sind Tabelle 23 zu entnehmen. Tabelle 24 beinhaltet die in der Vorstudie variierten Parameter.

Tabelle 23: Zusammenfassung der Eigenschaften des Simulationsmodells der Vorstudie

Raummaße:	300 cm x 350 cm x 260 cm (L x B x H)
internen Gewinne:	keine
aktive Belüftung:	kontinuierlich mit einer Luftwechselrate von $n = 0,1$ (Außenluft, unconditioniert)
Transmissionswärme über Systemgrenze:	Decken und Innenwände: adiabat Außenwand: gegen Außenklima, $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$
Klimadaten:	ParaSol interner Datensatz für den Standort Wien
Bauweise:	variiertes Parameter
Orientierung des Raums:	variiertes Parameter
Raumtemperatur:	$21^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$ (wird mittels Heizung bzw. aktiver Kühlung in diesem Bereich gehalten)
internen Gewinne:	keine
Fenstergröße:	variiertes Parameter
Fensterrahmen:	Ansichtsbreite = 11 cm, Laibungstiefe = 18 cm, $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
Verglasung:	variierte Varianten
Beschattung:	variierte Varianten

	(Lamellen mit 80 mm Breite, Reflexionsgrad 50 %)
Steuerung:	Mai – Sept.: Beschattung aktiv, wenn Globalstrahlung > 0 W/m ² Okt. – April: Beschattung aktiv, wenn Globalstrahlung < 20W/m ² (nur bei Varianten mit automatischer Steuerung angewandt, ansonsten durchgehend aktive Beschattung)

Tabelle 24: Zusammenfassung der in der Vorstudie variierten Parameter

Fenstergröße:	„klein“ (10 % Flächenanteil Fenster/Raumfläche bzw. 120 cm x 88 cm)
	„mittel“ (25 % Flächenanteil Fenster/Raumfläche bzw. 170 cm x 154 cm)
	„groß“ (40 % Flächenanteil Fenster/Raumfläche bzw. 220 cm x 191 cm)
Orientierung:	N ($\cong 0^\circ$)
	NO ($\cong 45^\circ$)
	O ($\cong 90^\circ$)
	SO ($\cong 135^\circ$)
	S ($\cong 180^\circ$)
	SW ($\cong 225^\circ$)
	W ($\cong 270^\circ$)
	NW ($\cong 315^\circ$)
Verglasung:	Isolierverglasung mit $U_g = 0,5$ und $g = 0,3$
	Isolierverglasung mit $U_g = 1,1$ und $g = 0,5$
	Isolierverglasung mit $U_g = 1,5$ und $g = 0,7$
	Isolierverglasung mit $U_g = 1,1$ und $g = 0,6$
	Isolierverglasung mit $U_g = 1,5$ und $g = 0,4$
	Isolierverglasung mit $U_g = 1,1$ und $g = 0,1$
	Isolierverglasung mit $U_g = 0,6$ und $g = 0,1$
Bauweise:	„leicht“ (raumseitige Vorsatzschalen mit Gipskarten- bzw. Holzbeplankung)
	„mittel“ (Leichtbetonmauerwerk)
	„schwer“ (Betonmauerwerk)
Beschattung:	keine Beschattung

	<i>Lamellenbehang mit 0° Winkel (horizontal)</i>
	<i>Lamellenbehang mit 45° Winkel</i>
	<i>Lamellenbehang mit 90° Winkel (vollständig geschlossen)</i>
	<i>Lamellenbehang mit automatischem Winkel (Lamellen rechtwinklig auf eintretende Sonnenstrahlen nachgeführt; 0° bei keiner direkten Einstrahlung)</i>
	<i>Lamellenbehang mit 90° Winkel (vollständig geschlossen) + automatischer Steuerung zum Aktivieren bzw. Deaktivieren der Beschattung</i>

Die Vorstudie wurde mit der Simulationssoftware „ParaSol v6.7“ [13] durchgeführt. ParaSol ist ein Gebäudesimulationstool, das von der Energy and Building Design Abteilung der Lund Universität in Schweden entwickelt wurde. Dieses Programm berechnet die solaren und thermischen Eigenschaften von Fenstern in Kombination mit einem Beschattungselement und in weiterer Folge den Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf eines rechteckigen Raumes in stündlichen Berechnungsschritten im Jahresverlauf. Für diesen Raum werden an fünf Seiten adiabate Randbedingungen (kein Wärmeaustausch infolge Annahme Übergang zu anderen Innenräumen, jedoch wird die Wärmespeicherkapazität aller Umfassungsflächen berücksichtigt) und auf einer Seite eine Außenwandrandbedingung mit der Fenster-/Beschattungseinheit festgelegt.

Die Simulationsberechnungen berücksichtigen die Variation der solaren Eigenschaften der Beschattungs-/ Fensterkombination abhängig vom Tagesgang des Einfallswinkels der Solarstrahlung. Eine detaillierte Beschreibung der zugrunde gelegten physikalischen Modelle ist [13], [14] und [15] zu entnehmen.

Im Gegensatz zur Hauptstudie, in welcher eine begrenzte Anzahl an Parameterkombinationen mittels eines Optimierungsalgorithmus ausgewählt wurden, wurden in der Vorstudie alle Kombinationen berechnet. Aufgrund der ausgewählten und in Tabelle 24 angeführten variierten Parameter ergeben sich in Summe 3024 Simulationsvarianten. Für jede dieser Simulationsvarianten wurde der jährliche Heiz- und Kühlenergiebedarf sowie die solaren Einträge berechnet. Da die eingesetzte Simulationssoftware über keine Form einer Stapelverarbeitung verfügt, wurde die Bedienung der Benutzeroberfläche mittels eines eigens dazu programmierten Steuerungsskripts automatisiert.

Anmerkung zur Bezeichnung der Lamellenwinkel:

Unter den Kapiteln zur Vorstudie (4.2 und 5.1) wird, in Anlehnung an die Definition der dazu eingesetzten Software, eine von der Hauptstudie abweichende Beschreibung der Lamellenwinkel verwendet. So beschreibt hier ein Lamellenwinkel von 0° eine horizontale - und somit möglichst offene - Lamellenstellung, während ein Lamellenwinkel von 90° eine vertikale - und damit vollständig geschlossene - Lamellenstellung beschreibt.

4.3. Hauptstudie - Wirkung Haustechnikelement Coole Fenster im Wohnungsverband

4.3.1. Klimamodell

Der dem Berechnungsmodell zugrunde gelegte Klimadatensatz wurde mithilfe des Programms Meteororm v.8.1.0.28251 für Stundenwerte erstellt. Als Standort wurde eine stark versiegelte, innerstädtische Straße mit wenig Umgebungsbegrünung und einer hohen Bebauungsdichte in Wien gewählt (Abbildung 2). Das Prognosemodell für innerstädtisches Klima im Jahr 2050 basiert auf dem EU-Projekt Climate-fit.city [16] und dem repräsentativen Konzentrationspfad RCP8.5 gemäß des 5. IPCC-Berichts [17]; dieses Szenario entspricht einem anthropogenen Strahlungsantrieb von $8,5 \text{ W/m}^2$, einer Treibhausgaskonzentration von $1370 \text{ ppm CO}_2\text{-äquiv.}$ und bildet den höchsten prognostizierten Anstieg ab.

Die für die Simulation notwendigen kleineren Zeitschritte werden im Programm DesignBuilder zwischen den Stundenwerten interpoliert. In Abbildung 3 bis Abbildung 6 sind die generierten Monatswerte dargestellt, detailliertere Werte sind in 9.2 enthalten.

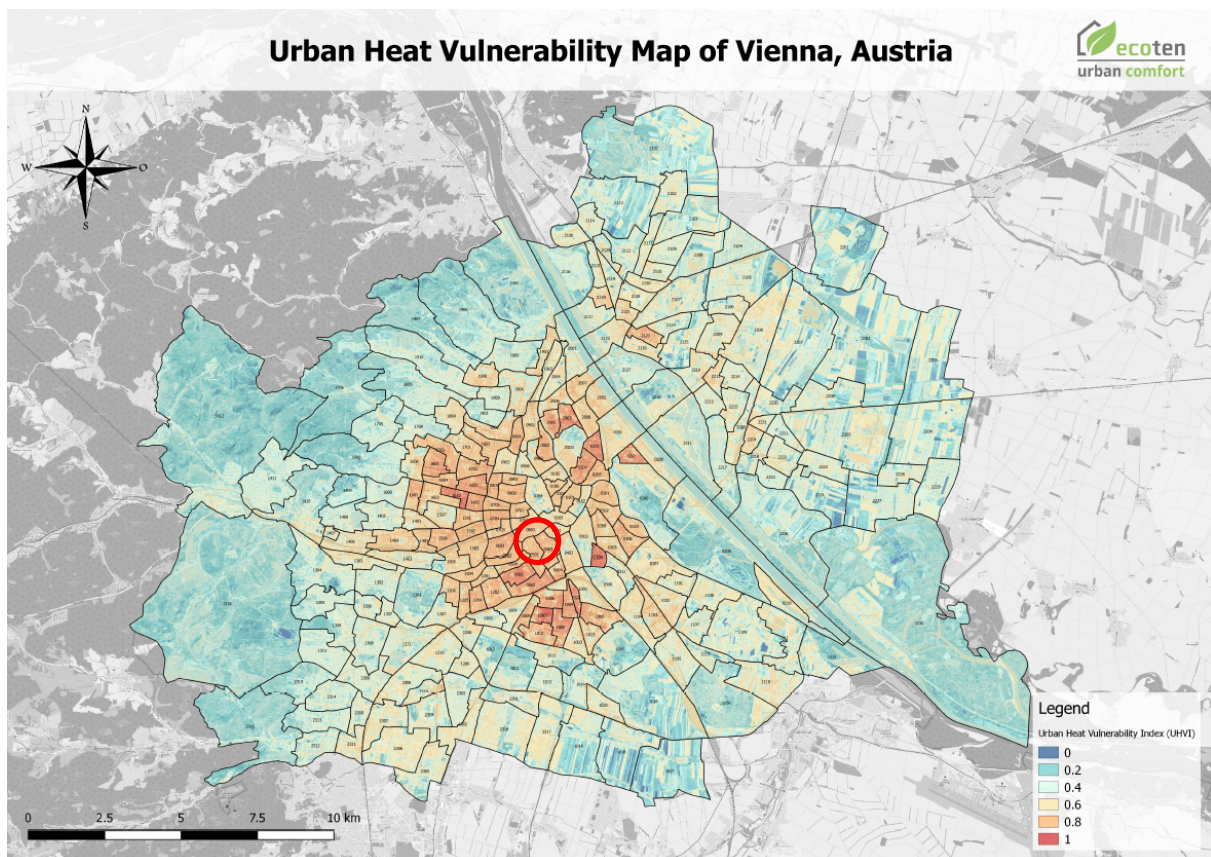


Abbildung 2: Darstellung des gewählten Standorts auf der Wiener Hitzekarte (Quelle: <https://www.wien.gov.at/stadtentwicklung/energie/hitzekarte.html> abgerufen am 02.08.2022)

Globalstrahlung monatlich

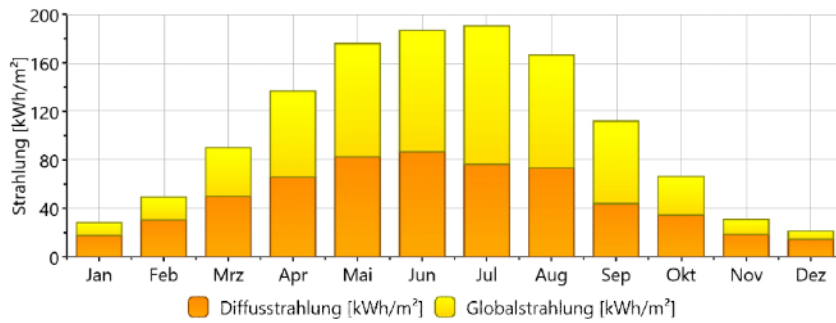


Abbildung 3: monatliche Globalstrahlungssumme für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5

Temperatur monatlich

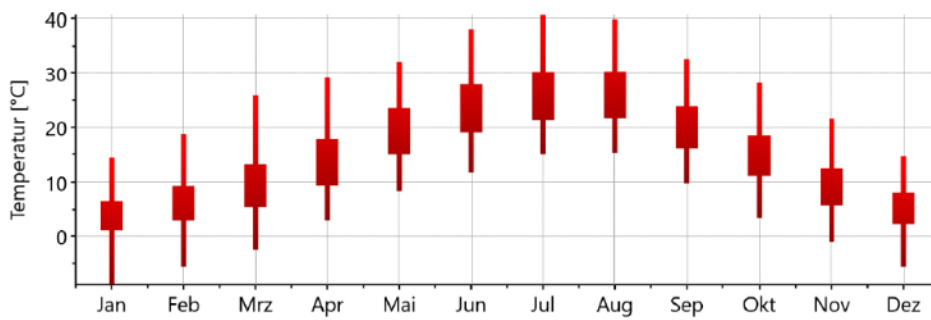


Abbildung 4: monatliche durchschnittliche Temperatur für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5

Niederschlag

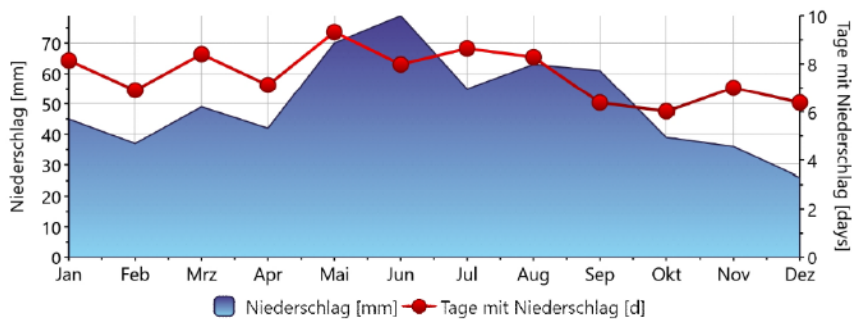


Abbildung 5: monatlicher Niederschlag für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5

Sonnenscheindauer

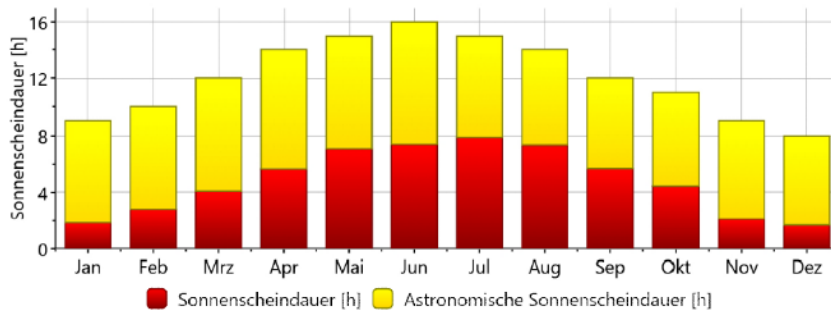


Abbildung 6: monatliche durchschnittliche Sonnenscheindauer für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5

4.3.2. Raummodell

Für die Simulationen in DesignBuilder wurde eine Referenzwohnung mit einer Wohnküche, zwei Schlafzimmern und einem Homeoffice erstellt (Abbildung 7). Zur Reduzierung der Rechenzeit wurden die für die Projektinhalte nicht relevanten Sanitärräume aus dem Simulationsmodell eliminiert, dementsprechend wurde auch die Trakttiefe im Vergleich zu der als Vorlage dienenden (realen) Wohnung um 2m verkürzt.

Die Lage der Wohnung wurde im 3. Obergeschoß angenommen, mit adiabatischen Randbedingungen auf zwei Seiten und zur darunterliegenden Wohnung. Die sich für einen Standort in innerstädtischer, dicht bebauter Lage ergebende Horizontverschattung durch gegenüberliegende Bebauung wird in beiden Basisvarianten berücksichtigt. Die wesentlichen Unterschiede für die beiden Basisvarianten „Worst Case“ und „Standard“ ergeben sich aus

- der unterschiedlichen Gebäudehülle: die „Worst Case“-Variante wird als oberstes Geschoß angenommen und daher nach oben mit einem Flachdach abgeschlossen, die Qualität der umgrenzenden Bauteile ist zudem schlechter (höhere U-Werte von opaken und transparenten Bauteilen) (Tabelle 25 und Tabelle 26)
- den Fenstergrößen: in der „Worst Case“-Variante beträgt der Fensteranteil 30% der Fußbodenfläche, in der Standard-Variante 20%
- der Ausrichtung: die Wohnräume der Standard-Variante sind gegen Norden und Süden ausgerichtet, die der „Worst Case“-Variante Richtung Nordost und Südwest (Abbildung 8 und Abbildung 9)
- der baulichen Verschattung: in der Standard-Variante wird eine bauliche Verschattung durch einen über den Fenstern liegenden, 2m auskragenden Balkon (bzw. Laubengang) berücksichtigt.

Die detaillierten Parameter für die beiden Basisvarianten können der Variantenmatrix (Tabelle 1 bis Tabelle 22) entnommen werden.

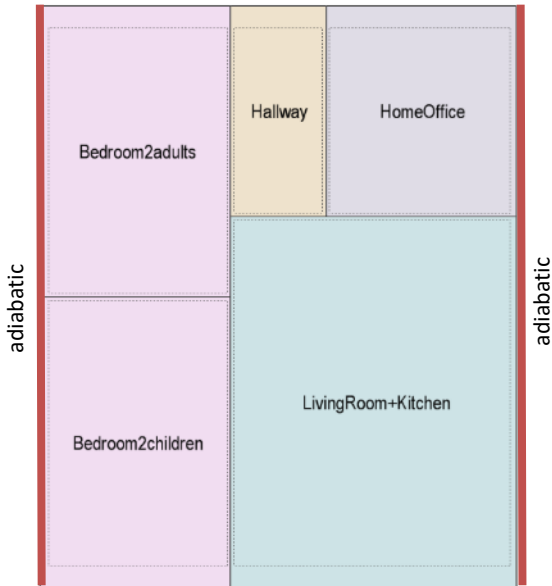


Abbildung 7: Grundriss der Referenzwohnung

Tabelle 25: Übersicht der thermisch relevanten opaken Bauteilaufbauten (Worst Case)

Außenwand $U = 0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$		Flachdach $U = 0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$		Wohnungstrenndecke $U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$		Wohnungstrennwand $U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	
2,5 cm	Kalkzementputz	5,0 cm	Schüttung	2,0 cm	Parkett	2,5 cm	GKB
38,0 cm	Hochlochziegel	1,0 cm	Abdichtung	6,0 cm	Estrich	7,5 cm	MW zw. Metallprofil
1,5 cm	Kalkputz	5,0 cm	EPS	3,0 cm	Mineralwolle	20,0 cm	Stahlbeton
		20,0 cm	Stahlbeton	5,0 cm	Sandschüttung	1,0 cm	Kalkputz
		1,0 cm	Kalkputz	20,0 cm	Stahlbeton		
				1,0 cm	Kalkputz		

Tabelle 26: Übersicht der thermisch relevanten opaken Bauteilaufbauten (Standardausführung)

Außenwand $U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$		Wohnungstrenndecke $U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$		Wohnungstrennwand $U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{K}$	
1,0 cm	Systemputz	1,5 cm	Parkett	2,5 cm	GKB
8,0 cm	EPS	2,5 cm	Blindboden	7,5 cm	MW zw. Metallprofil
20,0 cm	Stahlbeton	8,0 cm	Schüttung	20,0 cm	Stahlbeton
1,0 cm	Innenputz	2,5 cm	Schalung	1,0 cm	Kalkputz
		20,0 cm	Holzbalkendecke		
		2,5 cm	Schalung		
		2,5 cm	Kalkputz		

Die Innenwände wurden als leichte Gipskartonkonstruktion erstellt und sind damit thermisch vernachlässigbar. Die Fenster wurden mit Verglasungseigenschaften gemäß Variantenmatrix (Tabelle 1 bis Tabelle 22) und einem U_f -Wert von $1,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ berücksichtigt.

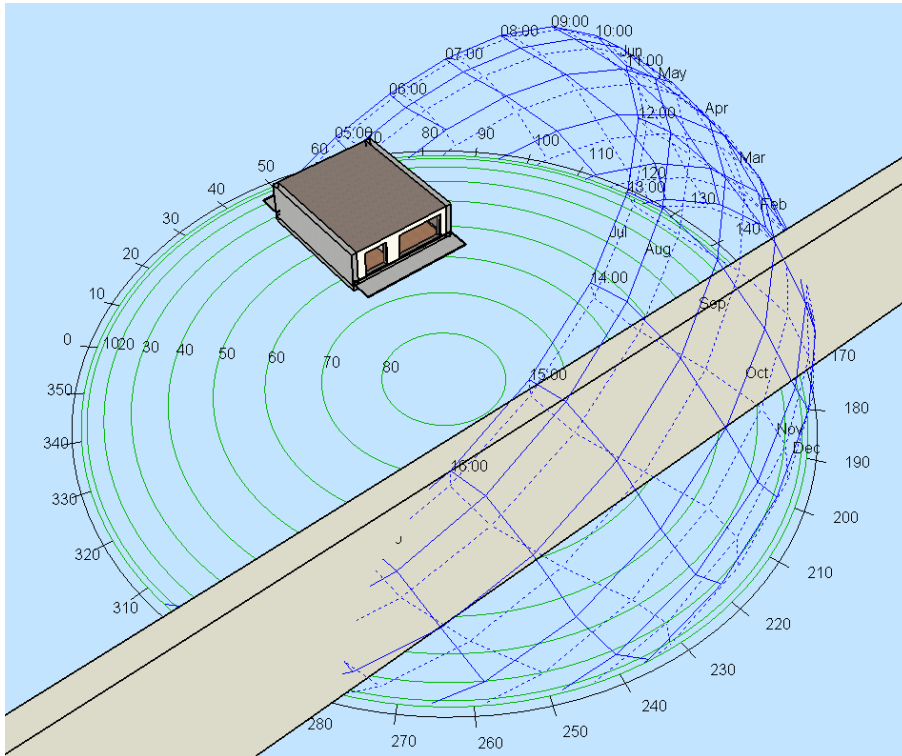


Abbildung 8: Übersicht bauliche Verschattung und Ausrichtung Worst Case

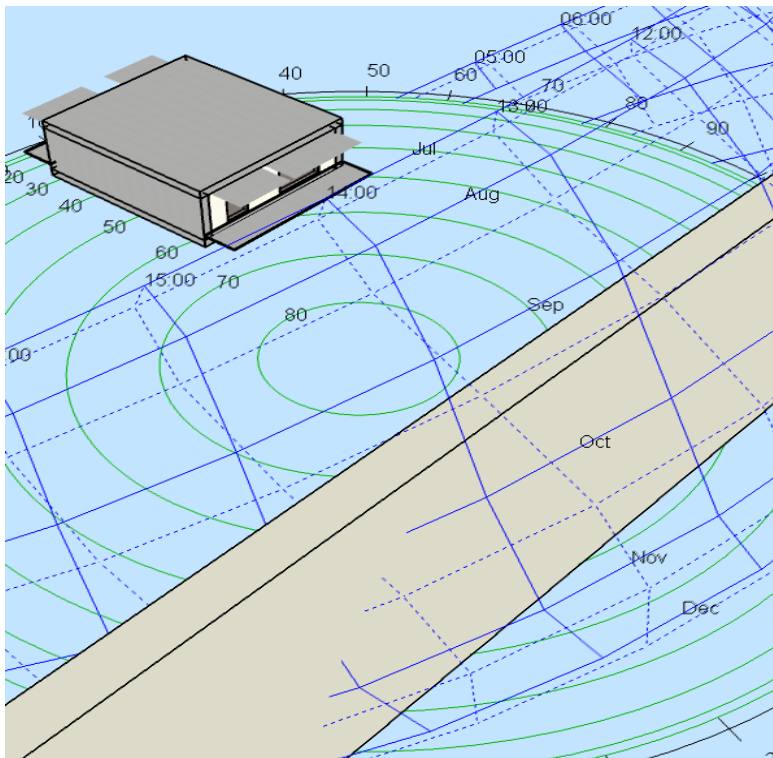


Abbildung 9: Übersicht bauliche Verschattung und Ausrichtung Standardausführung

4.3.3. Simulationsgrundlagen und weitere Randbedingungen

Belegung und Luftwechsel

Die Zeitpläne für die Belegung der Zimmer wurden in Anlehnung an die EN 16798-1 [18] erstellt, wobei die berücksichtigte Personenanzahl von vier Bewohner:innen (2 Erwachsene, 2 Kinder) für die Nutzungsart „Residential, apartment“ über die Wohnung summiert wurde und den einzelnen Räumen anteilig zugewiesen wurde; das Homeoffice wurde mit der Nutzungsart „Office, single“ und Anwesenheit von einer Person berechnet (siehe Tabelle 27). Die inneren Gewinne durch Geräte wurden ebenfalls gemäß Norm gerechnet; die internen Gewinne durch Personen wurden mit den Belegungszeiten laut Norm, jedoch in der Größe nach dem programminternen Berechnungsmodell ermittelt.

Tabelle 27: Belegungsplan in Anlehnung an EN 16798-1 [18] für Wochentage

	Living Room	Bedroom Adults	Bedroom Children	Hallway	Homeoffice	Sum 1	Sum 2
	HFA	HFA	HFA	HFA	EN 16798-1 Office, single	EN 16798-1 Residential, apartment	HFA (except Homeoffice)
00:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
01:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
02:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
03:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
04:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
05:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
06:00	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	2,000	2,000
07:00	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000	2,000
08:00	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000	2,000
09:00	0,400	0,000	0,000	0,000	1,000	0,400	0,400
10:00	0,400	0,000	0,000	0,000	1,000	0,400	0,400
11:00	0,400	0,000	0,000	0,000	1,000	0,400	0,400
12:00	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,400	0,400
13:00	0,800	0,000	0,000	0,000	1,000	0,800	0,800
14:00	0,800	0,000	0,000	0,000	1,000	0,800	0,800
15:00	0,800	0,000	0,000	0,000	1,000	0,800	0,800
16:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	2,000	2,000
17:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	2,000	2,000
18:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	2,000	2,000
19:00	2,200	0,000	1,000	0,000	0,000	3,200	3,200
20:00	2,000	0,000	1,200	0,000	0,000	3,200	3,200
21:00	2,000	0,000	1,200	0,000	0,000	3,200	3,200
22:00	1,000	1,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000
23:00	0,000	2,000	2,000	0,000	0,000	4,000	4,000

Für die Berechnung des Luftwechsels wurde in der Simulation die Möglichkeit des Programms gewählt, für jeden Zeitschritt den Volumenstrom anhand der vorhandenen Gegebenheiten zu ermitteln. Hierfür wird zunächst mittels vorgegebenen Zeitplan abgefragt, ob die Öffnung der Fenster grundsätzlich zulässig ist; die verwendeten Zeitpläne (Tabelle 28 und Tabelle 29) wurden in grober Anlehnung an die Anwesenheitszeiten erstellt, sollten jedoch auch ein realistischeres Nutzerverhalten abbilden. Beispielsweise ist eine kurzzeitige Nachtlüftung in der Heizperiode unüblich, würde aber vom Programm zugelassen werden, wenn eine Fensteröffnung rein nach Anwesenheitszeit erlaubt wäre, umgekehrt wird eine Nachtlüftung gemäß dem erstellten

Zeitplan in den Sommermonaten auch zugelassen, wenn keine Personen im Raum anwesend sind.

Eine weitere Bedingung für das Zulassen der Fensterlüftung ist die Überschreitung der gewünschten Raumlufttemperatur (Schlafzimmer: 20°C bei Anwesenheit, sonst 18°C; alle anderen Räume: 22°C bei Anwesenheit, sonst 20°C) um 2 K. Bei Zulässigkeit der Fensterlüftung wird die Öffnungsweite in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen gemäß Abbildung 10 variiert.

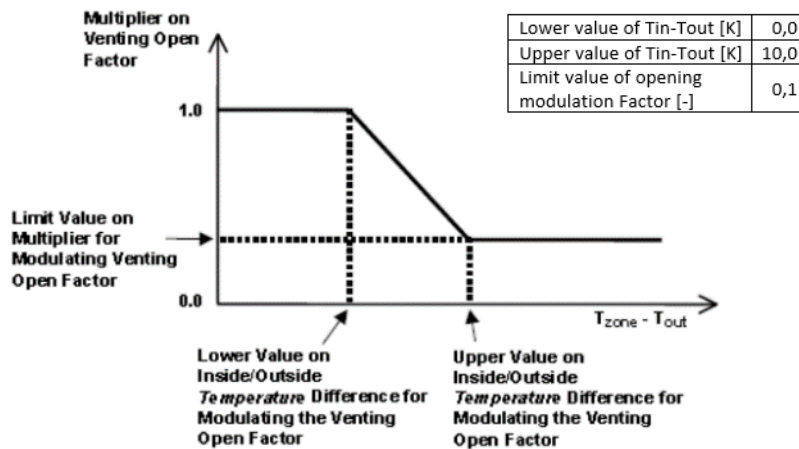


Abbildung 10: Temperaturabhängiger Öffnungsanteil der Fenster (Quelle Diagramm: DesignBuilder Software Ltd¹)

¹ https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/#CalculatedNatVent.htm?TocPath=Building%2520Models%257CModel%2520Data%257CBuilding%2520Model%2520Data%257CHVAC%2520Data%257CNatural%2520Ventilation%257C_____2, abgerufen am 4.8.2022

Tabelle 28: Zeitplan möglicher Fensteröffnungszeiten wochentags während der Heizperiode; die Fenster werden gem. Abbildung 10 geöffnet, wenn die Innentemperatur 2 K über der Solltemperatur liegt

	Living Room	Bedroom Adults	Bedroom Children	Hallway	Homeoffice
	HFA	HFA	HFA	HFA	EN 16798-1 Office, single
00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
06:00	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000
07:00	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000
08:00	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
09:00	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
10:00	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
11:00	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
12:00	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13:00	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
14:00	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
15:00	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
16:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
17:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
18:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
19:00	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
20:00	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
22:00	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 29: Zeitplan möglicher Fensteröffnungszeiten wochentags während der Kühlperiode; die Fenster werden gem. Abbildung 10 geöffnet, wenn die Innentemperatur 2 K über der Solltemperatur liegt

	Living Room	Bedroom Adults	Bedroom Children	Hallway	Homeoffice
	HFA	HFA	HFA	HFA	HFA
00:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
01:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
02:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
03:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
04:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
05:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
06:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
07:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
08:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
09:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
10:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
11:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
12:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
13:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
14:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
15:00	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
16:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
17:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
18:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
19:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
20:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
21:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
22:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000
23:00	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000

Um auch bei Nichteinhaltung der Bedingungen für die Öffnung der Fenster einen hygienischen Mindestluftwechsel sicherzustellen und den daraus entstehenden Energiebedarf nicht zu vernachlässigen, wurde im Simulationsmodell eine mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung berücksichtigt, die einen Luftwechsel von 7l/(s Person) bzw. 10l/(s Person) in der Wohnküche herstellt.

Die Infiltration aufgrund Imperfektionen in der luftdichten Ebene der Gebäudehülle wurde durch das programminterne Luftdichtheitsmodell mit einer nach heutigen Verhältnissen standardmäßigen Qualität der Gebäudehülle berücksichtigt.

Beschattungssteuerung

Die Varianten wurden mit unterschiedlichen Arten der Beschattungssteuerung berechnet, welche nachfolgend beschrieben sind.

- 1) Temperaturgesteuert – fixer Lamellenwinkel 45°
Die Beschattung wird bei einer Innenlufttemperatur von 24°C mit einem fixen Lamellenwinkel von 45° abgesenkt.
- 2) Temperaturgesteuert – variabler Lamellenwinkel 5°-90°
Die Beschattung wird bei einer Innenlufttemperatur von 24°C abgesenkt. Die Lamellen werden orthogonal auf den Sonnenstandwinkel ausgerichtet, mit einem minimalen Lamellenwinkel von 5° (annähernd vertikal) und einem maximalen Lamellenwinkel von 90° (horizontal, siehe Abbildung 11); bei diffuser Strahlung sind die Lamellen auf 45° fixiert.

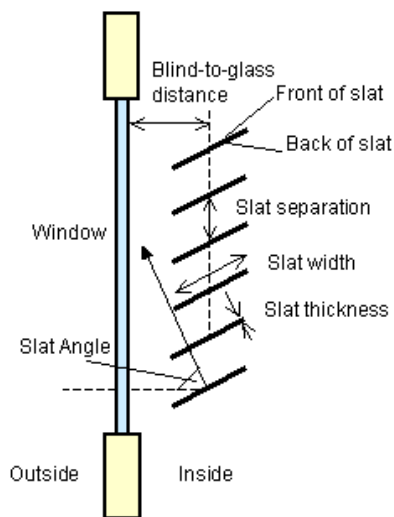


Abbildung 11: Festlegung der Bezeichnungen von Lamellenbehangsbestandteilen in DesignBuilder (Quelle Zeichnung: DesignBuilder Software Ltd²)

- 3) Temperaturgesteuert – variabler Lamellenwinkel 30°-60°
Die Beschattung wird bei einer Innenlufttemperatur von 24°C abgesenkt. Die Lamellen werden orthogonal auf den Sonnenstandwinkel ausgerichtet, mit einem minimalen Lamellenwinkel von 30° und einem maximalen Lamellenwinkel von 60°; bei diffuser Strahlung sind die Lamellen auf 45° fixiert.
- 4) Zeitplangesteuert
Die Beschattung wird außerhalb der Heizperiode (1.Mai bis 15.September) zwischen 9 Uhr und 16 Uhr mit einem fixen Lamellenwinkel von 45° abgesenkt.
- 5) Strahlungsgesteuert 50 W/m²
Die Beschattung wird bei einer Strahlung von 50 W/m² (direkt + diffus) an der Fensteroberfläche mit einem fixen Lamellenwinkel von 45° abgesenkt.
- 6) Strahlungsgesteuert 200 W/m²
Die Beschattung wird bei einer Strahlung von 200 W/m² (direkt + diffus) an der Fensteroberfläche mit einem fixen Lamellenwinkel von 45° abgesenkt.

Das Simulationsprogramm berücksichtigt die Reduktion der Lüftungsöffnungen durch aktive Beschattungen.

4.3.4. Optimierung – Allgemeines

Grundsätzlich ist eine Optimierungsberechnung in DesignBuilder nur für maximal zwei Zielgrößen („key performance indicator - KPI“) möglich, die üblicherweise miteinander in Konflikt stehen, beispielsweise die Minimierung der unkomfortablen Stunden und der CO₂-Emission. Aus einer initial zufällig ausgewählten Stichprobe an Parameter-Kombinationen werden für den nächsten Iterationsschritt mittels eines genetischen Algorithmus Kombinationen (Generationen) ausgewählt, die eine potentiell optimale Lösung liefern; dies wird solange fortgesetzt, bis für eine gewählte Anzahl an Iterationen (in diesem Projekt fünf) keine optimalen Lösungen mehr gefunden werden; als

² http://designbuilder.co.uk/helpv7.0/#_Window_blinds_Slat_data.htm?TocPath=Components%2520%252B%2520Templates%257CComponents%257CWindow%2520Shading%257C_____2, abgefragt am 10.08.2022

optimale Lösungen werden jene betrachtet, die an der sich bildenden Pareto-Front liegen. Bei der Wahl von Zielgrößen, die nicht konfliktär sind, bzw. von Variablen, die keinen Zielkonflikt auslösen, bildet sich in der Optimierungsberechnung keine Pareto-Front aus (siehe [12] und Abbildung 12).

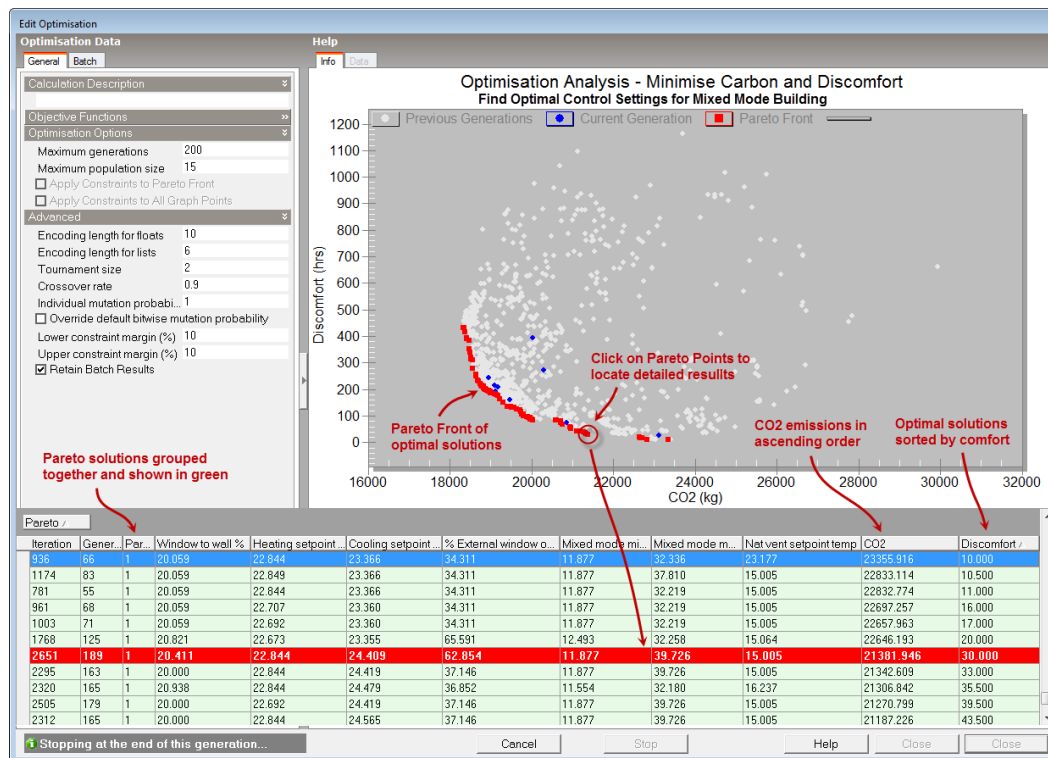


Abbildung 12: Beispiel für eine Optimierungssimulation in DesignBuilder (Quelle: Quelle Zeichnung: DesignBuilder Software Ltd ³)

Zur weiteren Einschränkung der Parameterkombinationen zur optimalen Lösung können auch zusätzliche Bedingungen („constraints“) an KPIs definiert werden, in Form eines oberen oder unteren Limits für einen ausgewählten Ergebniswert in der Optimierungsberechnung. Dies hat einen Einfluss auf die Bestimmung nachfolgender Generationen durch den Algorithmus, allerdings werden Parameter-Kombinationen, welche die Bedingung(en) nicht erfüllen, trotzdem in der Ergebnisliste ausgewiesen.

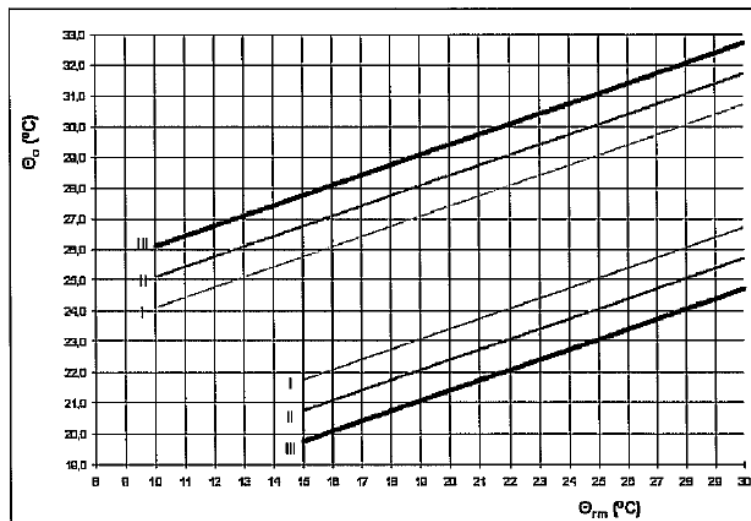
Bei den mit dem Optimierungstool ermittelten Ergebnissen handelt es sich um über alle Zonen und den Simulationszeitraum (flächengewichtete) Mittelwerte bzw. Summen, eine Betrachtung der Ergebnisse für die einzelnen Zonen oder für Zeitschrittweite ist nicht möglich.

4.3.5. Optimierung nach Komfort und Beleuchtung

Alle Varianten wurden in einem ersten Schritt ohne Kühlanlage im Optimierungstool berechnet; da eine Optimierung nach der Temperatur im Innenraum nicht möglich ist (einerseits ist diese nicht standardmäßig als Zielgröße in DesignBuilder hinterlegt, andererseits ist eine reine Minimierung, wie sie in der Optimierungsberechnung eingegeben werden müsste, für die Temperatur gar nicht sinnvoll, da diese im Heizfall nicht angestrebt wird) wurde zur Reduktion der sommerlichen

³ http://designbuilder.co.uk/helpv7.0/#Optimisation.htm?TocPath=Outputs%2520and%2520Calculations%257CSimulation%257COptimisation%257C_____0, abgerufen am 04.08.2022)

Überhitzung eine Minimierung der Stunden, in denen die operative Temperatur nicht in den Bereich von Kategorie I gemäß ÖNORM EN 15251⁴ fällt, als eine der beiden Zielgrößen definiert.



Legende

θ_{rm} gleitender Mittelwert der Außentemperatur, in °C
 θ_o operative Temperatur, in °C

Abbildung 13: Auslegungswerte für operative Innentemperaturen von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage gem. ÖNORM EN 15251 [19] Bild A.1

Die zweite Zielgröße, der Beleuchtungsenergieverbrauch, ermöglicht eine Aussage über die Tageslichtausnutzung bei der jeweiligen Parameterkombination. DesignBuilder rechnet für den vorhandenen Bedarf die Tageslichtstärke für einen Sensorpunkt, in diesem Projekt in Raummitte 0,85 m über der Fußbodenoberfläche, für den jeweiligen Berechnungsschritt aus, und fragt den vordefinierten Zeitplan (Tabelle 30) und den gewünschten Zielwert ab (300 lx in Wohnräumen und 500 lx im Homeoffice, vgl. EN 17037 [20] Tabelle A.1). Ist eine Beleuchtung gemäß Zeitplan erwünscht und der Zielwert durch natürliche Belichtung nicht eingehalten, wird die künstliche Beleuchtung aktiviert, wobei für den Beleuchtungsenergiebedarf 3,4 W/(m²·100 lux) veranschlagt werden.

⁴ Diese ÖNORM wurde am 01.11.2019 zurückgezogen und durch die ÖNORM EN 16798-1 [18] ersetzt, ist jedoch noch im Programm DesignBuilder als Output hinterlegt und hat die gleichen oberen Grenzwerte wie das Nachfolgedokument, während die unteren Grenzwerte lediglich um 1 K höher sind (vgl. EN 16798-1 Bild B.1). Da im vorliegenden Projekt bei den Varianten ohne Kühlanlage die vorrangige Problematik eine Überschreitung des oberen Grenzwertes ist, wurde die ÖNORM EN 15251 [19] dennoch zur Beurteilung des Komforts herangezogen.

Tabelle 30: Zeitplan für die Benutzung künstlicher Beleuchtung in Wohnräumen gem. EN 16798-1 [18]; im Homeoffice wird der gleiche Zeitplan eingehalten wie für die Belegung

	Flat	Homeoffice
	EN 16798-1 Residential, apartment	EN 16798-1 Office, single
00:00	0,000	0,000
01:00	0,000	0,000
02:00	0,000	0,000
03:00	0,000	0,000
04:00	0,000	0,000
05:00	0,000	0,000
06:00	0,150	0,000
07:00	0,150	0,000
08:00	0,150	0,000
09:00	0,150	1,000
10:00	0,050	1,000
11:00	0,050	1,000
12:00	0,050	0,000
13:00	0,050	1,000
14:00	0,050	1,000
15:00	0,050	1,000
16:00	0,200	0,000
17:00	0,200	0,000
18:00	0,200	0,000
19:00	0,200	0,000
20:00	0,200	0,000
21:00	0,200	0,000
22:00	0,150	0,000
23:00	0,150	0,000

Nach einem ersten Simulationsdurchlauf wurde für die im Optimierungs-Tool ausgewählten Parameter-Kombinationen das untere Quartil des Heizenergiebedarfs ermittelt und für den zweiten Simulationsdurchlauf als zu unterschreitende Bedingung festgelegt.

4.3.6. Optimierung nach Kühlenergiebedarf und Beleuchtung

Anschließend wurden alle Varianten unter Berücksichtigung einer Kühlanlage nochmals mit dem Optimierungstool berechnet, die Minimierung der unkomfortablen Stundenanzahl wurde durch die Minimierung des Kühlbedarfs ersetzt und erneut die optimalen Parameter-Kombinationen ermittelt.

Als Zieltemperatur für die Kühlung der Räume wurde eine Lufttemperatur von 25°C für Schlafräume und 27°C für alle anderen Aufenthaltsräume gewählt. Wenn keine Personen anwesend sind, ist eine Temperatur von max. 30°C zulässig.

Die Berechnung des Beleuchtungsenergiebedarfs und die Eingrenzung des Heizenergiebedarfs erfolgen analog zur Optimierung nach Komfort und Beleuchtung (4.3.5).

4.3.7. Einsatz von Sonnenschutz als zusätzliche Dämmschicht im Winterfall bzw. in der Übergangszeit

Um das Potenzial eines Sonnenschutzes als zusätzliche, nächtliche Dämmschicht während der Heizperiode zu untersuchen, wurde eine stark reduzierte Variantenmatrix, basierend auf dem „Worst Case“-Fall, diesbezüglich untersucht. Diese Matrix enthält Verglasungen mit $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, welche jeweils mit gedämmter ($R = 1,00 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$), mit ungedämmter sowie mit referenzgesteuerter ungedämmter Beschattung über den Verlauf eines Jahres simuliert wurden. Die optischen und energetischen Kennwerte der angeführten Verglasungen entsprechen jenen aus der Variantenmatrix der Hauptstudie (Tabelle 1 bis Tabelle 22), die hier auch untersuchte Verglasung mit $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ entspricht, abgesehen vom Wärmedurchgangskoeffizienten, der Verglasung mit $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die optischen Eigenschaften der Beschattungsvarianten „gedämmt“ und „ungedämmt“ sind identisch, in beiden Fällen wird ein außenliegender Textilbehang mit $\rho = 0,5$ und $\tau = 0,1$, jeweils im kurzwelligen IR- und im sichtbaren Bereich, sowie $\varepsilon = \alpha = 0,9$ und $\tau = 0,0$ im langwelligen IR-Bereich angenommen, was auch einer im Rahmen der Hauptstudie untersuchten Beschattungsvariante entspricht.

Um den Dämmeffekt einer solchen Beschattung sinnvoll abzubilden, wurde in der Simulation ein Steuerungsalgorithmus modelliert, der folgende Bedingungen zur Aktivierung abfragt:

- Die Beschattung wird aktiviert, wenn tagsüber (nach Sonnenauf- und vor Sonnenuntergang) im vorherigen Simulationszeitschritt ein Kühlfall aufgetreten ist bzw.
- wenn nachts (nach Sonnenunter- und vor Sonnenaufgang) im vorherigen Simulationszeitschritt ein Heizfall aufgetreten ist.

Die Variante mit ungedämmter Beschattung und standardmäßiger temperaturgesteuerter Aktivierung bei einer Innentemperatur $\geq 24 \text{ °C}$ (siehe Tabelle 1 bis Tabelle 22) entsprechend der Hauptstudie wurde als Referenz herangezogen. Um hier die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, musste eine Kühlanlage modelliert werden, die bei Erreichen einer Innentemperatur von 24 °C aktiviert wird und somit Ihrerseits die Beschattung aktiviert, da hierzu gemäß oben beschriebenem Modell ein Kühlfall erforderlich ist. Da bei sämtlichen Varianten der Hauptstudie mit technischer Kühlung diese erst ab 27 °C aktiviert wird, im vorliegenden Fall jedoch eine Aktivierung bei 24 °C erforderlich ist, konnte als Referenz nur die entsprechende Standardvariante der Hauptstudie ohne technische Kühlung herangezogen werden. Aus diesem Grund wurde der oben beschriebenen Kühlanlage eine maximale Leistung von 1 W zugeordnet, wodurch sie quasi lediglich als Ein/Aus-Schalter für die Beschattung fungiert.

Im Anschluss an die Simulationen wurde der Heizenergiebedarf der einzelnen Varianten verglichen.

4.4. Weiterführende Interpretations- und Prognosemöglichkeiten

Durch das unter 4.3.4 beschriebene Optimierungstool wird bei den Simulationen jeweils eine Vielzahl an Parametern variiert und in unterschiedlichsten Konstellationen kombiniert. Zur Auswertung der Ergebnisse einzelner Simulationen können die resultierenden Zielgrößen betrachtet werden. Eine allgemeine Aussage zum Einfluss einzelner Parameter kann qualitativ durch Betrachtung deren Verwendungshäufigkeit innerhalb von Simulationsvarianten mit guten Ergebnissen der Zielgrößen erfolgen. Eine detaillierte Bewertung der Einflüsse einzelner Parameter innerhalb von konkreten Parameterkombination bedarf jedoch einer fortgeschrittenen Datenanalyse. Um auch die Einflüsse einzelner Parameter und deren Interaktion mit anderen Parametern auf die Zielgrößen feststellen bzw. quantifizieren zu können, wurde daher eine weitergehende statistische Analyse mittels einer multilinenen Regression durchgeführt.

4.4.1. Regressionsmodell

Angewandt wurde eine multiple lineare Regression, somit ein statistisches Verfahren mit welchem die Beziehung zwischen mehreren unabhängigen Variablen (den variierten Parametern) und davon abhängigen Variablen (den jeweiligen Zielgrößen) näherungsweise bestimmt wird. Damit kann, auf Basis der vorliegenden Daten, eine bestmögliche Funktion der jeweiligen Zielgrößen in Abhängigkeit von den einzelnen Parametern abgeleitet werden.

Dabei werden den jeweiligen Parametervariablen Koeffizienten zugeordnet, welche als quantitative Einflussgrößen bzw. Gewichtungen der Parameter auf die untersuchte Zielgröße interpretiert werden können.

Um in späterer Folge die resultierenden Einflussgrößen der einzelnen Parameter als Gewichtungsfaktoren verwenden und interpretieren zu können, wurden die Zielgrößen sowie die Parameter vor Anwendung der Regression normiert. Diese Normierung ermöglicht zur Interpretation der Regressionsergebnisse den Vergleich der Einflüsse der Parameter durch direkte quantitative Gegenüberstellung deren Gewichtungsfaktoren. Zur Normierung wurde mittels linearer Interpolation den Zielgrößen ein Wert zwischen 0 und 1 zugeordnet, wobei 0 dem niedrigsten und 1 dem größten Ergebnis der jeweiligen Zielgröße in der gesamten Datenbasis (gemeinsame Datenbasis aus allen Varianten, der beiden Raummodelle „Standard“ und „Worst Case“) entspricht. Ebenso wurden die Parameter auf einen Wert zwischen 0 und 1 übertragen, wobei auf deren physikalische Aussage Rücksicht genommen wurde. Dichotomen Parametern, also jenen, für welche nur zwei Zustände möglich sind - wie z.B. Lamellenbeschattung vorhanden/nicht vorhanden - wurde entsprechend 1 oder 0 zugeordnet. Eine Zusammenfassung der für die Regression verwendeten Parameter bzw. Zielgrößen und den zugehörigen getroffenen Annahmen zur Normierung ist folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 31: Zuordnung der normierten Größen der Variablen

Variable	Normierung
Heizenergiebedarf	zwischen min. und max. Wert interpoliert
Kühlenergiebedarf	zwischen min. und max. Wert interpoliert
„Komfort“	zwischen min. und max. Wert interpoliert
Beleuchtungsenergiebedarf	zwischen min. und max. Wert interpoliert
Größe der Lüftungsöffnung	zwischen 0 und 1 interpoliert
U _g -Wert der Verglasung	zwischen 0 und max. Wert interpoliert
g-Wert der Verglasung	zwischen 0 und 1 interpoliert
T-Wert der Verglasung	zwischen 0 und 1 interpoliert
Lamellen vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Textiler Behang vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Lamellenwinkel starr (45°) / nachgeführt	0 / 1 zugeordnet
Beschattung außenliegend / innenliegend	0 / 1 zugeordnet
Reflexionsgrad der Beschattung	zwischen 0 und 1 interpoliert
Transmissionsgrad der Beschattung	bei einem textilen Behang: zwischen 0 und 1 interpoliert bei Lamellen: 0
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Steuerkriterium: Zeitgesteuert vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Länge der Auskragung als Verschattung	zwischen 0 und max. Wert interpoliert
Auskragung als Verschattung vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet
Querlüftungsmöglichkeit vorhanden / nicht vorhanden	1 / 0 zugeordnet

Durch Verwendung einer Polynomfunktion zweiten Grades als Basis für die Regression können nicht nur lineare, sondern auch quadratische Einflüsse einzelner Parameter berücksichtigt werden. Des Weiteren treten dabei auch die Produkte der einzelnen Parameter untereinander auf. Dadurch ist es möglich auch den gegenseitigen Einfluss und somit die Interaktion der Parameter untereinander zu quantifizieren. Aus diesen Gründen wurde aus den normierten Variablen eine quadratische Polynomfunktion konstruiert, wodurch sich die Anzahl der bei der Regression zu berücksichtigenden unabhängigen Variablen von 17 auf 170 deutlich erhöhte.

Die Schätzung der Koeffizienten durch die multilineare Regression wurde computergestützt auf Basis der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt. Dazu wurde ein projektspezifisches Softwaretool programmiert, in welches zur Datenverarbeitung die Programmbibliothek „pandas“ [21] und zur numerischen Lösung der Regression die Software-Bibliothek „Scikit-learn“ [22] implementiert wurden.

Die Analyse wurde gesondert für die Raummodellvarianten „Standard“ und „Worst Case“ sowie für die Simulationsvarianten ohne bzw. mit Kühlanlage (siehe 4.3.5 bzw. 4.3.6) durchgeführt. Auch wurde eine unabhängige Modellgleichung für jede der zu untersuchenden Zielgrößen erstellt. Dadurch ergeben sich in Summe somit 12 einzelne Regressionsmodelle.

Anmerkung: Die Beschattungssteuerung 3) „Temperaturgesteuert – variabler Lamellenwinkel 30°-60°“ wurde bei der Regression nicht berücksichtigt, da diese erst nachträglich zu einem späteren Zeitpunkt im Projektablauf hinzugefügt wurde.

4.4.2. Einflussmatrix

Bei der Durchführung der Regression wird jeder Variablen (Parameter bzw. Parameterkombination) ein zugehöriger Koeffizient näherungsweise zugeordnet. Da die Vielzahl an ermittelten Koeffizienten als Ergebnis schwer interpretierbar ist, wurden zur verständlichen Darstellung Einflussmatrizen entwickelt. Diese enthalten in einer übersichtlichen tabellarischen Form alle ermittelten Koeffizienten. Speziell der für die Einflussmatrizen verwendete quadratische Polynomansatz ist optimal für diese Form der Darstellung geeignet. Die Koeffizienten werden in weiterer Folge auch als Gewichtungsfaktoren bezeichnet, da deren betragsmäßige Größe eine direkte Bewertung der Gewichtung der zugehörigen Parameter bzw. Parameterkombinationen innerhalb des jeweiligen Regressionsmodells ermöglicht.

Die Einflussmatrizen sind symmetrisch aufgebaut, wobei jeder Zeile sowie jeder Spalte einer der variierten Parameter zugeordnet ist. Die Gewichtungsfaktoren in den einzelnen Zellen beziehen sich auf die Kombination (rechnerisch das Produkt) der Parameter, deren Zeile bzw. Spalte die Zelle angehört. Die erste Zeile, bzw. die erste Spalte beinhalten die linearen Gewichtungsfaktoren der einzelnen Parameter ohne Interaktion mit weiteren Parametern. Auf der Symmetrieachse (Diagonale von links oben nach rechts unten) liegende Zellen stellen die Gewichtungsfaktoren der quadratischen Einflüsse der zugehörigen Parameter dar. Zur schnelleren visuellen Erfassung von betragsmäßig relevanten Einflussfaktoren wurde die Intensität der Füllfarbe der Zellen entsprechend des Betrags des beinhalteten Gewichtungsfaktors formatiert. Gewichtungsfaktoren mit positivem Vorzeichen führen zu einer Erhöhung der abgebildeten Zielgröße, jene mit negativem Vorzeichen zu einer Reduktion der Zielgröße. Da eine Erhöhung sowohl des Heizenergiebedarfs als auch des Kühlenergiebedarfs, der Anzahl an thermisch unbehaglichen Stunden (als „Komfort“ bezeichnet) und des Beleuchtungsenergiebedarfs - somit aller betrachteten Zielgrößen – als negative Auswirkungen zu verstehen ist, werden diese rötlich markiert. Umgekehrt werden Gewichtungsfaktoren mit einem negativen Vorzeichen (welche also zu einer Reduktion der Zielgröße führt) aufgrund deren positiven Einflusses grünlich gefärbt.

Für Parameterkombinationen welche entweder ausschließlich (wie z.B. Lamellenwinkel und Lamellen) oder aus gegebenen Umständen gar nicht vorkommen können (Lamellenwinkel und textiler Behang) wurden die Koeffizienten bei der Regressionsberechnung nicht berücksichtigt. Dasselbe gilt für quadratische Einflüsse von dichotomen Parametern (da das Quadrat dieser Parameter in beiden möglichen Zuständen – also 0 und 1 – ident den einfachen Parametern ist). In den genannten Fällen werden in den betroffenen Zellen der Einflussmatrizen „-“ anstatt eines Gewichtungsfaktors angeführt.

Um eine leichtere Interpretation der relevantesten Gewichtungsfaktoren, welche einen signifikanten Einfluss auf die Zielgrößen aufweisen, zu ermöglichen, wurde zu jeder Einflussmatrix auch eine reduzierte Version erstellt. Dazu wurden bei jeder Einflussmatrix jene Gewichtungsfaktoren ausgewählt, welche für 85 % der betragsmäßigen Summe aller Gewichtungsfaktoren verantwortlich sind. Mittels dieser deutlich reduzierten Anzahl an ausgewählten Gewichtungsfaktoren wurde anschließend die Regression erneut durchgeführt und deren Ergebnisse in der reduzierten Version der Einflussmatrizen dargestellt. Anzumerken ist, dass das Bestimmtheitsmaß und der Standardfehler (siehe auch 5.3.1) der so reduzierten Version der Regressionsmodelle bei keiner Variante signifikant von den ursprünglichen Versionen abweichen. Die in den reduzierten Versionen der Einflussmatrizen aufgrund deren zu geringen Einflusses ausgeschlossenen Gewichtungsfaktoren sind durch „x“ in deren Zelle gekennzeichnet.

4.4.3. Prognosemöglichkeit

Zur Beurteilung der Möglichkeit Regressionsmodelle zur Vorhersage der Zielgrößen auf Basis von gegebenen Parametern zu treffen – somit ein allgemeines Prognosemodell erstellen zu können – wurden neben den Regressionsmodellen der Einflussmatrizen noch erweiterte Regressionsberechnungen durchgeführt.

Während bei den Regressionsmodellen für die Einflussmatrizen, aufgrund der übersichtlichen zweidimensionalen Darstellbarkeit der Ergebnisse, eine quadratische Polynomfunktion als Basis gewählt wurde, wurden im Hinblick auf die Verwendung für Prognosemodelle auch Polynomfunktionen höheren Grades untersucht. Diese führen zu einer deutlich höheren Anzahl an unabhängigen Variablen und können durch diese erhöhte Anzahl an Freiheitsgraden des Systems – auch abhängig von den physikalischen Zusammenhängen der Datengrundlage – zu einer besseren Abbildung der Daten durch das Regressionsmodell führen.

Vor der Durchführung der Regression wurden die Datensätze zufallsgesteuert in zwei Datensätze aufgeteilt. Der Trainingsdatensatz, welcher 80 % der Daten enthält, wurde verwendet, um mittels dem Regressionsmodell die Koeffizienten der unabhängigen Variablen zu berechnen. Die übrigen 20 % der Daten, welche bei der Regression nicht berücksichtigt wurden, stellen den Testdatensatz dar. Dieser wurde verwendet, um die Eignung des resultierenden Regressionsmodells zur Vorhersage der Zielgrößen zu überprüfen. Die Anteile zur Aufteilung der Daten wurden vorab definiert und haben keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse. Zur Feststellung der Unabhängigkeit der zufällig getroffenen Aufteilung an Trainings- und Testdatensatz, wurde dieser Prozess mehrfach durchgeführt.

5 Ergebnisse

5.1. Vorstudie - Haustechnikelement Coole Fenster

Im Zuge der Vorstudie wurden die Auswirkungen der variierten Parameter auf den Jahreskühl- und den Jahresheizbedarf ermittelt, um eine erste Orientierung hinsichtlich deren Relevanz und der Ergebnisqualität zu erhalten. In den folgenden Diagrammen (Abbildung 14 bis Abbildung 18) sind alle berechneten Simulationsergebnisse als Datenpunkte dargestellt, wobei die zugehörigen Auswirkungen auf den Jahresheizbedarf gegen die Auswirkungen auf den Jahreskühlbedarf aufgetragen sind. Jedes dieser Diagramme beinhaltet exakt dieselben Ergebnisse. Allerdings sind die Datenpunkte entsprechend unterschiedlichen Parametern eingefärbt, wodurch sich ein Eindruck zu deren Auswirkungen gewinnen lässt. Ein niedriger Gesamtenergiebedarf setzt sich aus einem geringen Heizenergiebedarf und einem geringen Kühlenergiebedarf zusammen. Die Datenpunkte solcher Simulationsvarianten sind somit links, unten in den Diagrammen zu finden.

Anmerkung: eine betragsmäßig negative Auswirkung auf den Heizenergiebedarf bedeutet, dass durch das System Fenster und Beschattung, mehr Heizenergie aufgrund solarer Gewinne reduziert, als zusätzlich durch Transmissionswärmeverluste erhöht wird.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist die von der Hauptstudie abweichende Definition der Lamellenwinkel zu berücksichtigen (siehe Anmerkung unter 4.2).

Darstellung nach Fenstergröße

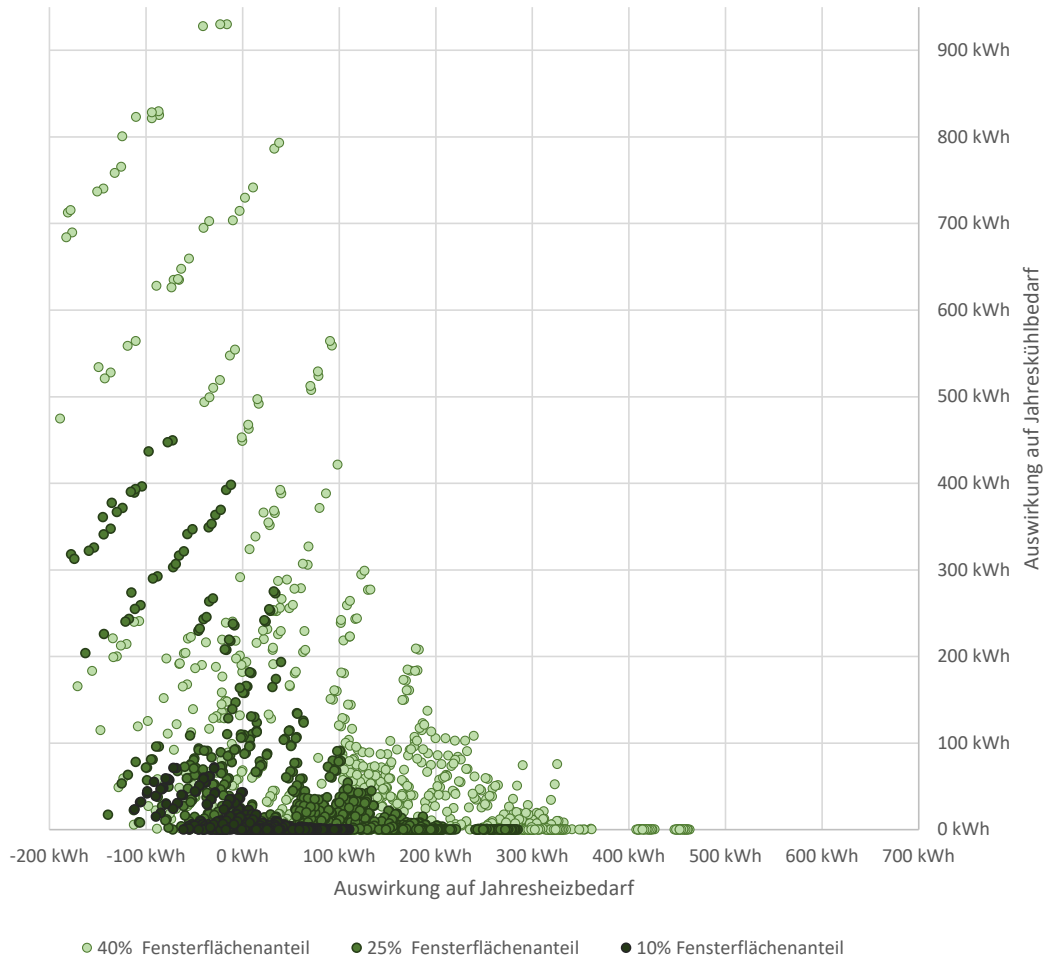


Abbildung 14: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Fenstergröße

Abbildung 14 stellt den Einfluss der Fenstergröße dar. Dabei ist gut ersichtlich, dass die Auswirkung der Fenstergröße sowohl auf den Heizenergiebedarf als auch den Kühlenergiebedarf – also in Summe den Gesamtenergiebedarf – erheblich ist. Die farblich ersichtliche Verteilung der drei Fenstergrößen zeigt, dass eine sehr konzentrierte Clusterbildung aufgrund der Fenstergröße vorliegt. Dabei bildet die kleinste Fenstergröße das flächenmäßig kleinste Cluster. Durch eine Erhöhung der Fensterfläche wird das Cluster jeweils in dessen Größe skaliert, ohne die relative Verteilung der Datenpunkte innerhalb des Clusters signifikant zu beeinflussen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Größe des Fensters primär das Ausmaß dessen energetischer Auswirkungen beeinflusst, nicht jedoch die Art der Interaktion mit weiteren Eigenschaften des Fensters oder der Beschattung.

Darstellung nach Orientierung

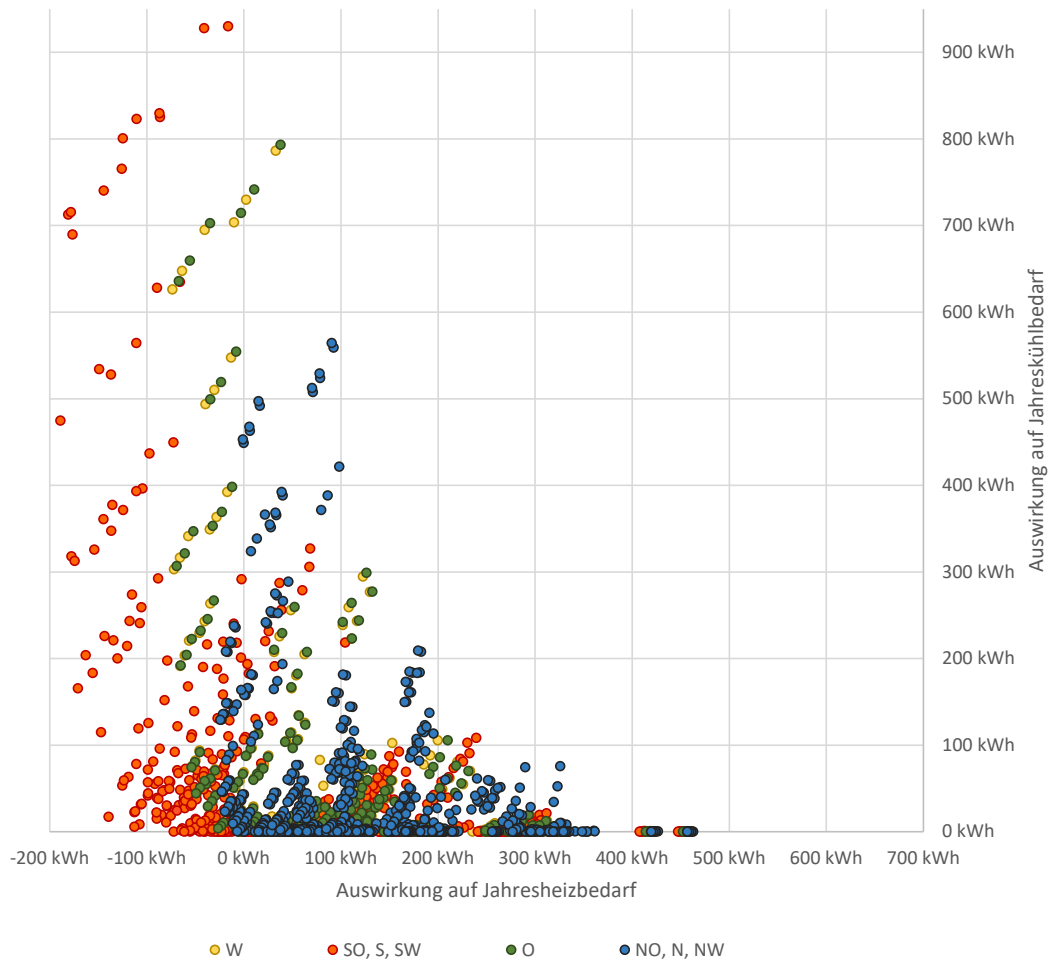


Abbildung 15: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Orientierung

Anders als bei der Fenstergröße zeigt Abbildung 15 eine diffusere Verteilung der Auswirkungen der Orientierung der Fenster auf die Simulationsergebnisse. Dies bedeutet, dass der betragsmäßige Einfluss der Orientierung als deutlich geringer einzustufen ist als jener der Fenstergröße. Südliche Orientierungen (also SO, S, SW zusammengefasst) weisen – wie zu erwarten – zwar mehr Potenzial auf den Heizenergiebedarf zu reduzieren, sind allerdings deutlich kritischer in Hinblick auf den sommerlichen Kühlenergiebedarf.

Darstellung nach Bauweise

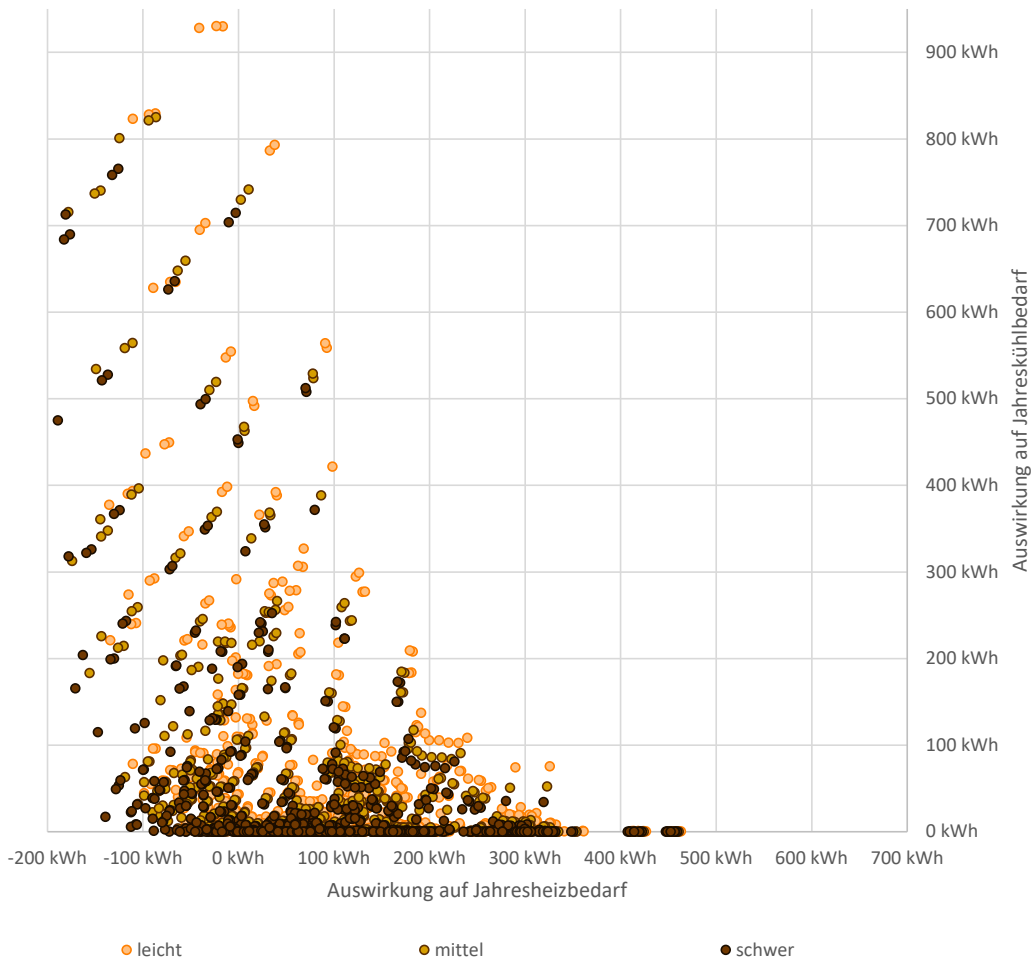


Abbildung 16: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Bauweise

Ein noch diffuseres Bild als die Darstellung der Orientierung zeigt Abbildung 16 mit den Ergebnissen der Bauweise, deren Einfluss auf die energetischen Auswirkungen des Fensters somit als sehr gering einzustufen ist, in Relation zu den übrigen betrachteten Parametern. Qualitativ lässt sich aus der Darstellung ein geringfügiger Vorteil der schweren Bauweise ableiten, wobei die leichte Bauweise primär einen Einfluss auf den Kühlenergiebedarf zeigt.

Darstellung nach Verglasungsparameter

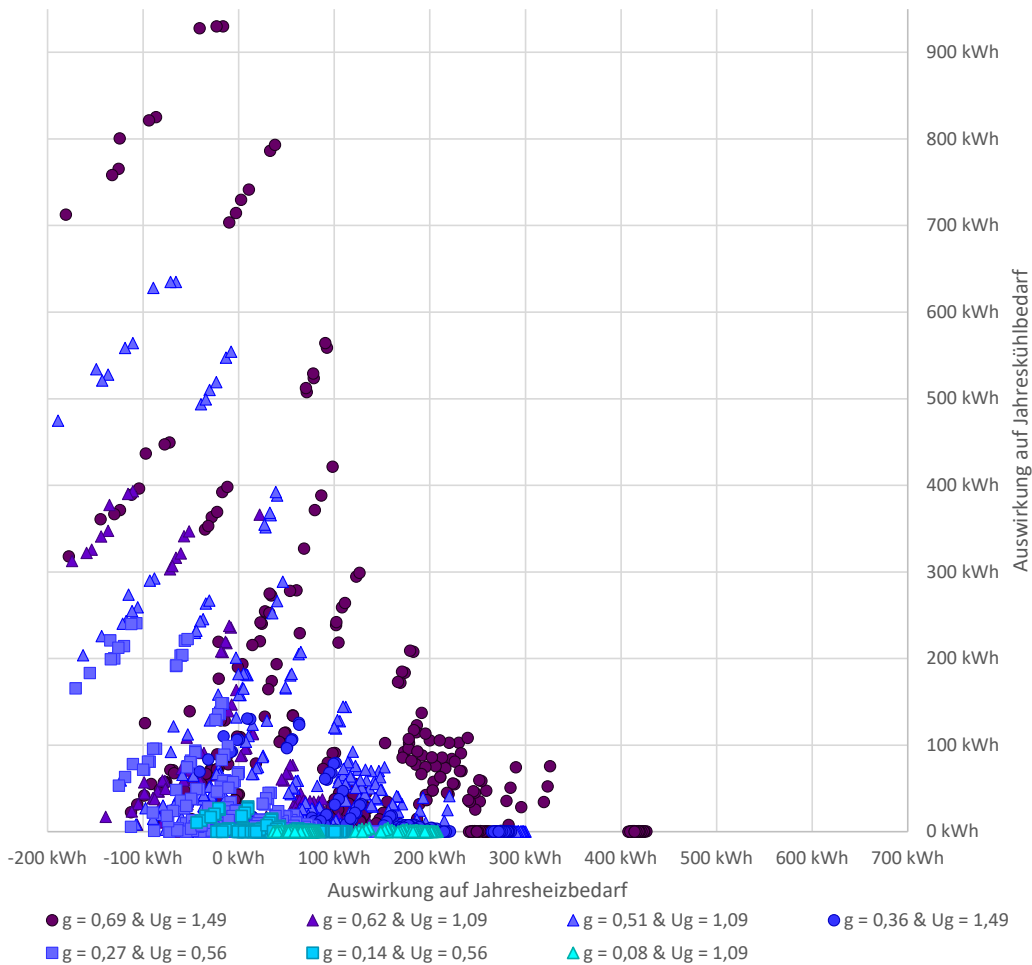


Abbildung 17: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Verglasungsparameter

Die Auswirkungen der Verglasungseigenschaften sind in Abbildung 17 dargestellt. Sehr niedrige g-Werte der Verglasung vermeiden zwar Auswirkungen auf den Kühlenergiebedarf, verhindern allerdings auch positive Auswirkungen auf den Heizenergiebedarf. Hohe g-Werte hingegen ermöglichen eine Reduktion des Heizenergiebedarfs, führen aber zu einem sehr hohen Kühlenergiebedarf insofern nicht zusätzliche Maßnahmen, wie einer Beschattung, ergriffen werden. Die in Hinblick auf den Gesamtenergiebedarf am besten bewerteten Simulationsvarianten weisen einen g-Wert zwischen 0,5 und 0,7 auf. Hohe U_g -Wert der Verglasung führen sowohl zu einem höheren Kühl- als auch einen höheren Heizenergiebedarf. In Bezug auf die quantitativen Auswirkungen sind die Eigenschaften der Verglasung ähnlich zu bewerten, wie jene der Fenstergröße.

Darstellung nach Beschattung

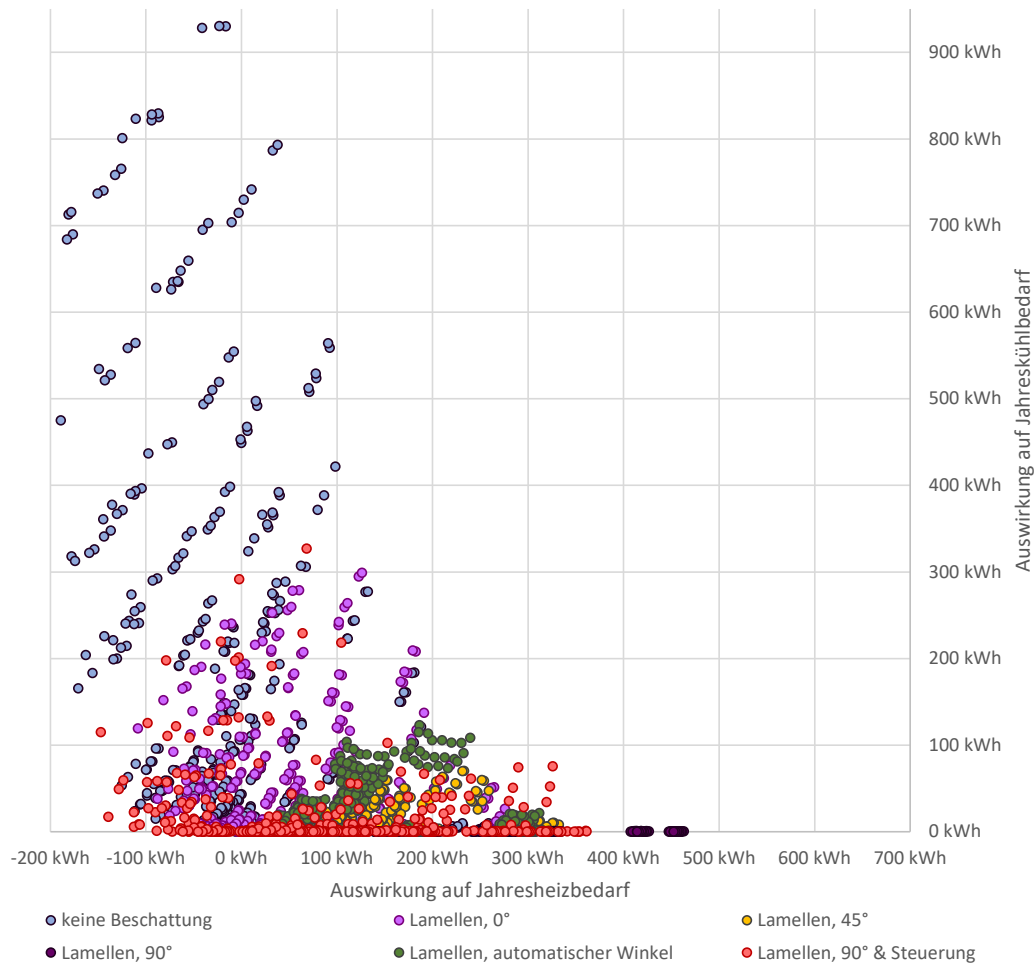


Abbildung 18: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Beschattung mittels Lamellen

Die Auswirkungen der Beschattung ist Abbildung 18 zu entnehmen. Dabei ist speziell der Unterschied zwischen den Ergebnissen von Varianten mit einer Beschattung im Vergleich zu den Varianten ohne jegliche Beschattung auf den Kühlenergiebedarf enorm. In Hinblick auf den Lamellenwinkel ist die Streuung der Ergebnisse mit einem Lamellenwinkel von 0° (horizontale Stellung) noch recht hoch, speziell der Kühlbedarf jedoch deutlich reduziert im Vergleich zu den Varianten ohne Beschattung. Durch einen Lamellenwinkel von 90°, bei welchem die Lamellen komplett geschlossen sind, werden jegliche solaren Einträge durch das Fenster verhindert, wodurch zwar - wie zu erwarten - keine Auswirkungen auf den Kühlenergiebedarf entstehen, der Heizenergiebedarf jedoch erhöht wird, da Transmissionswärmeverluste in der Heizphase durch das Fenster nicht durch solare Gewinne kompensiert werden können. Ein Lamellenwinkel von 45° reduziert im Vergleich zur horizontalen Stellung der Lamellen den Kühlenergiebedarf, erhöht jedoch den Heizenergiebedarf. Die Ergebnisse der Varianten mit Lamellen, deren Winkel entsprechend dem Sonnenstand nachgeführt wird („AC-Winkel“), liegen zwischen den Ergebnissen der Varianten mit 0° und den Varianten mit 45° Lamellenwinkel. Die besten Ergebnisse erzielen jene Varianten mit einem Lamellenwinkel von 90°

und einer automatischen Steuerung der Beschattung, welche abhängig von der Jahreszeit die Beschattung bei vorhandener Globalstrahlung aktiviert bzw. deaktiviert.

Eine vollständige Zusammenfassung aller in der Vorstudie berechneten Simulationsvarianten bietet Abbildung 19. In dem obersten darin enthaltenen Diagramm werden für jede durchgeführte Simulationsvariante die Auswirkung des Fensters auf den Heizenergiebedarf in Rot sowie auf den Kühlenergiebedarf in Blau, als aufeinandergesetzte Säulen dargestellt (Zur Berechnung wurde von den Simulationsergebnissen der Basisenergiebedarf des Raumes ohne Fenster subtrahiert). Eine Reduktion des Heizenergiebedarfs stellt dabei einen negativen Wert dar. Sortiert sind die Ergebnisse aufsteigend nach der Summe des Heiz und des Kühlenergiebedarfs – somit dem Gesamtenergiebedarf. In den übrigen Diagrammen sind die den direkt darüber liegenden Simulationsergebnissen zugehörigen Parameter, ebenfalls als Säulen, angeführt. Diese kompakte Darstellung der Simulationsvarianten wurde gewählt, um eine einfache visuelle Abschätzung der Einflüsse der einzelnen Parameter zu ermöglichen.

Die dabei ersichtlichen Zusammenhänge decken sich mit den bereits in diesem Kapitel angeführten Interpretationen zu den Punktwolkendiagrammen der einzelnen Parameter. So ist beispielsweise ersichtlich, dass die Größe der Auswirkungen am deutlichsten von der Fenstergröße beeinflusst wird, wohingegen der Einfluss der Orientierung deutlich geringer ausfällt und alle Himmelsrichtungen über das gesamte Spektrum der Ergebnisse vorhanden sind.

Ersichtlich ist auch, dass die Simulationsvarianten mit großen Fenstern und südlicher Orientierung (S, SW, SO) in Kombination mit einer Verglasung mit höherem g-Wert, einer schweren Bauweise und einer gesteuerten Beschattung die besten Ergebnisse erzielen.

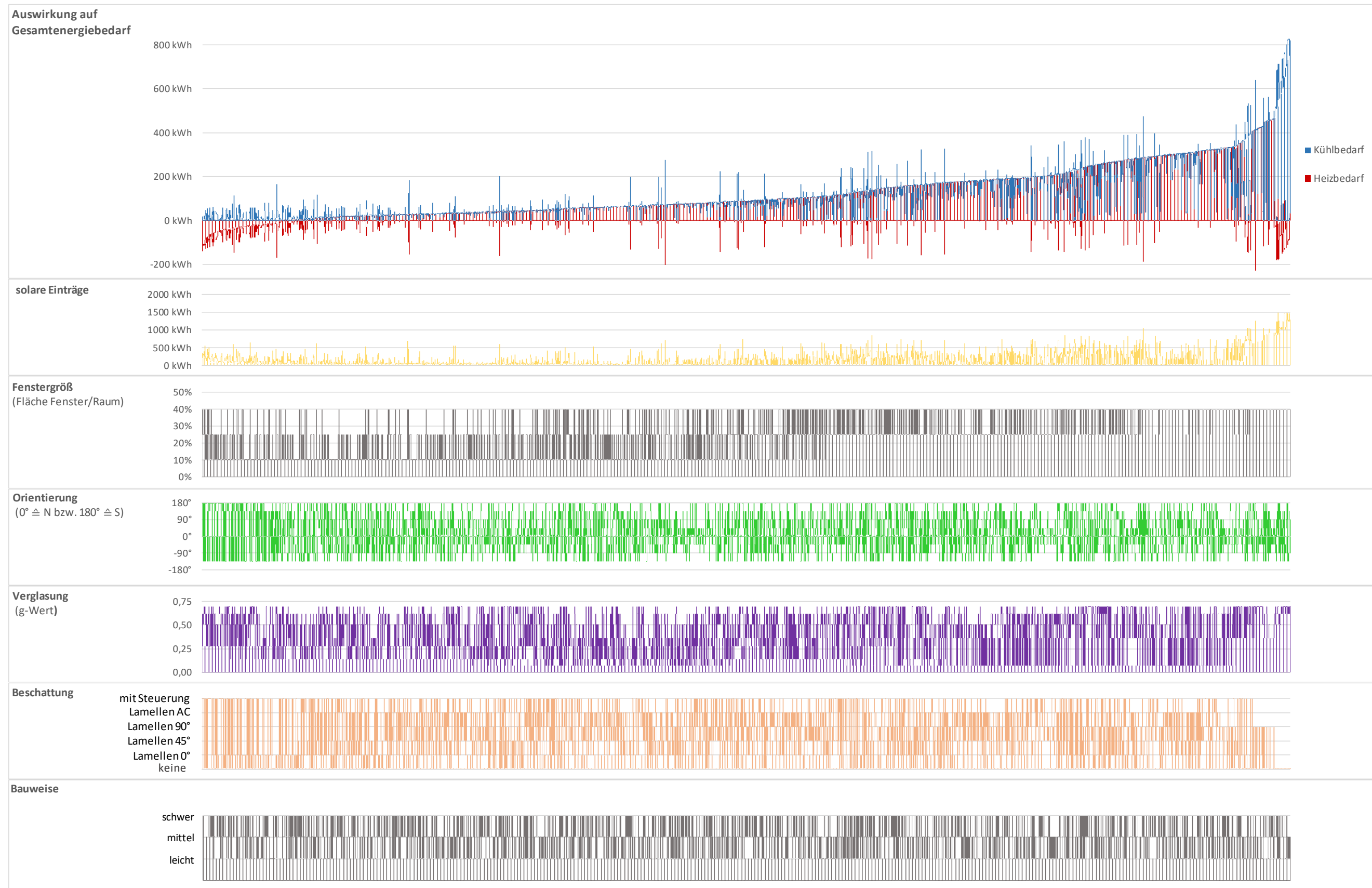


Abbildung 19: Grafische Zusammenfassung aller in der Vorstudie berechneten Simulationsvarianten, inkl. der variierten Parameter, sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf

5.2. Hauptstudie - Wirkung Haustechnikelement Coole Fenster im Wohnungsverband

5.2.1. Simulation mit DesignBuilder

Die wesentlichen Ergebnisse der Simulationen für die Basisvarianten im zeitlichen Verlauf sind in Abbildung 20 bis Abbildung 27 jeweils für die Tages- und Monatswerte mit und ohne Kühlanlage enthalten.

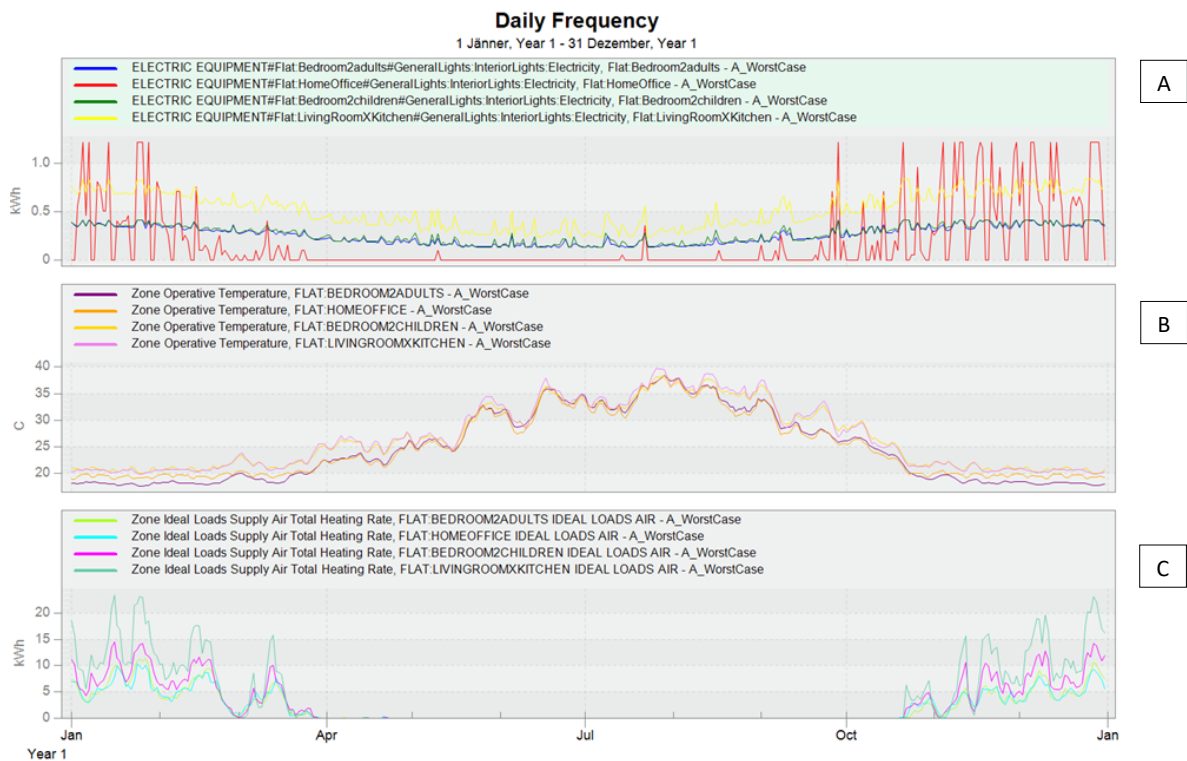


Abbildung 20: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

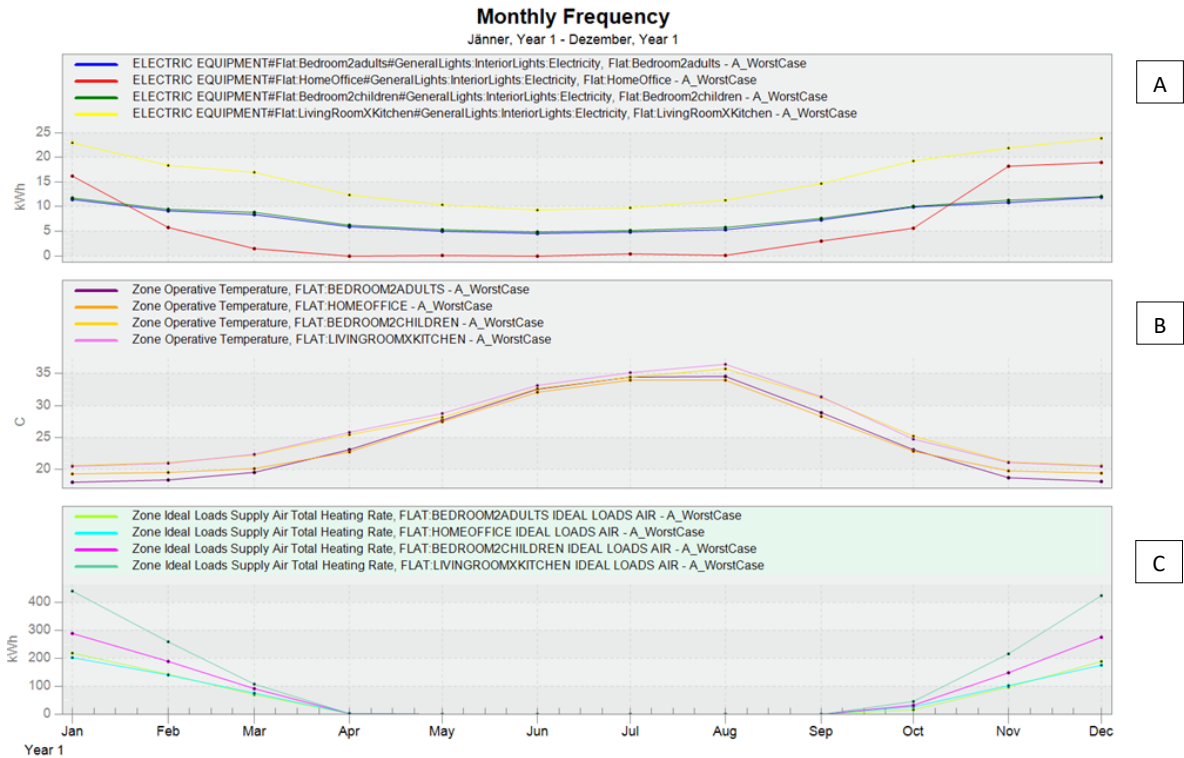


Abbildung 21: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

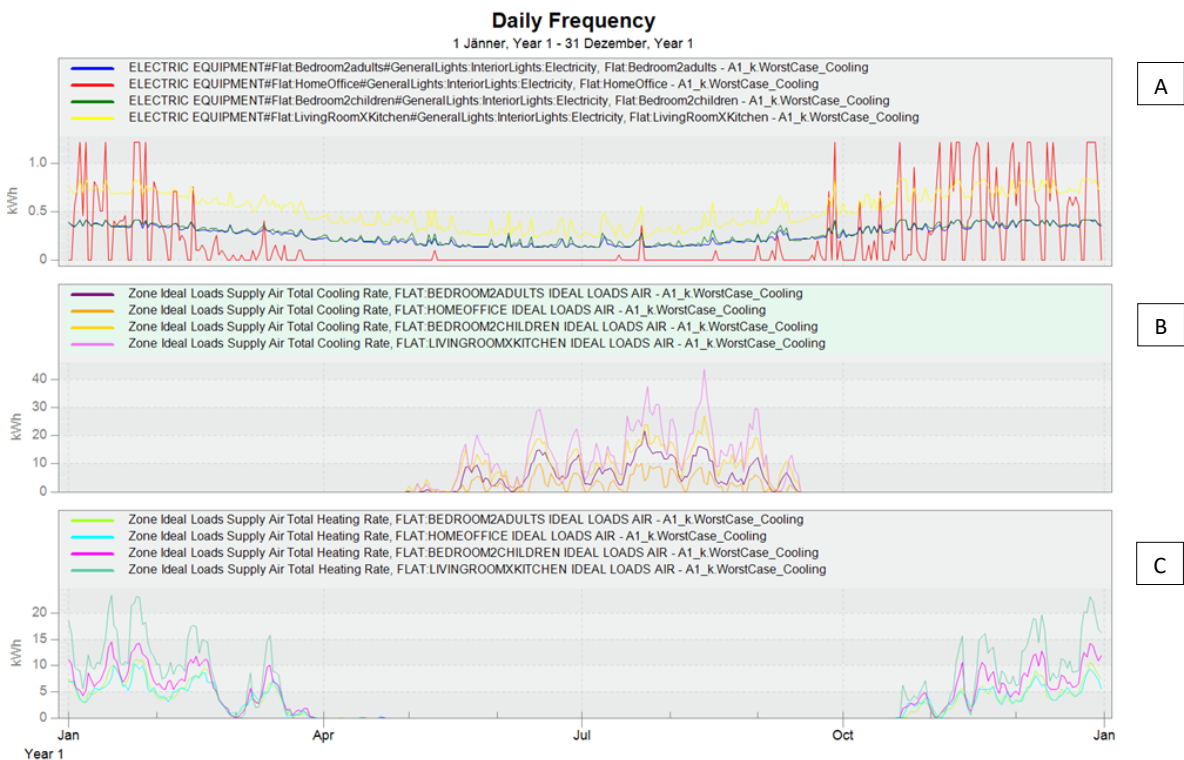


Abbildung 22: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

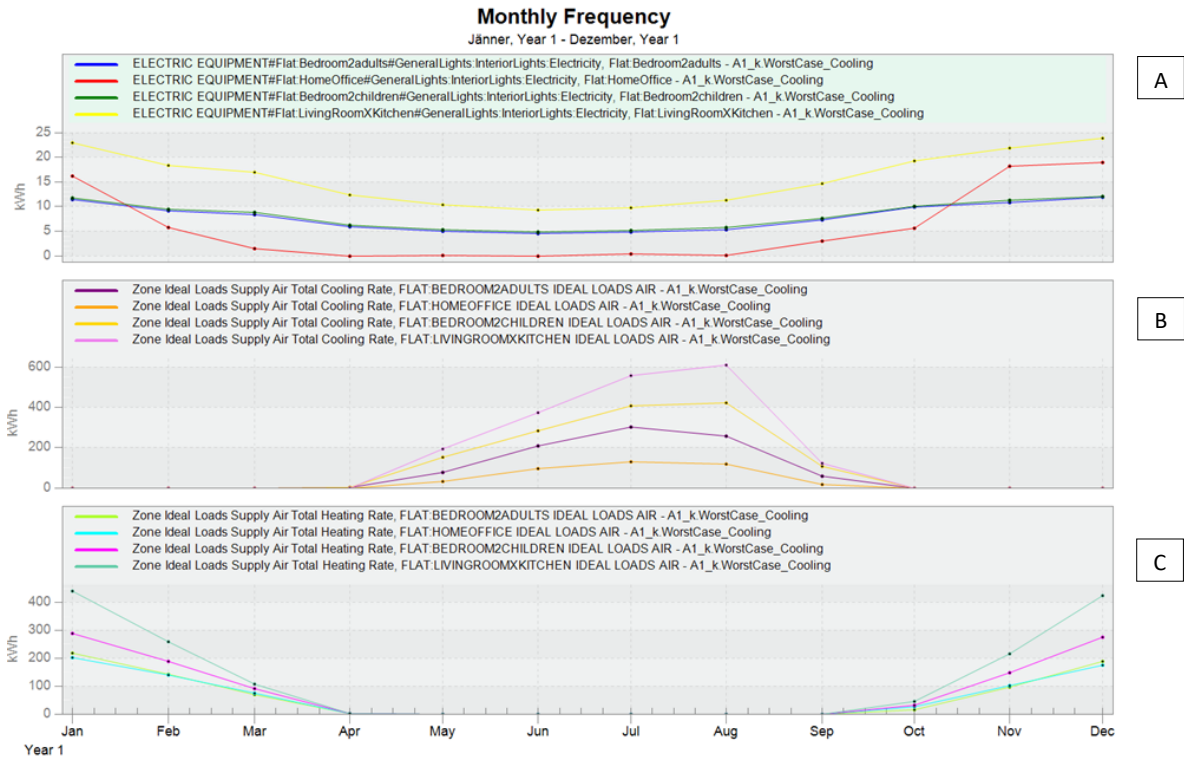


Abbildung 23: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

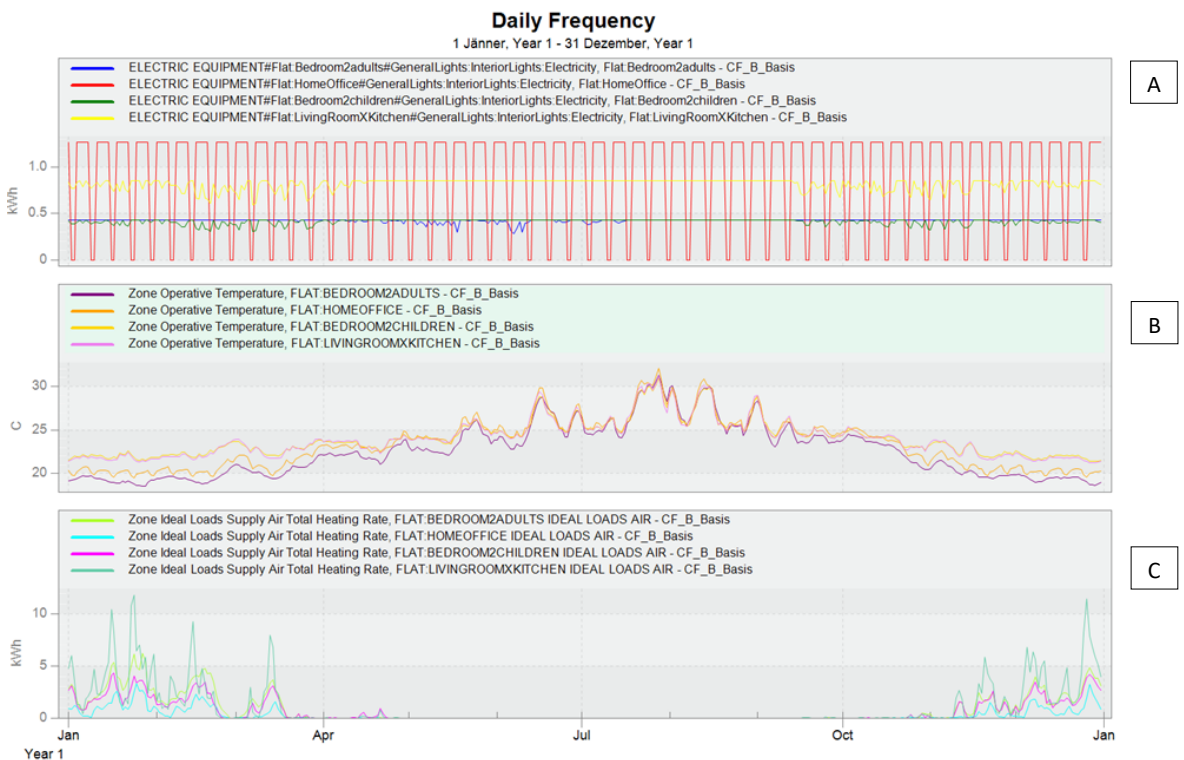


Abbildung 24: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

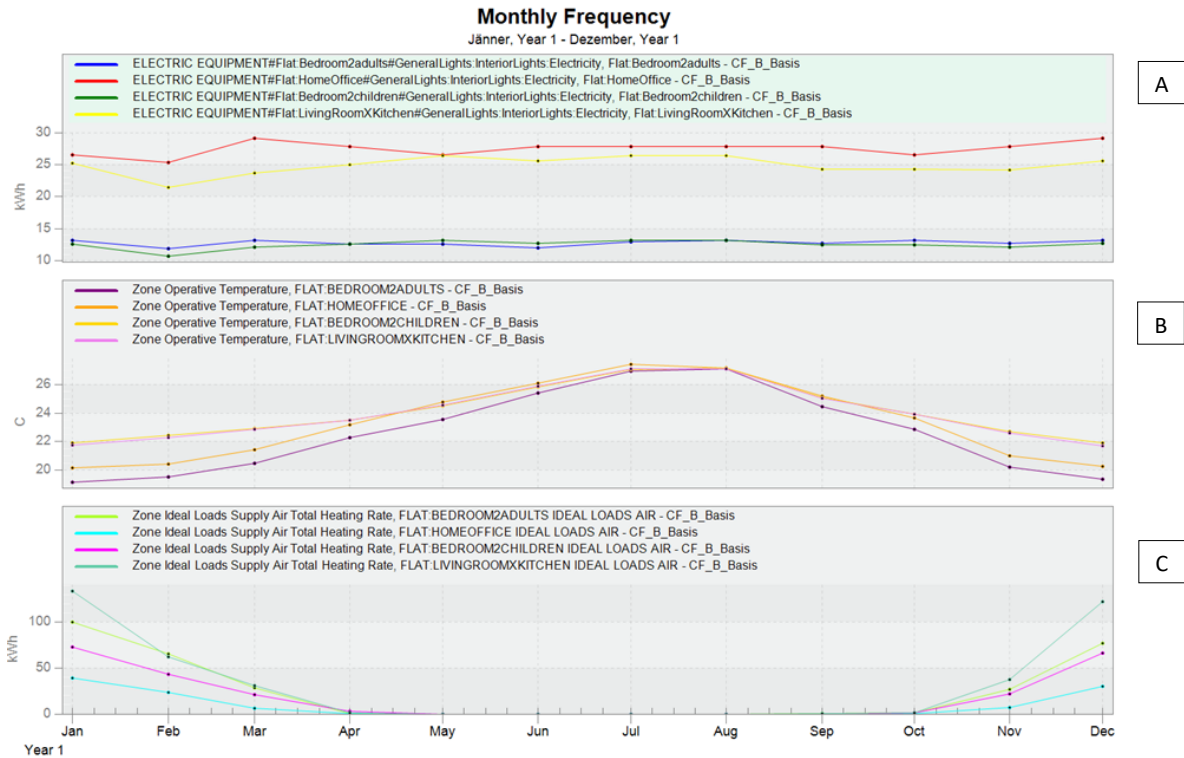


Abbildung 25: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

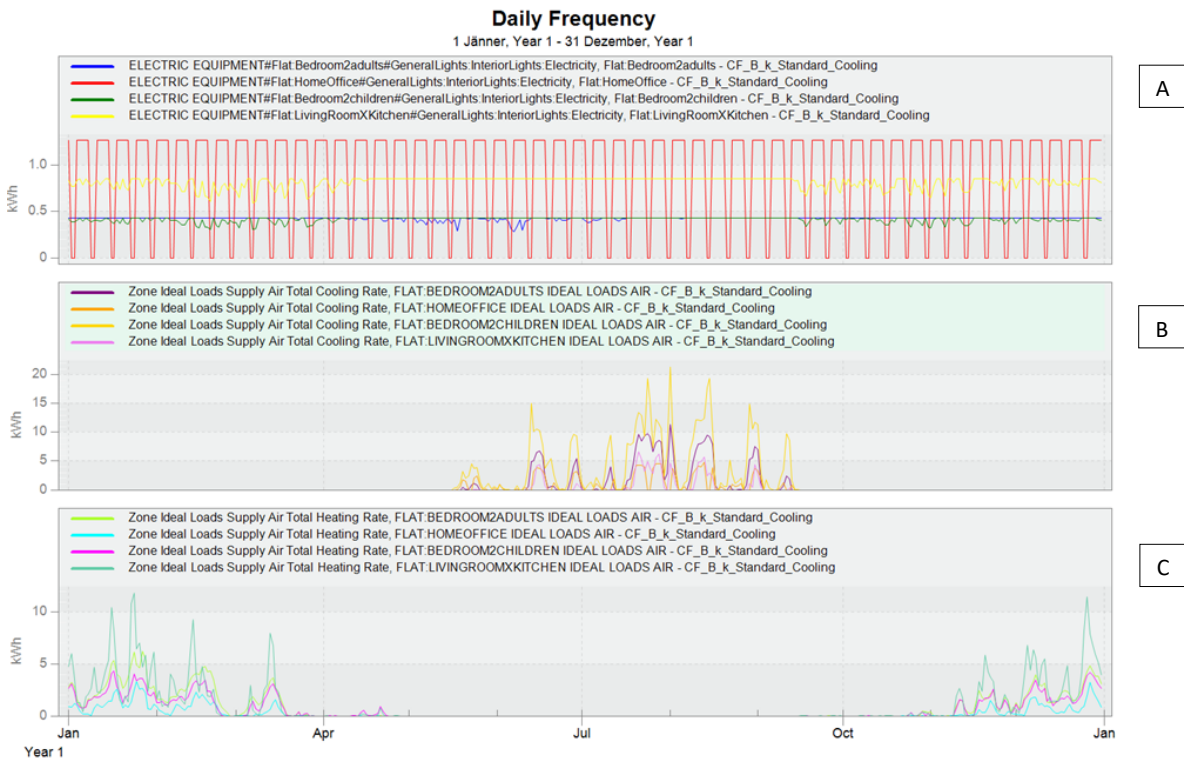


Abbildung 26: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

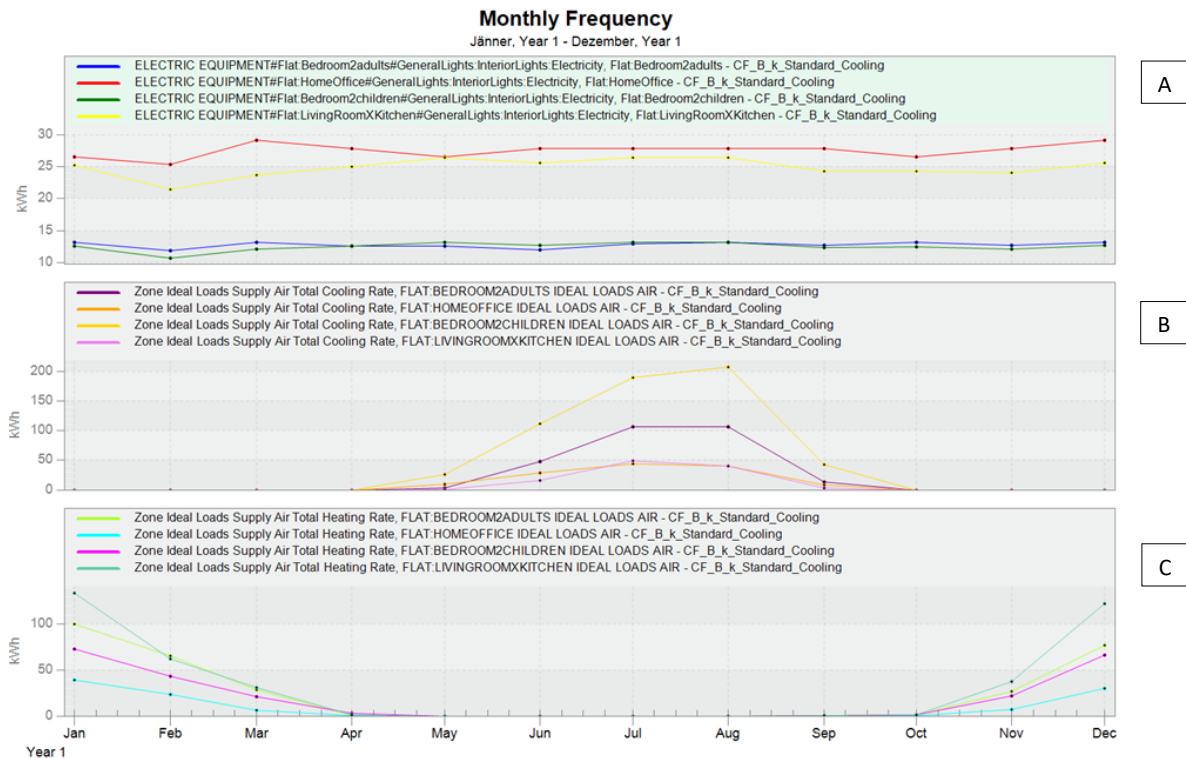


Abbildung 27: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]

5.2.2. Ergebnisse nach Optimierung

Allgemeines zur Auswertung der Optimierung

Bei der Auswertung der Ergebnisse aus der Optimierung in DesignBuilder werden nur jene Parameterkombinationen als optimal bezeichnet, die auf der Pareto-Front liegen, was bedeutet, dass hier auch Kombinationen aufgelistet werden, die zwar einen sehr niedrigen Wert einer Zielgröße aufweisen, dafür aber einen sehr hohen Wert einer anderen Zielgröße (z.B. einen sehr hohen Beleuchtungsenergiebedarf bei niedrigem Kühlbedarf oder umgekehrt). Zusätzlich werden dadurch Kombinationen nicht berücksichtigt, die sehr nahe an der Pareto-Front liegen und auch bei Summierung der Zielgrößen niedrigere Werte aufweisen als Kombinationen in den Randbereichen der Pareto-Front.

Aus diesem Grund wurde von einer direkten Verwertung der als von DesignBuilder optimal bezeichneten Ergebnisse abgesehen und stattdessen jene Kombinationen als optimal eingestuft, die den Medianwert der beiden Zielgrößen unterschreiten.

In Tabelle 32 ist zur besseren Lesbarkeit der Ergebnisse eine Kurzbeschreibung der Varianten abgebildet; eine detaillierte Aufstellung der Parameter ist in Tabelle 1 bis Tabelle 22 enthalten.

Tabelle 32: Kurzbeschreibungen der Varianten

A1/ A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel
B1/ B1_k.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel
A2/ A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel
B2/ B2_k.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel
A4/ A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
B3/ B3_k.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
A4/ A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel
B4/ B4_k.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel
A5/ A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel
B5/ B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel
A6/ A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel
B6/ B6_k.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel
A7/ A7_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$
A8/ A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel

Anmerkung zur Optimierung nach Komfort

Als Nachteile bei dieser Zielgrößendefinition sind zu berücksichtigen, dass andere Komfortkriterien nicht in die Beurteilung der Komfortstunden einfließen (beispielsweise könnte die durch eine Nachtlüftung entstehende Zugluft als unkomfortabel empfunden werden, die rein thermische Beurteilung aber begünstigen), und dass nur eine sehr grobe Einteilung in komfortabel oder nicht komfortabel erfolgt, die keine quantitative Beurteilung der Überschreitung zulässt (d.h. es ist auch nicht ersichtlich, ob die Innentemperatur während der Überschreitung in eine andere Kategorie fällt oder diese auch überschreitet).

Einfluss der Auskrägung - Ergebnisse

In Abbildung 28 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Art der Auskrägung (blau: keine Auskrägung; orange: 1m Auskrägung mit 1m seitlichem Überstand; violett: 2m Auskrägung mit 1m seitlichem Überstand). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 33: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.092
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.600
Gesamtsumme	5.692
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	855 kWh
Median unkomfortabler Stunden	800 h
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Ohne Auskragung	1.056
- davon in Medianbereich	364
1 m Auskragung	700
- davon in Medianbereich	198
2 m Auskragung	336
- davon in Medianbereich	50

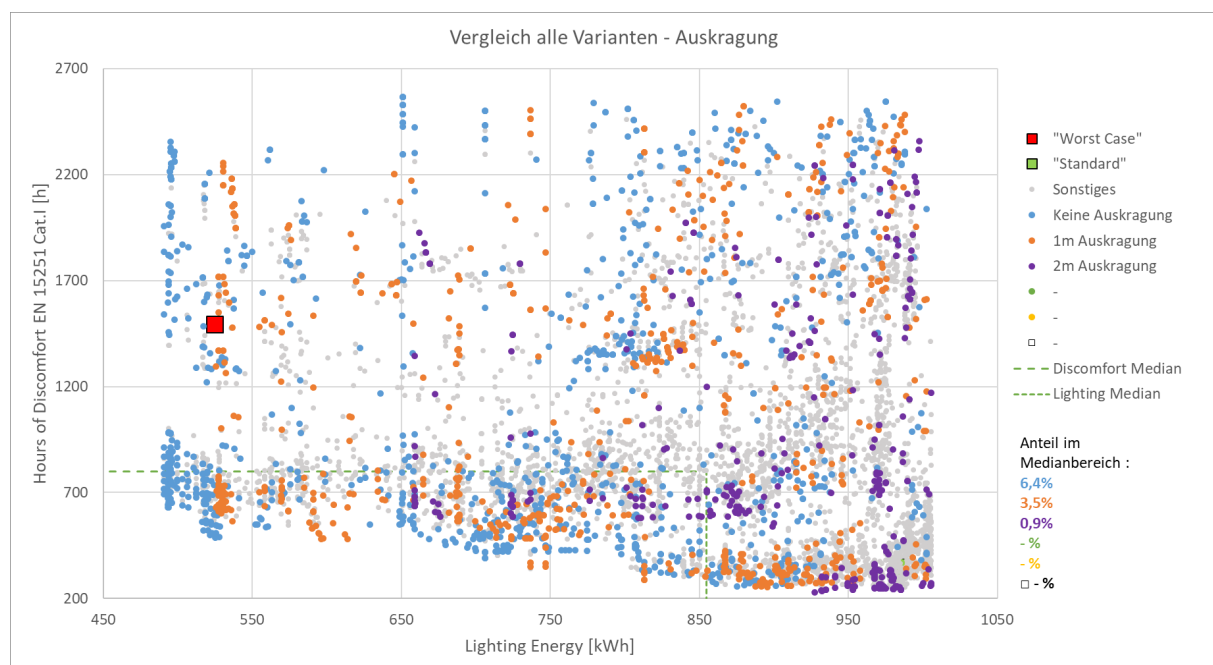


Abbildung 28: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskragung (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 29 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Art der Auskragung (blau: keine Auskragung; orange: 1m Auskragung mit 1m seitlichem Überstand; violett: 2m Auskragung mit 1m seitlichem Überstand). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 34: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 29

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.960
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	4.058
Gesamtsumme	7.018
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	883 kWh
Median Kühlenergiebedarf	1.727 kWh
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Ohne Auskragung	1.294
- davon in Medianbereich	211
1 m Auskragung	1.014
- davon in Medianbereich	161
2 m Auskragung	652
- davon in Medianbereich	114

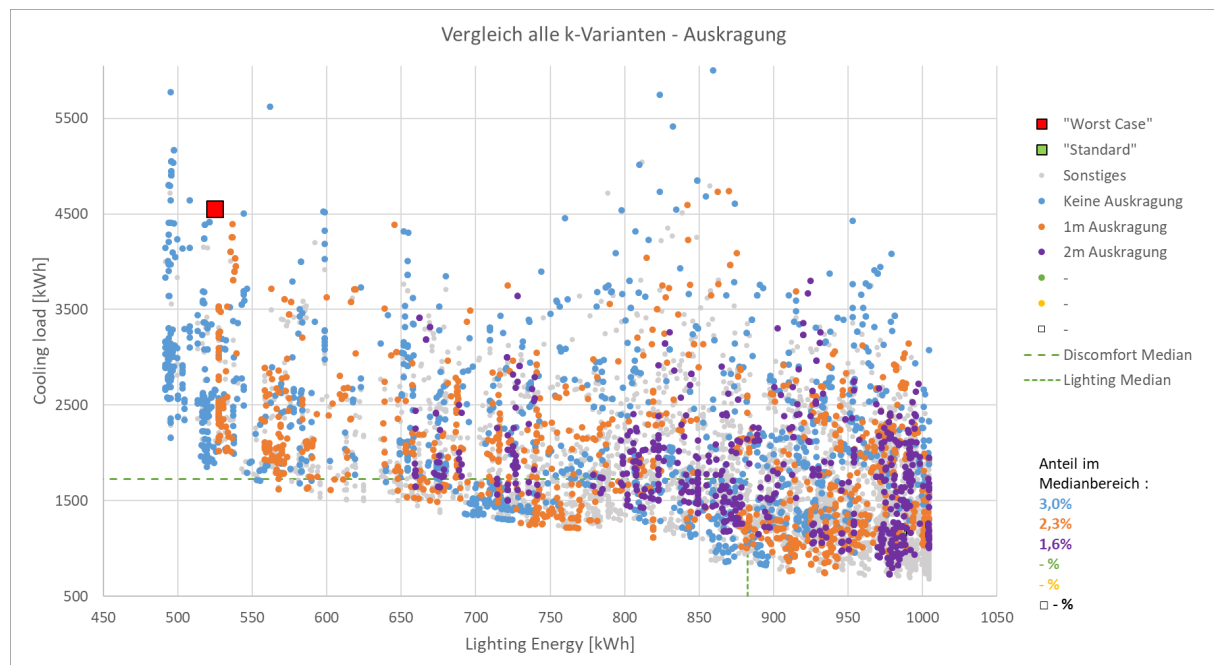


Abbildung 29: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskragung (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss der Auskrugung - Interpretation

In Abbildung 28 und Abbildung 29 ist ersichtlich, dass sich bereits verhältnismäßig geringe Auskrugungen von 1 m oder 2 m negativ auf die Tageslichtausnutzung auswirken und den Beleuchtungsenergiebedarf erhöhen. Bei der Optimierung nach Kühlbedarf ist vor allem bei 2 m Auskrugung ein positiver Einfluss auf die Reduktion des Kühlbedarfs zu erkennen, bei 1 m Auskrugung liegen die Ergebnisse der Parameter-Kombinationen nur noch geringfügig unter jenen ohne Auskrugung.

In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die Medianbereiche vergrößert und die Kombinationen ohne zusätzliche Beschattung hervorgehoben (schwarze Umrandung). Bei allen drei Auskrugungstiefen liegen deutlich mehr Punkte mit zusätzlicher Beschattung im optimalen Bereich als Punkte ohne Beschattung. Der im Wohnbau derzeit übliche Verzicht auf Beschattungselemente aufgrund einer vorhandenen baulichen Verschattung wie beispielsweise Balkonen, kann daher nicht pauschal empfohlen werden, wenngleich er für einzelne Gebäudesituationen möglich sein kann.

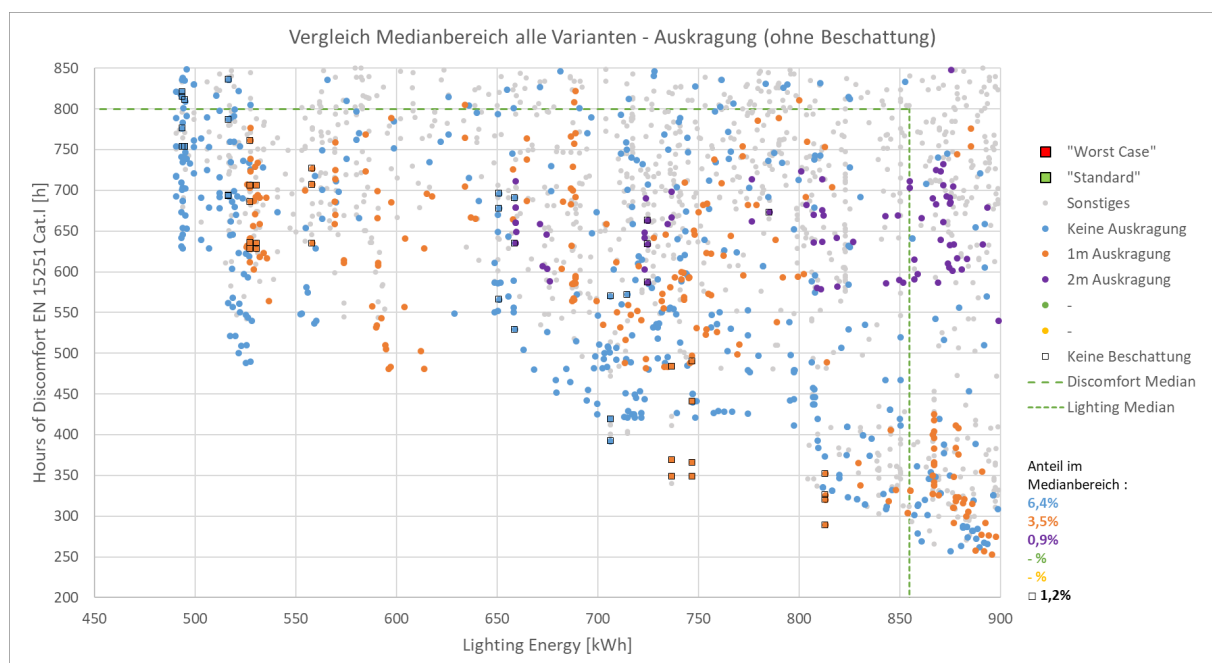


Abbildung 30: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskrugung im Medianbereich, Kombinationen ohne Beschattung hervorgehoben

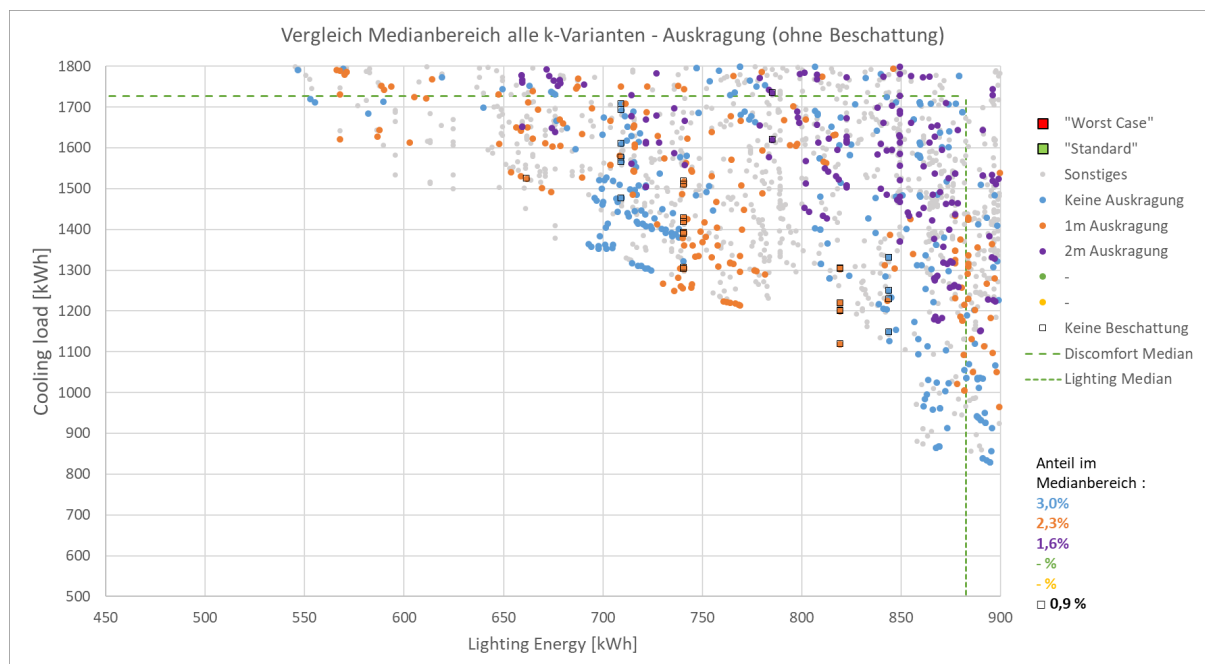


Abbildung 31: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskrugung im Medianbereich, Kombinationen ohne Beschattung hervorgehoben

Einfluss der Beschattungsposition - Ergebnisse

In Abbildung 32 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Position der Beschattung (blau: keine Beschattung; orange: Innenbeschattung; violett: Außenbeschattung). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 35: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 32

<u>Anzahl Parameter-Kombinationen</u>	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.092
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.600
Gesamtsumme	5.692
<u>Medianwerte</u>	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	855 kWh
Median unkomfortabler Stunden	800 h
<u>Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)</u>	
Ohne Beschattung	219
- davon in Medianbereich	71
Innenbeschattung	930
- davon in Medianbereich	221
Außenbeschattung	943
- davon in Medianbereich	320

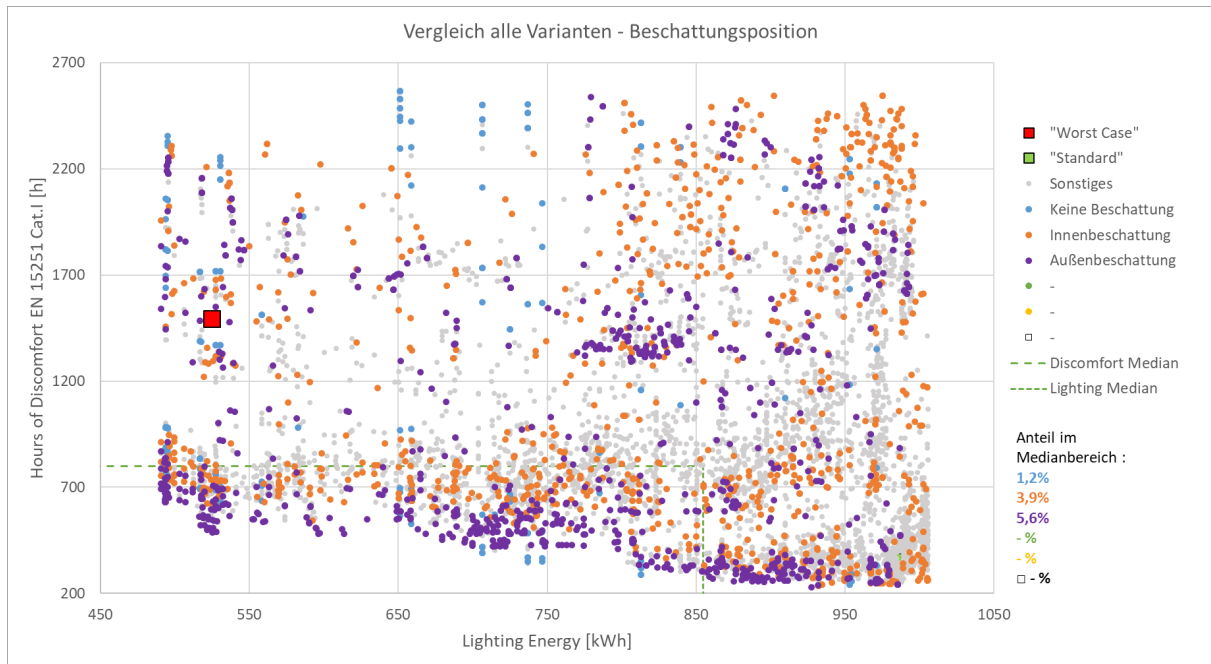


Abbildung 32: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 33 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Position der Beschattung (blau: keine Beschattung; orange: Innenbeschattung; violett: Außenbeschattung). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 36: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 33

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.960
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	4.058
Gesamtsumme	7.018
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	883 kWh
Median unkomfortabler Stunden	1.727 kWh
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Ohne Beschattung	279
- davon in Medianbereich	60
Innenbeschattung	1.295
- davon in Medianbereich	70
Außenbeschattung	1.386
- davon in Medianbereich	356

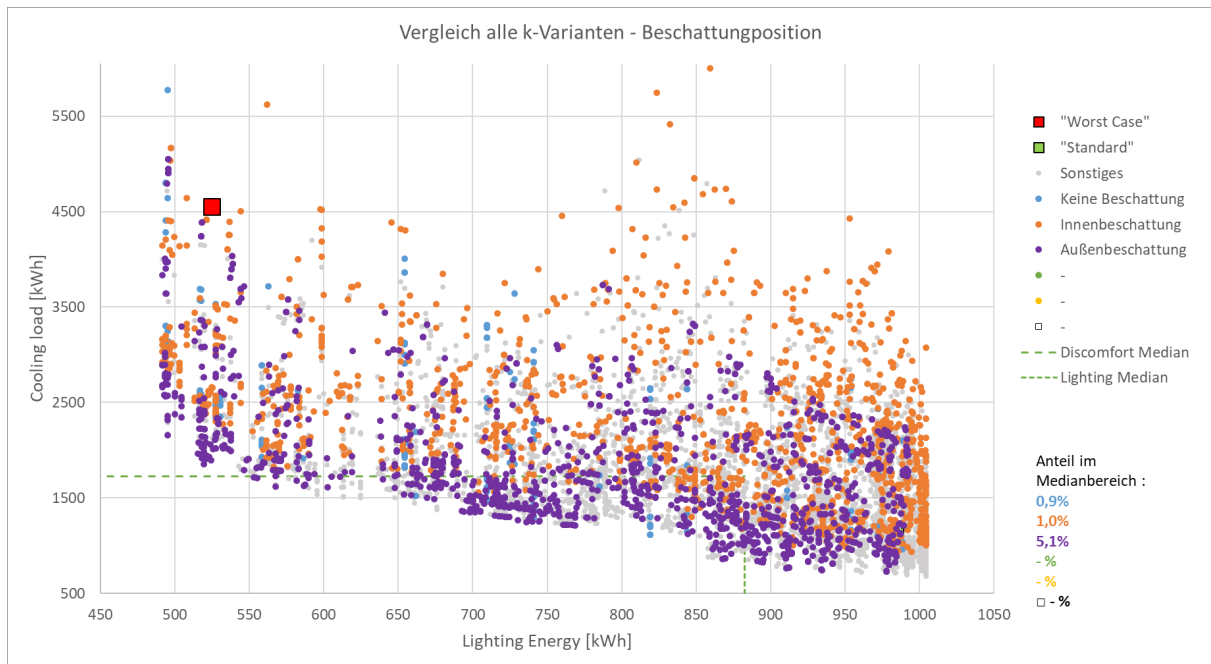


Abbildung 33: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungposition (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss der Beschattungsposition - Interpretation

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen, dass durch eine außenliegende Beschattung eine höhere Reduktion der unkomfortablen Stunden und des Kühlbedarfs möglich ist als mit innenliegender Beschattung, und durch diese wiederum eine Verbesserung gegenüber Kombinationen ohne Beschattung erreicht wird. Ein Großteil der Werte, die Cluster mit deutlich höheren Werten an unkomfortablen Stunden und Kühlenergiebedarf bilden, werden durch die Varianten A6 und B6 (bzw. A6_k und B6_k) bedingt; bei diesen Varianten wurde keine Fensterlüftung berücksichtigt und nur der hygienische Mindestluftwechsel in Abhängigkeit der anwesenden Personen durch eine Lüftungsanlage bereitgestellt (siehe 4.3.3 und Tabelle 1 bis). In Abbildung 34 und Abbildung 35 sind diese Varianten hervorgehoben (schwarze Umrandung).

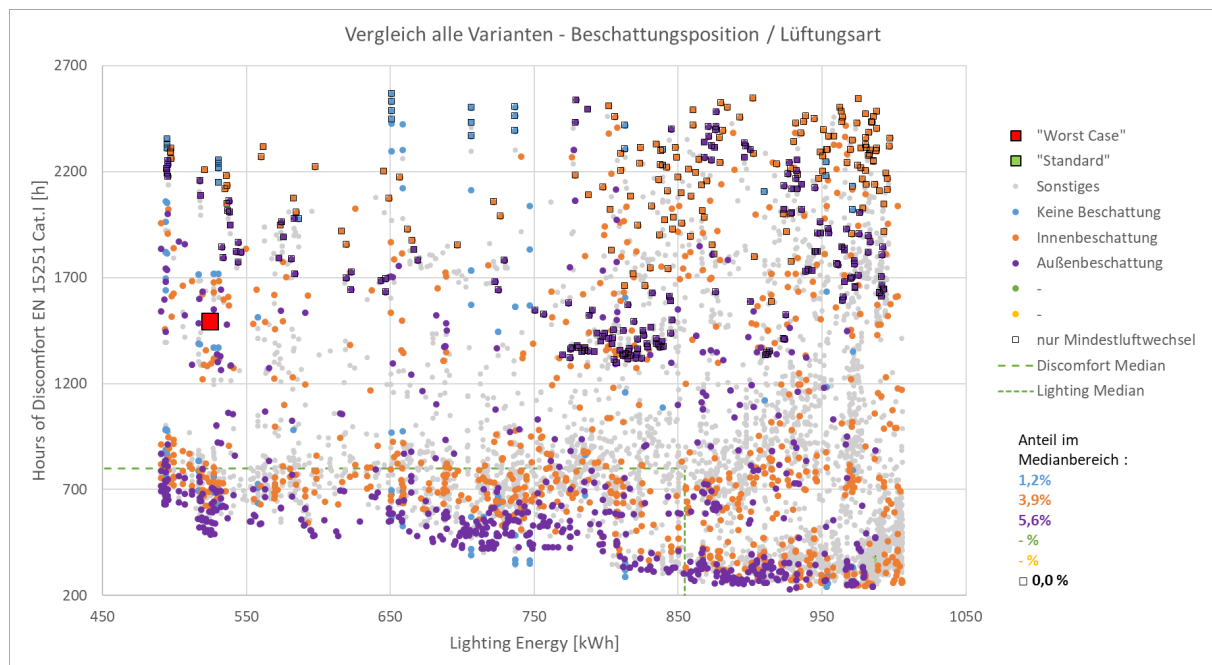


Abbildung 34: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition, Kombinationen mit reinem Mindestluftwechsel hervorgehoben

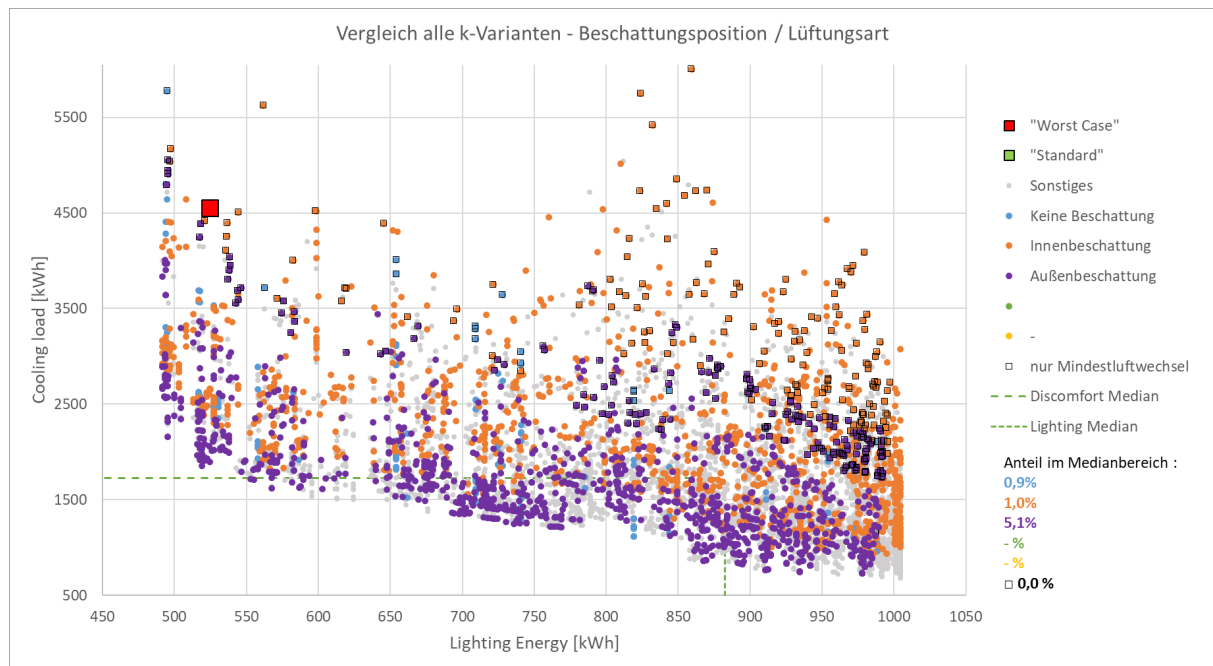


Abbildung 35: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition, Kombinationen mit reinem Mindestluftwechsel hervorgehoben

Der bei diesen Varianten fehlende erhöhte Nachtluftwechsel bedingt, dass sowohl die unkomfortablen Stunden als auch der Kühlenergiebedarf durchschnittlich höher liegen als bei Fensterlüftung. Durch die erhöhte Raumlufttemperatur wird wiederum die Beschattung häufiger aktiviert und der Beleuchtungsenergiebedarf erhöht. Wenn aus baulichen Gründen keine Fensterlüftung mit Nachtluftwechsel möglich ist (z.B. Umgebungslärm, Sicherheitsaspekte), sollte daher bei Einsatz einer Lüftungsanlage in den Sommermonaten ein höherer Nachtluftwechsel als der hygienisch erforderliche ermöglicht werden.

Bei gesonderter Betrachtung der Varianten ohne Fensterlüftung inkl. Nachtluftwechsel ist der Einsatz einer außenliegenden Beschattung unabdingbar, um den optimalen Bereich für die jeweilige Variante zu erreichen (Abbildung 36 und Abbildung 37).

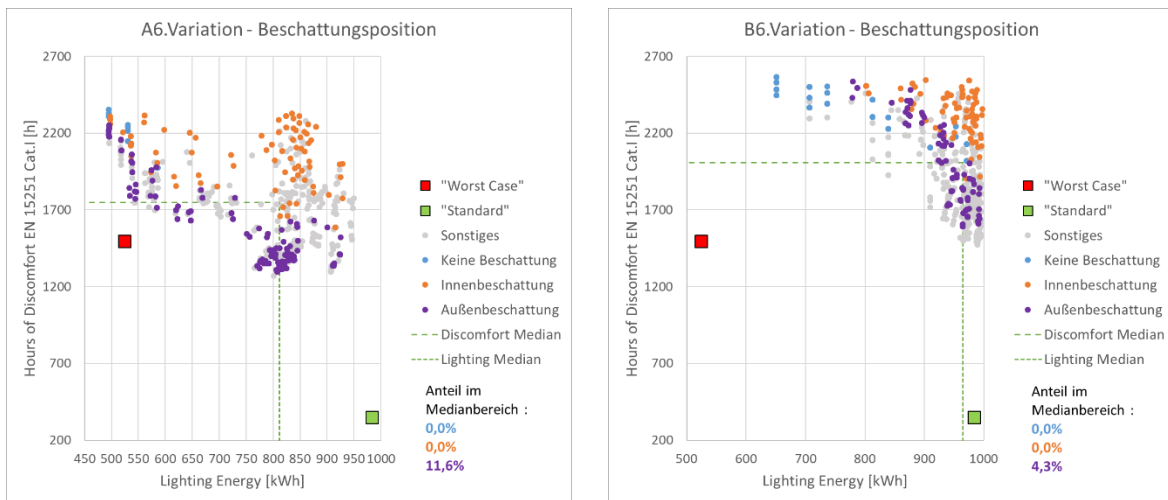


Abbildung 36: Ergebnisse Optimierung Komfort – Beleuchtungsenergiebedarf für die Varianten A6 (links) und B6 (rechts); Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition

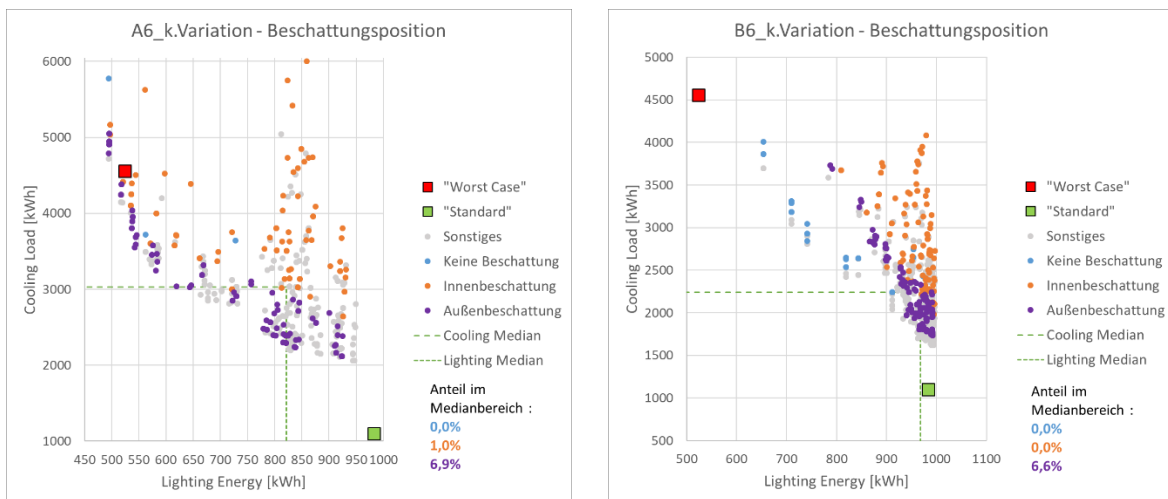


Abbildung 37: Ergebnisse Optimierung Kühlung – Beleuchtungsenergiebedarf für die Varianten A6_k (links) und B6_k (rechts); Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition

Einfluss des g-Werts - Ergebnisse

In Abbildung 38 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach dem Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung (blau: $g = 0,3$; orange: $g = 0,5$; violett: $g = 0,7$). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 37: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparаметer zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 38

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.092
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.600
Gesamtsumme	5.692
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	855 kWh
Median unkomfortabler Stunden	800 h
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
g = 0,3	40
- davon in Medianbereich	0
g = 0,5	460
- davon in Medianbereich	114
g = 0,7	1.592
- davon in Medianbereich	498

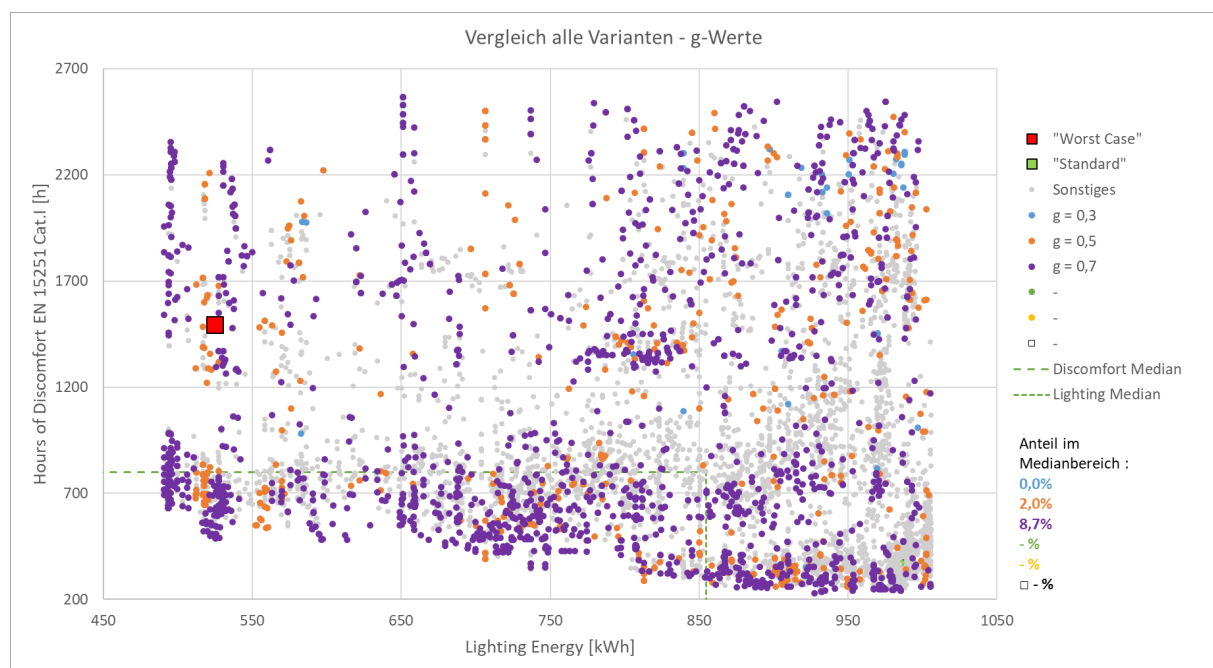


Abbildung 38: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des g-Wertes der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 39 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach dem Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung (blau: g = 0,3; orange: g = 0,5; violett: g = 0,7). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 38: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparаметer zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 39

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.960
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	4.058
Gesamtsumme	7.018
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	883 kWh
Median unkomfortabler Stunden	1.727 kWh
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
g = 0,3	199
- davon in Medianbereich	18
g = 0,5	1.184
- davon in Medianbereich	220
g = 0,7	1.577
- davon in Medianbereich	248

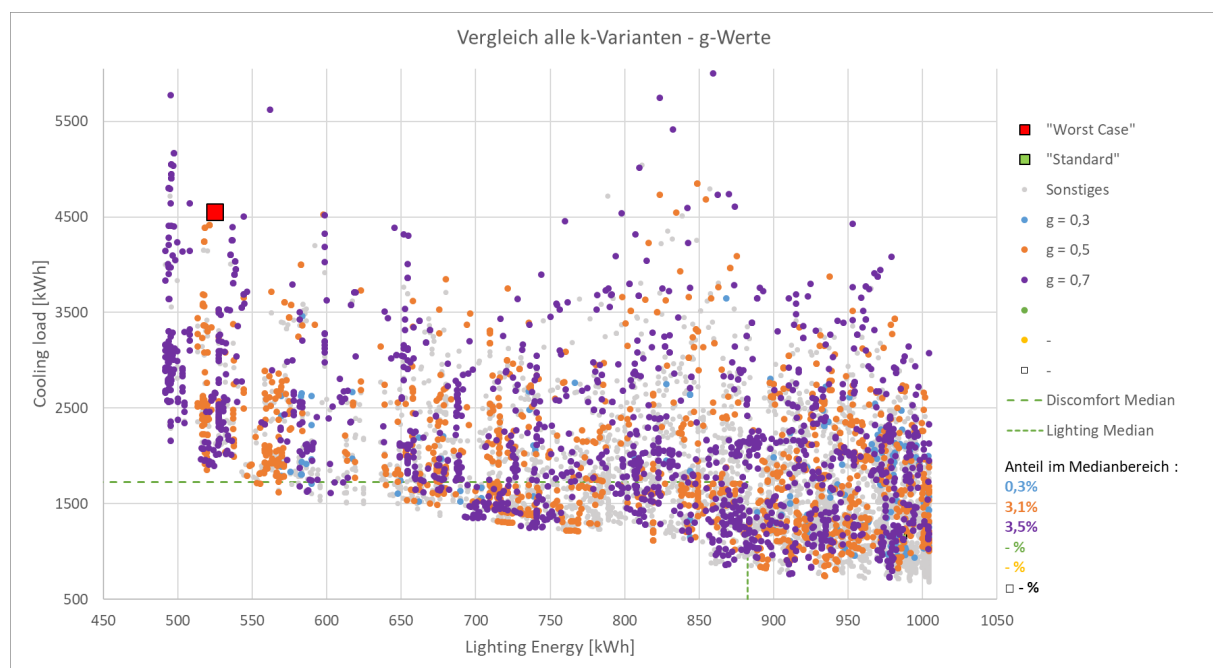


Abbildung 39: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des g-Wertes der Fenster (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss des g-Werts - Interpretation

Die Verteilung des Gesamtenergiedurchlassgrades der Verglasung in Abbildung 38 und Abbildung 39 weist eine große Streuung auf, wobei bei beiden Auswertungen nur eine geringe Anzahl an Parameter-Kombinationen mit $g = 0,3$ durch das Optimierungs-Tool ausgewählt wurden. Dies liegt zum einen an der Tatsache, dass durch den niedrigeren g -Wert naturgemäß die Tageslichtausnutzung verschlechtert und der Beleuchtungsenergiebedarf erhöht wird, zum anderen erfüllen die Mehrheit

der Kombinationen mit niedrigeren g-Werten die Bedingung an die Unterschreitung des vorgegebenen Heizenergiebedarfs nicht. In Abbildung 40 sind auch die Kombinationen mit zu hohem HEB eingeblendet und die Anteile für den Medianbereich ausgewertet.

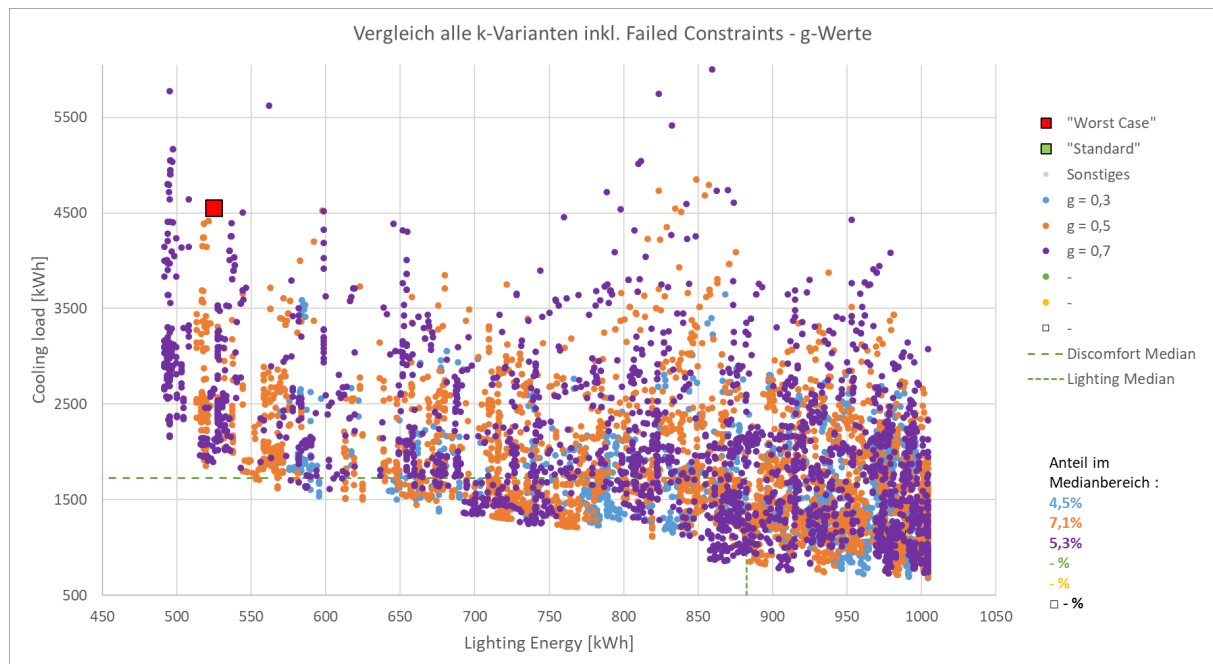


Abbildung 40: Ergebnisse Optimierung Kühlung – Beleuchtungsenergiebedarf inkl. der Kombinationen, die die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht erfüllen; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des g-Werts

Einfluss des offenbaren Anteils der Fenster - Ergebnisse

In Abbildung 41 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach dem offenbaren Anteil der Fensterfläche (blau: 0%, d.h. nur Mindestluftwechsel durch Lüftungsanlage; orange: 10%; violett: 50%; grün: 90%). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 39: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 41

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.092
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.600
Gesamtsumme	5.692
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	855 kWh
Median unkomfortabler Stunden	800 h
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
0% (nur Mindestluftwechsel)	549
- davon in Medianbereich	0
10%	502
- davon in Medianbereich	37
50%	634
- davon in Medianbereich	311
90%	407
- davon in Medianbereich	264

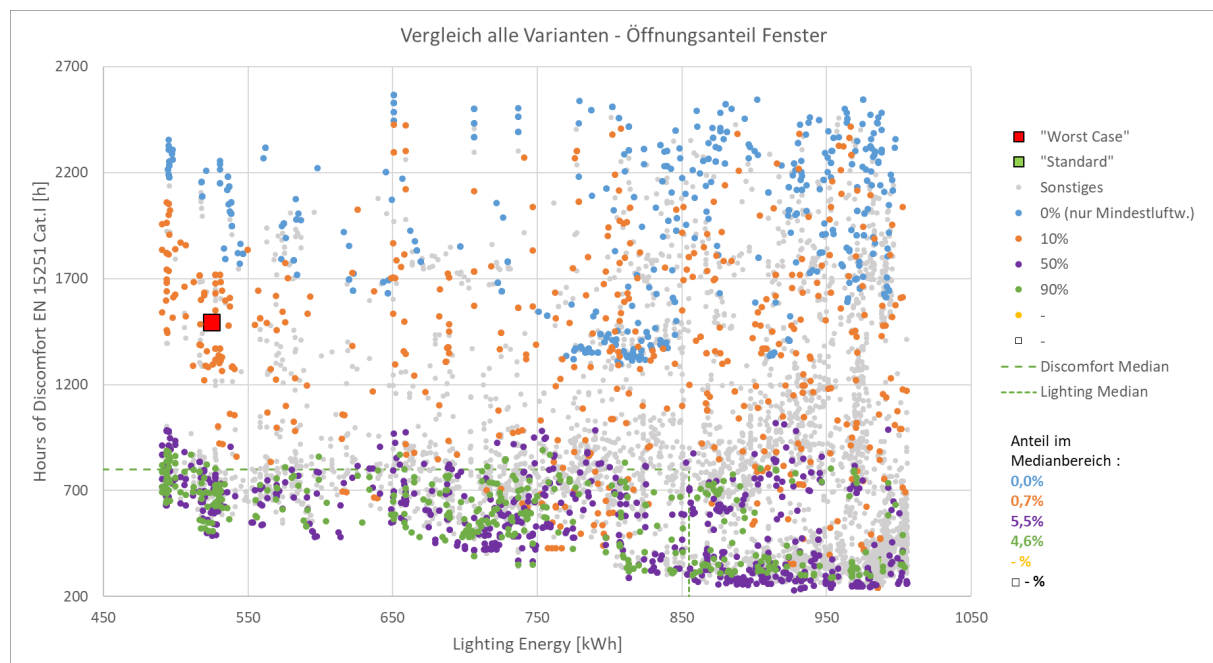


Abbildung 41: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des öffnbaren Anteils der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 42 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach dem öffnbaren Anteil der Fensterfläche (blau: 0%, d.h. nur Mindestluftwechsel durch Lüftungsanlage; orange: 10%; violett: 50%; grün: 90%). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 40: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparаметer zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 42

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.960
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	4.058
Gesamtsumme	7.018
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	883 kWh
Median unkomfortabler Stunden	1.727 kWh
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
0% (nur Mindestluftwechsel)	526
- davon in Medianbereich	0
10%	619
- davon in Medianbereich	15
50%	788
- davon in Medianbereich	166
90%	1.027
- davon in Medianbereich	305

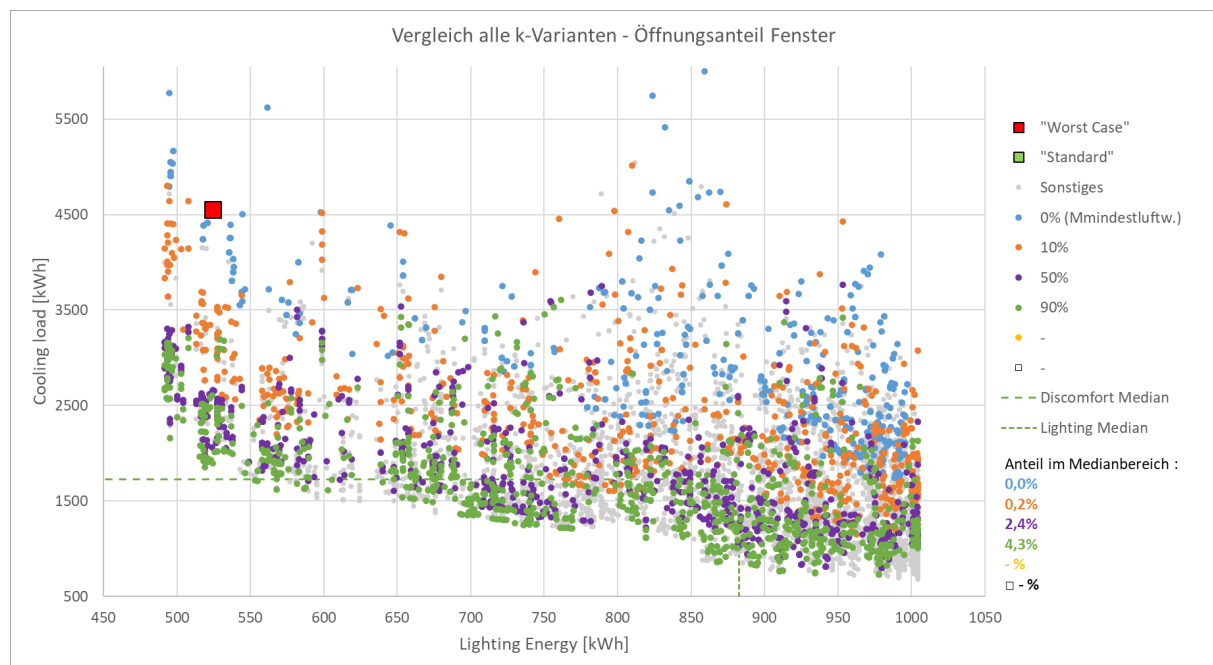


Abbildung 42: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des öffnbaren Anteils der Fenster (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss des öffnbaren Anteils der Fenster - Interpretation

Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen, dass die Größe des öffnbaren Anteils einen deutlichen Einfluss auf Reduktion der unkomfortablen Stunden und des Kühlenergiebedarfs haben: je weiter die Fenster geöffnet werden, desto niedrigere Werte können für beide Zielgrößen erreicht werden,

wobei der Unterschied zwischen 50% und 90% des öffenbaren Anteils nur noch gering ausfällt. Die Ergebnisse für den Beleuchtungsenergiebedarf streuen dabei über den gesamten Wertebereich.

Bei der Optimierung nach Komfort sind mehr Parameterkombinationen mit 50% Anteil im Medianbereich als mit 90%. Zu den Ursachen dafür besteht weiterer Forschungsbedarf, anhand der mit dem Optimierungstool generierten Ergebnisse lässt sich nicht eindeutig feststellen an welchem der folgenden Gründe dies liegt:

- Die Einteilung der unkomfortablen Stunden erfolgt nur grob in „nicht erfüllt“ oder „erfüllt“, eine quantitative Beurteilung wird nicht vorgenommen. Es ist anzunehmen, dass die operative Temperatur bei einem Öffnungsanteil von 90% zwar niedriger liegt als bei 50%, jedoch auch bei 50% bereits die Anforderungen an die EN 15251 [19] erfüllt und die Summe der unkomfortablen Stunden daher für beide Variablen nahezu gleich ist. In diesem Fall wäre die höhere Anzahl der Kombinationen mit 50% Öffnungsanteil im Medianbereich nur der randomisierten Auswahl des Optimierungs-Tools geschuldet.
- Bei einem größeren Fensteröffnungsanteil erfolgt die Abkühlung der Raumluft schneller und das Fenster könnte aufgrund der gewählten Temperaturgrenzwerte schneller wieder geschlossen werden. Die raumumgrenzenden Bauteile haben jedoch eine höhere thermische Trägheit als die Luft und beeinflussen so auch die operative Temperatur, welche die Grundlage für die Komfortbeurteilung bildet.

Einfluss der Querlüftung - Ergebnisse

In Abbildung 43 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Art der Querlüftung (blau: keine Querlüftung; orange: Querlüftung erlaubt). Die Ergebnisse der Varianten A6 und B6 (vgl. Tabelle 32) wurden hierfür nicht berücksichtigt, da bei diesen keine Fensterlüftung erfolgt und daher die Querlüftung nur einen marginalen Einfluss (z.B. durch unterschiedlich temperierte Nachbarräume) auf das Ergebnis hat, aufgrund der zufälligen Stichprobenauswahl im Optimierungs-Tool aber trotzdem Parameter-Kombinationen mit beiden Querlüftungsarten berechnet wurden, was zu einer verfälschten Bewertung der Ergebnisse/Einflüsse führen könnte. Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 41: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 43

Anzahl Parameter-Kombinationen (ohne A6&B6)	
Heizenergiebedarf erfüllt	1.543
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	2.970
Gesamtsumme	4.513
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	850 kWh
Median unkomfortabler Stunden	708 h
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Keine Querlüftung	2.149
- davon in Medianbereich	185
Querlüftung	2.364
- davon in Medianbereich	298

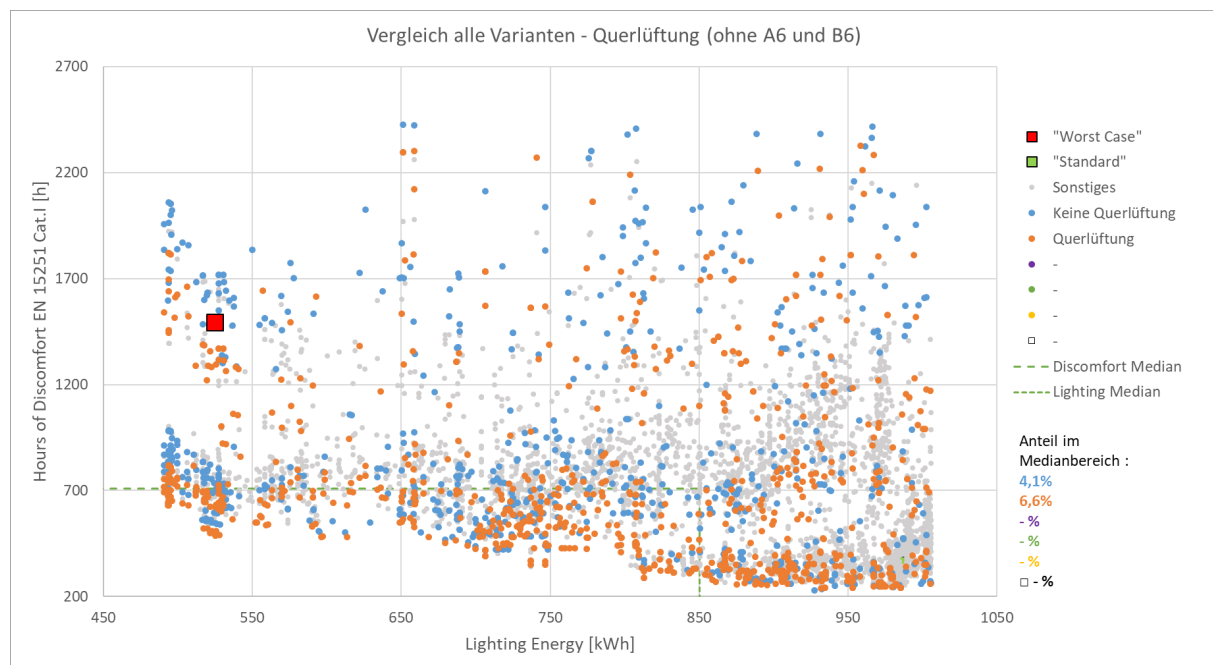


Abbildung 43: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Querlüftung (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 44 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Art der Querlüftung (blau: keine Querlüftung; orange: Querlüftung erlaubt). Die Ergebnisse der Varianten A6 und B6 wurden hierfür nicht berücksichtigt, da bei diesen keine Fensterlüftung erfolgt und daher die Querlüftung nur einen marginalen Einfluss auf das Ergebnis hat, aufgrund der zufälligen Stichprobenauswahl im Optimierungs-Tool aber ein trotzdem Parameter-Kombinationen mit beiden Querlüftungsarten berechnet wurden, was zu einer verfälschten Bewertung der Ergebnisse/Einflüsse führen könnte. Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 42: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 44

Anzahl Parameter-Kombinationen (ohne A6&B6)	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.434
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.469
Gesamtsumme	5.903
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	873 kWh
Median unkomfortabler Stunden	1.592 kWh
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Keine Querlüftung	1.399
- davon in Medianbereich	193
Querlüftung	1.035
- davon in Medianbereich	111

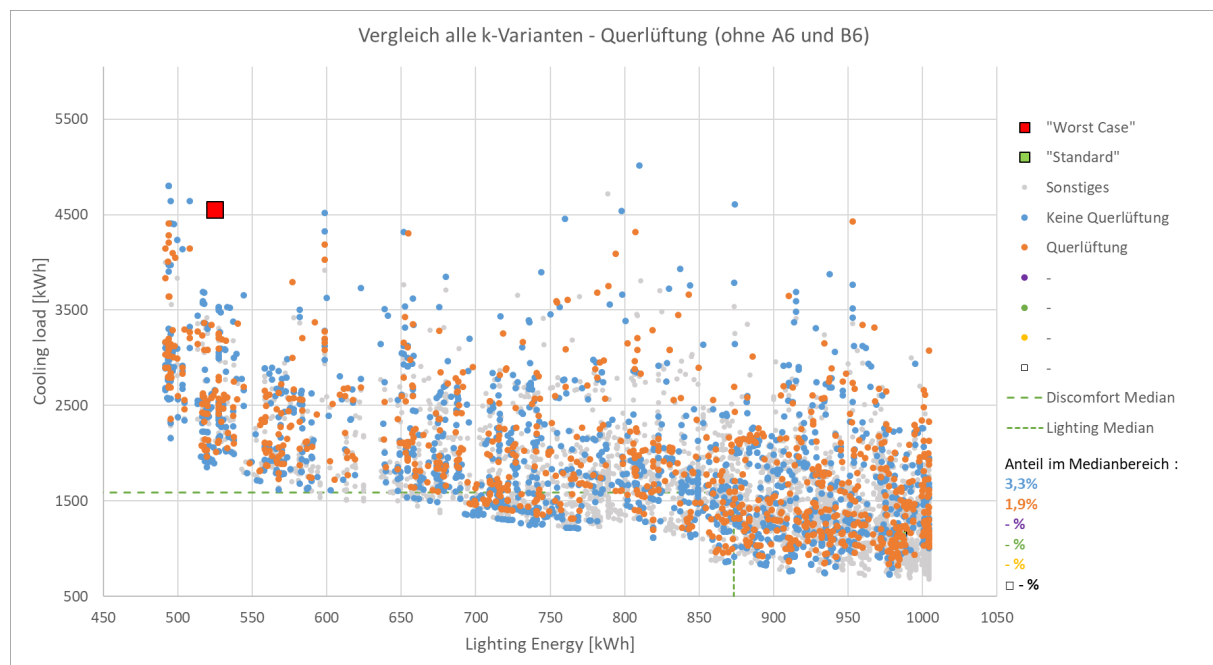


Abbildung 44: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Querlüftung (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss der Querlüftung - Interpretation

Grundsätzlich wird durch die Möglichkeit zur Querlüftung in vereinfachten Berechnungsverfahren und auch bei detaillierten Simulationen meist eine Verminderung der sommerlichen Überhitzung erzielt, da durch diese ein erhöhter Luftwechsel und somit eine stärkere Auskühlung während der Nachtstunden ermöglicht wird. Zwei Einstellungen in dem vorliegenden Simulationsmodell bedingen jedoch, dass in vielen Parameter-Kombinationen ein gegenteiliger Effekt eintritt:

- Die Solltemperaturen der Räume sind sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlfall unterschiedlich hoch.
- Die Querlüftung erfolgt unabhängig von anderen Einflüssen und ist entweder vollständig oder gar nicht erlaubt.

Abbildung 45 zeigt die Stundenwerte für zwei Basisvarianten bei denen die restlichen Randbedingungen exakt gleich sind und nur die Querlüftung variiert wird (keine Querlüftung: CF_B_Basis_QL=OFF; mit Querlüftung: CF_B_Basis_QL=ON). Für den ausgewählten Zeitpunkt am 24. Juni um 03:00 Uhr wird eine Fensterlüftung im Wohnzimmer erlaubt, da die Außentemperatur unter der Solltemperatur von 27°C liegt, im neben dem Wohnzimmer liegenden Kinderzimmer bleiben die Fenster geschlossen, da die Solltemperatur von 25°C überschritten ist. Wenn Querlüftung erlaubt ist, wird über den Raumverband ca. die zehnfache Wärmemenge über den Luftwechsel in den kühleren Raum eingebracht (Abbildung 45 - Diagramm C), die abzuführende Wärmemenge für den betrachteten Zeitpunkt erhöht sich von 361 W ohne Querlüftung auf 804,6 W mit Querlüftung (Abbildung 45 - Diagramm D).

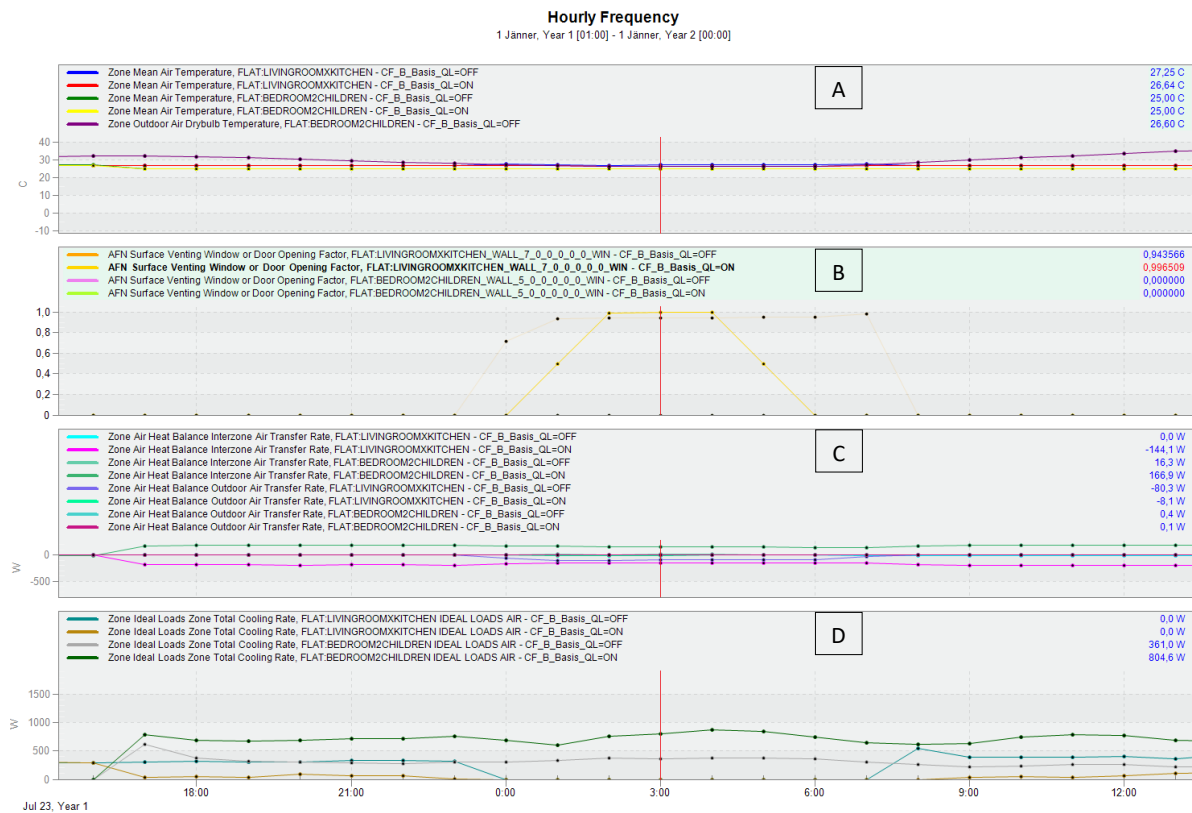


Abbildung 45: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Stundenwerte) einer Simulation für eine Basisvariante mit und ohne Querlüftung, mit außenliegender Beschattung für den 23./24. Juli. Diagramm A: Mittlere Lufttemperatur innen im Wohnzimmer und Kinderzimmer, Trockenkugeltemperatur außen [°C]; Diagramm B: Öffnungsfaktor Außenfenster im Wohnzimmer und Kinderzimmer [-]; Diagramm C: Wärmeübertragung durch Luftaustausch interzonal / mit Außenluft [W]; Diagramm D: Summe der aus der Zone abgeführten Wärme [W]

In Abbildung 46 sind die Jahressummen der abgeführten Wärme für alle Aufenthaltsräume der Wohnung jeweils ohne und mit Querlüftung dargestellt. Summiert über die gesamte Wohnung ergibt sich somit eine Jahressumme von 2.077,9 kWh/a (23,61 kWh/m²a) ohne Querlüftung und 2.173,1 kWh/a (24,69 kWh/m²a) mit Querlüftung.

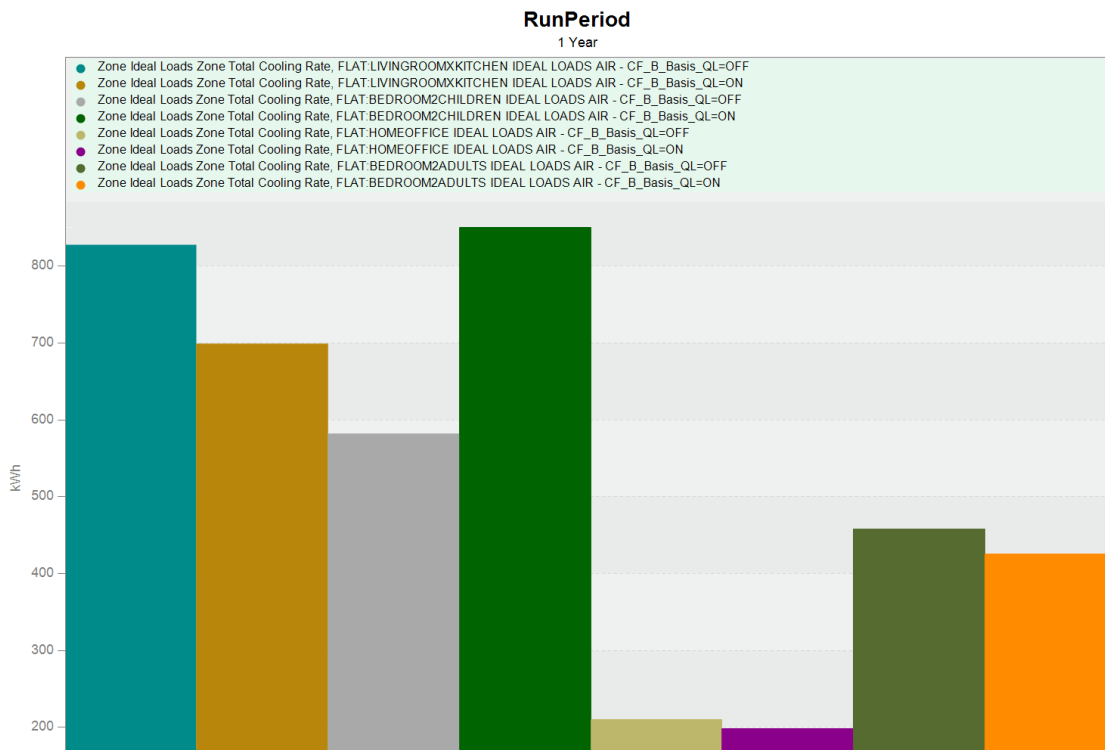


Abbildung 46: Jahressummen der aus den Aufenthaltsräumen abgeführten Wärme für eine Basisvariante mit und ohne Querlüftung, mit außenliegender Beschattung für den 23./24. Juli

Es ist anzumerken, dass die im Simulationsmodell gewählten Querlüftungsvarianten (immer zu/immer offen) nicht einem durchschnittlichen Nutzerverhalten entsprechen. Aufgrund der bereits hohen Anzahl an Variablen und der großen Unvorhersehbarkeit anderer Einflüsse als der thermischen (z.B. unterschiedliches Ruhebedürfnis in den Räumen) aber bewusst keine weitere Differenzierung vorgenommen wurde. Für die Planung und Ausführung wird empfohlen, die Möglichkeit zur Querlüftung jedenfalls vorzusehen, die Fenster jedoch erst bei Unterschreitung der niedrigsten Solltemperatur zu öffnen oder ggf. bei gekühlten Wohnräumen eine Steuerung für die Innentüren vorzusehen (durch den Nutzer oder automatisiert).

Einfluss der Steuerungsart - Ergebnisse

In Abbildung 47 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Steuerungsart der Beschattung (blau: keine Beschattung; orange: temperaturgesteuert; violett: zeitplangesteuert, grün: strahlungsgesteuert 50 W/m²; gelb: strahlungsgesteuert 200 W/m²). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Da die Steuerungsart nicht innerhalb einer Optimierungs-Simulation variiert wurde, sondern als Unterscheidung der Varianten herangezogen wurde (siehe Tabelle 1 bis Tabelle 22), schwankt die Anzahl der berechneten Parameter-Kombinationen stark für die jeweilige Steuerungsart. Eine Auswertung der Medianbereiche wurde deshalb für den Einfluss der Steuerungsart nicht vorgenommen, die Darstellung der Punktwolke soll lediglich dem Überblick über den möglichen Wertebereich der verschiedenen Steuerungsarten dienen.

Tabelle 43: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 47

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.092
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.600
Gesamtsumme	5.692
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Keine Beschattung	219
Temperaturgesteuert	1.256
Zeitplangesteuert	217
Strahlungsgesteuert 50 W/m ²	303
Strahlungsgesteuert 200 W/m ²	97

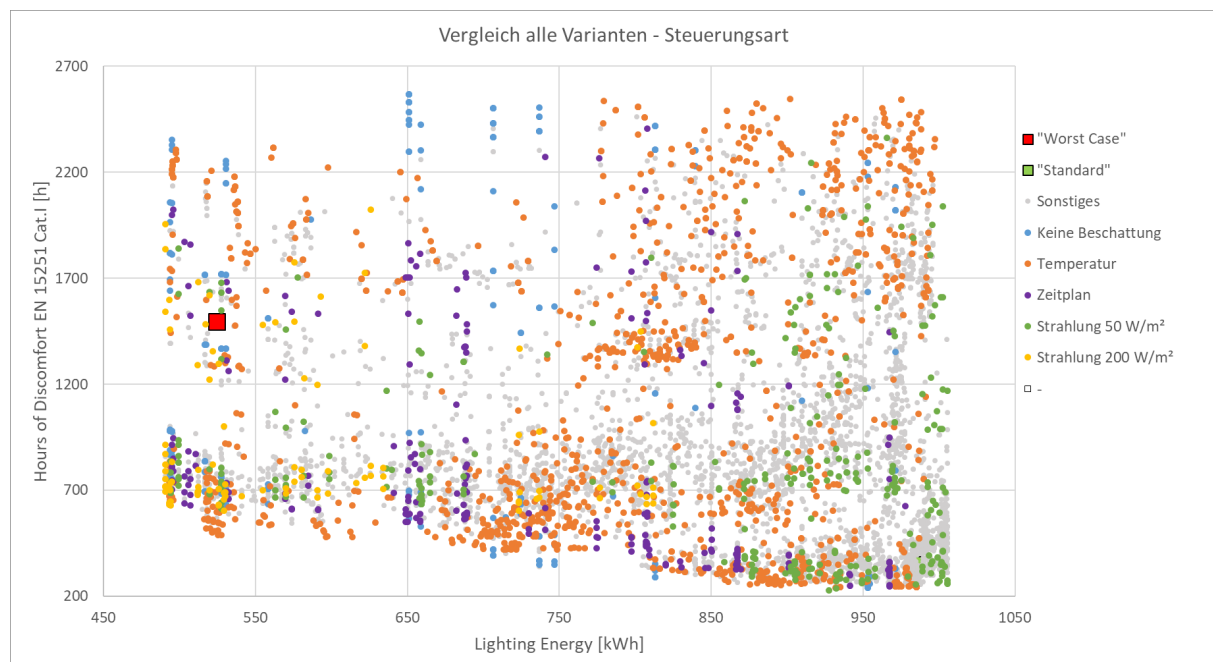


Abbildung 47: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Steuerungsart der Beschattung (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 48 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach der Steuerungsart der Beschattung (blau: keine Beschattung; orange: temperaturgesteuert; violett: zeitplangesteuert, grün:

strahlungsgesteuert 50 W/m²; gelb: strahlungsgesteuert 200 W/m²). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Da die Steuerungsart nicht innerhalb einer Optimierungs-Simulation variiert wurde, sondern als Unterscheidung der Varianten herangezogen wurde (siehe Tabelle 1 bis Tabelle 22), schwankt die Anzahl der berechneten Parameter-Kombinationen stark für die jeweilige Steuerungsart. Eine Auswertung der Medianbereiche wurde deshalb für den Einfluss der Steuerungsart nicht vorgenommen, die Darstellung der Punktwolke soll lediglich dem Überblick über den möglichen Wertebereich der verschiedenen Steuerungsarten dienen.

Tabelle 44: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 48

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.960
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	4.058
Gesamtsumme	7.018
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
Keine Beschattung	279
Temperaturgesteuert	1.527
Zeitplangesteuert	461
Strahlungsgesteuert 50 W/m ²	537
Strahlungsgesteuert 200 W/m ²	156

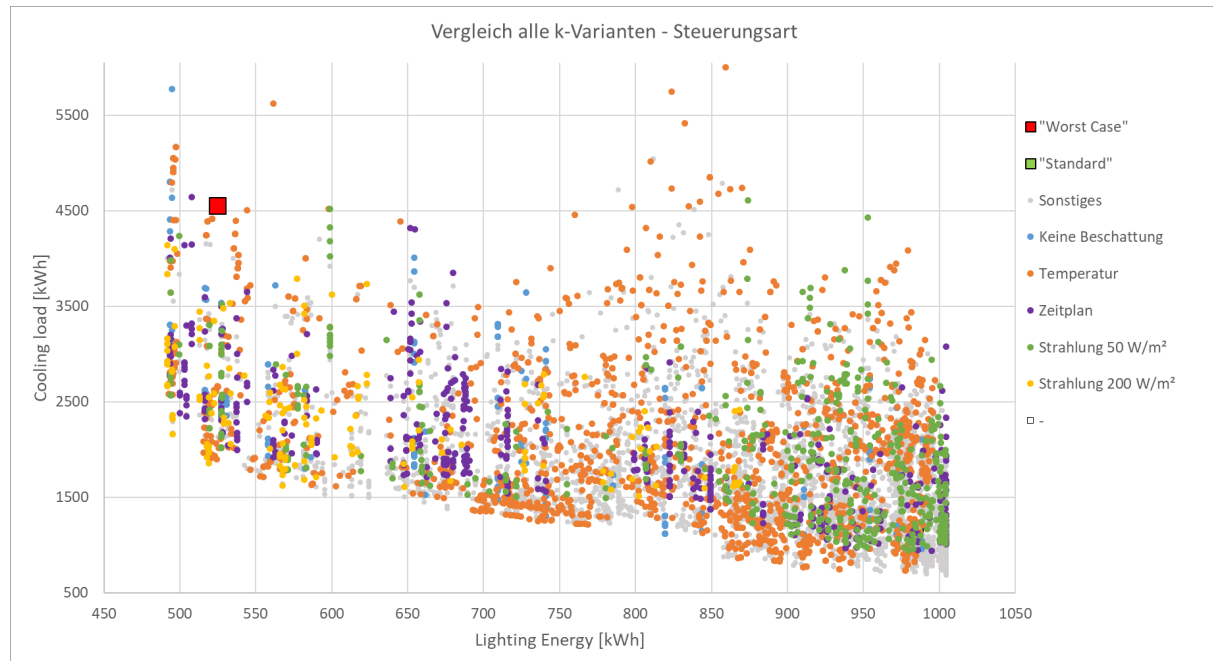


Abbildung 48: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Steuerungsart der Beschattung (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss der Steuerungsart - Interpretation

Wie oben beschrieben lässt die Anzahl der mit dem Optimierungstool gefundenen Parameterkombinationen in Abbildung 47 und Abbildung 48 aufgrund der unterschiedlichen Variantenanzahl keine Beurteilung anhand des Medians zu, es ist jedoch ersichtlich, dass sich bei der Steuerung nach Temperatur und Zeitplan eine diffuse Streuung der Kombinationen über den gesamten Wertebereich ergibt, während sich bei der strahlungsgesteuerten Beschattung je nach gewähltem Grenzwert ein Schwerpunkt entweder mittig links ($200\text{W}/\text{m}^2$) oder unten rechts ($50\text{W}/\text{m}^2$) ergibt.

Einfluss des U-Werts - Ergebnisse

In Abbildung 49 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Komfort und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach dem U-Wert der Verglasung (blau: $U_g = 0,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$; orange: $U_g = 1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$; violett: $U_g = 1,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 45: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 49

<u>Anzahl Parameter-Kombinationen</u>	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.092
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	3.600
Gesamtsumme	5.692
<u>Medianwerte</u>	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	855 kWh
Median unkomfortabler Stunden	800 h
<u>Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)</u>	
$U_g = 0,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$	1.817
- davon in Medianbereich	568
$U_g = 1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$	269
- davon in Medianbereich	44
$U_g = 1,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$	6
- davon in Medianbereich	0

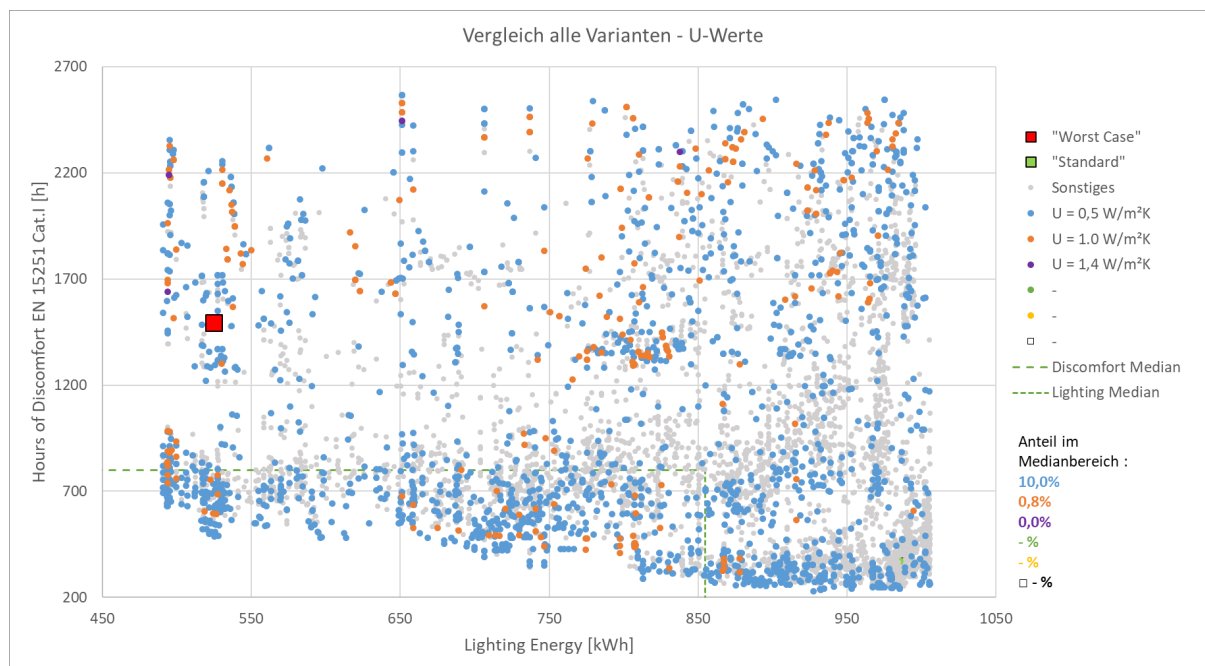


Abbildung 49: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des U-Werts der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

In Abbildung 50 sind die Ergebnisse der Optimierung nach Kühlenergie- und Beleuchtungsenergiebedarf dargestellt, die farbliche Sortierung erfolgt nach dem U-Wert der Verglasung (blau: $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$; orange: $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; violett: $U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$). Die Ergebnisse mit hellgrauer Markierung erfüllen die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht.

Tabelle 46: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 50

Anzahl Parameter-Kombinationen	
Heizenergiebedarf erfüllt	2.960
Heizenergiebedarf nicht erfüllt	4.058
Gesamtsumme	7.018
Medianwerte	
Median Beleuchtungsenergiebedarf	883 kWh
Median unkomfortabler Stunden	1.727 kWh
Anzahl Kombinationen nach Kategorie (HEB erfüllt)	
$U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	2.531
- davon in Medianbereich	429
$U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	406
- davon in Medianbereich	57
$U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	23
- davon in Medianbereich	0

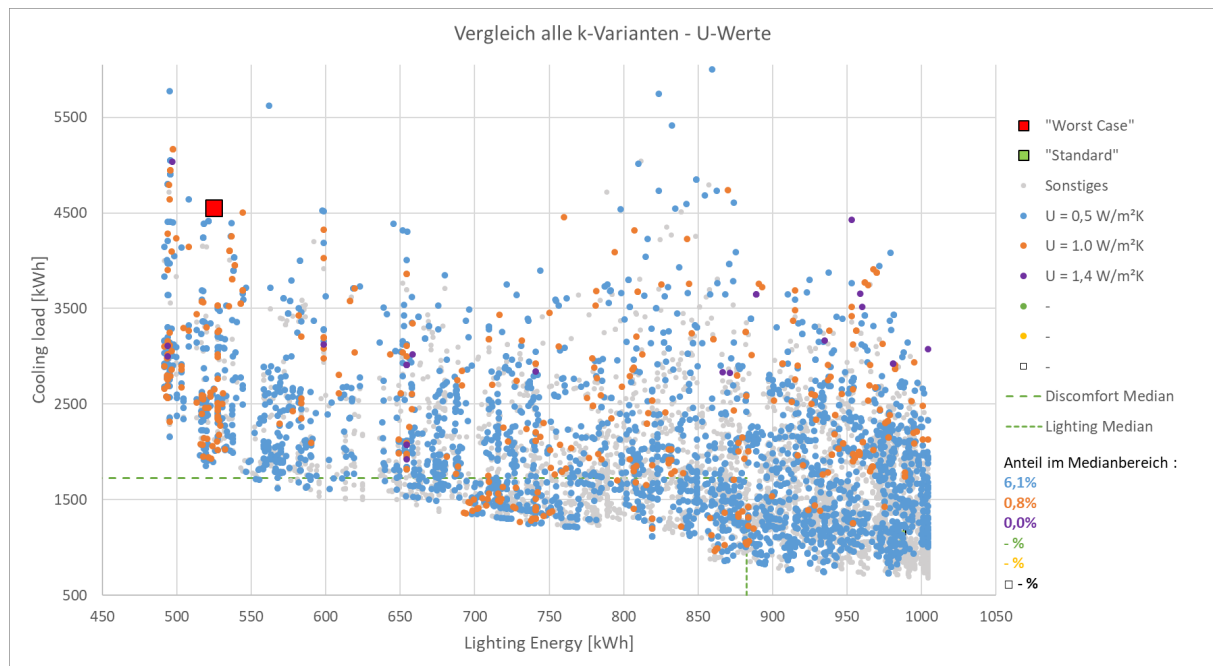


Abbildung 50: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des U-Werts der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)

Einfluss des U-Werts - Interpretation

Ähnlich der Auswertung nach dem Gesamtenergiedurchlassgrad weist die Verteilung der U-Werte in Abbildung 49 und Abbildung 50 eine große Streuung auf, wobei deutlich mehr Parameterkombinationen mit $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ als mit $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorhanden sind, und kaum Kombinationen mit $U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dies liegt wiederum an der ganzheitlichen Betrachtung des gesamten Jahres und der Begrenzung des Heizenergiebedarfs. In Abbildung 51 sind auch die Kombinationen mit zu hohem HEB eingblendet und die Anteile für den Medianbereich ausgewertet.

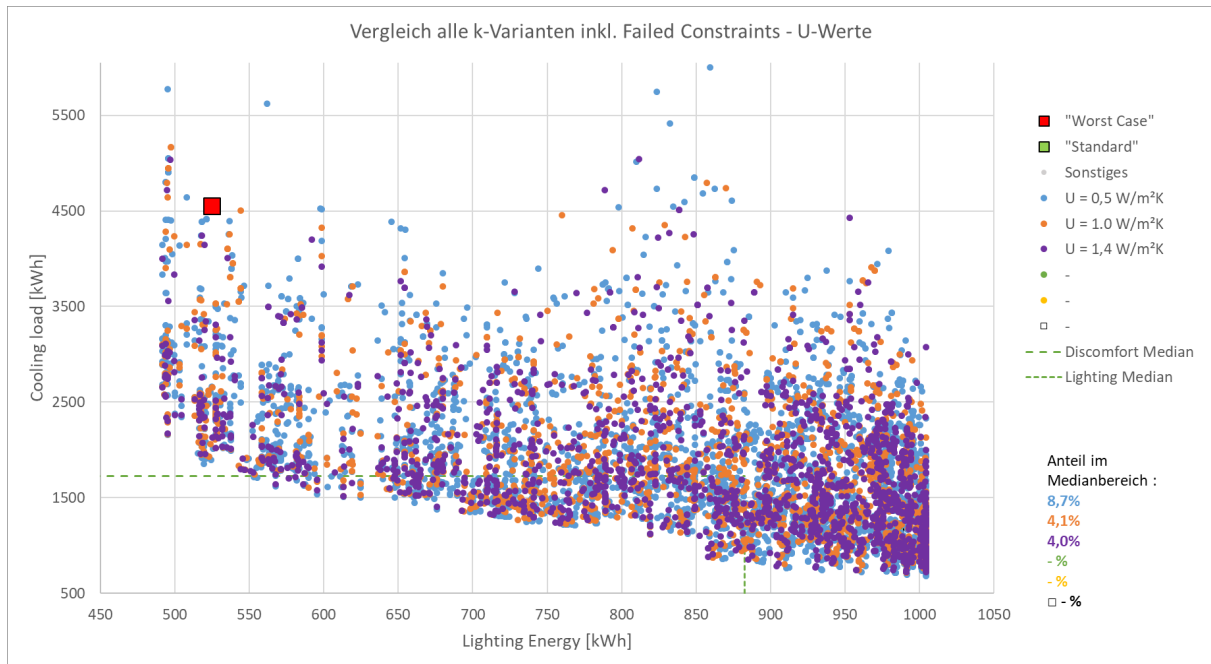


Abbildung 51: Ergebnisse Optimierung Kühlung – Beleuchtungsenergiebedarf inkl. der Kombinationen, die die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht erfüllen; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des U_g -Werts

Zusammenfassung - Einsparungspotential Kühlenergie

Zur Einschätzung des Einsparungspotentials für den Kühlbedarf wurde für jede Variante die Parameter-Kombination ohne Auskragung ausgesucht, welche den niedrigsten Kühlbedarf aufweist und bei der gleichzeitig die entsprechende Kombination ohne Beschattung vorhanden war. Wenn für die gleichen Parameter eine Kombination mit Innenbeschattung vorhanden war, wurde diese ebenfalls verglichen. In Tabelle 47 ist die Vorgehensweise exemplarisch für Variante A1_k dargestellt.

Tabelle 47: Vergleich der Parameter-Kombination mit dem niedrigsten Kühlenergiebedarf mit der entsprechenden Kombination mit Innenbeschattung und ohne Beschattung für Variante A1_k

	Cooling load (kWh)	Lighting Energy (kWh)	Heating (Gas) (kWh)	Beschattung	Verglasung	Auskragung	Querlüftung	Öffnungsanteil Fenster
niedrigster Kühlbedarf	1 305	723	5 012	HFA_U=1,0_g=0,5_Open50%_ShadesOutside=LowR-LowT_ClosedAt24°	HFA_Simple_U=0,5_g=0,5_t=0,71	No shading	Off 24/7	90
beste Innenbeschattung	2 200	552	5 013	HFA_U=1,0_g=0,5_Open50%_ShadesInside=MedR-MedT_ClosedAt24°	HFA_Simple_U=0,5_g=0,5_t=0,71	No shading	Off 24/7	90
ohne Beschattung	2 420	517	4 996	HFA_U=1,0_g=0,5_Open50%_NoShading	HFA_Simple_U=0,5_g=0,5_t=0,71	No shading	Off 24/7	90
Einsparung Innenbesch. [kWh]	220	-36	-17					
Einsparung Innenbesch. [%]	9%	-7%	0%					
Einsparung Außenbesch. [kWh]	1 116	-206	-16					
Einsparung Außenbesch. [%]	46%	-40%	0%					

Eine Kurzbeschreibung der Varianten ist in Tabelle 48 enthalten, die detaillierten Parameter können Tabelle 1 bis Tabelle 22 entnommen werden.

Tabelle 48: Kurzbeschreibungen der Varianten

A1_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel
B1_k.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel
A2_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel
B2_k.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel
A3_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
B3_k.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel
A4_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel
B4_k.Variation von Standard Beschattung ab $50\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, var. Lamellenwinkel
A5_k.Variation von WorstCase Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel
B5_k.Variation von Standard Beschattung nach Zeitplan, fixer Lamellenwinkel
A6_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel
B6_k.Variation von Standard Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, fixer Lamellenwinkel, Mindestluftwechsel
A_k 7.Variation von WorstCase Beschattung ab $T_i \geq 24^\circ\text{C}$, var. Lamellenwinkel $30^\circ - 60^\circ$
A8_k.Variation von WorstCase Beschattung ab $200\text{W}/\text{m}^2$ Strahlung, fixer Lamellenwinkel

Es ist zu betonen, dass es sich hierbei nur um eine Abschätzung des Einsparungspotentials hält. Während Simulationsmodelle generell eine gute Grundlage für den Vergleich von Varianten bieten, ist bei der Auswertung von Absolutwerten mit Bedacht vorzugehen, da unter anderem folgende Unschärfen vorliegen:

- Für die Haustechnikanlage wurde im Modell das vereinfachte Berechnungsverfahren und Defaultwerte ausgewählt, der tatsächliche Verbrauch kann durch die zur Anwendung kommende Anlage abweichen.
- Das Nutzerverhalten und das reale Klima beeinflussen den tatsächlichen Verbrauch stark.
- Durch die Verwendung des Optimierungstools werden nur die durch den Algorithmus ausgewählten Parameter-Kombinationen durchgerechnet, d.h. es könnte Paare mit größerem Einsparungspotential geben, die aber nicht ermittelt wurden.

Der Kühlenergiebedarf für die jeweiligen Varianten ist in Abbildung 52 zusammengefasst.

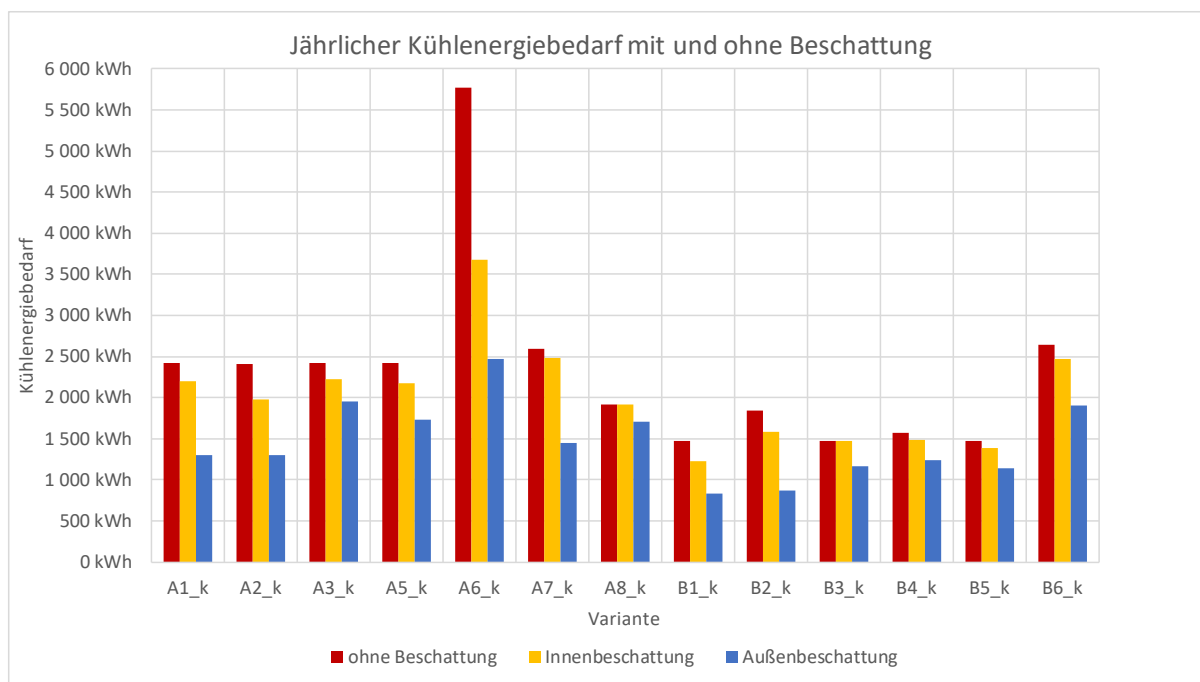


Abbildung 52: Jährlicher Kühlenergiebedarf für die jeweils niedrigste Parameter-Kombination einer Variante, die eine Entsprechung ohne Beschattung hat

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts unterliegen die Strompreise in Österreich starken Schwankungen, als Richtwert für die Einsparungsberechnung wurde der günstigste Anbieter für Wien gemäß E-Control zum Stand 01.07.2022 angenommen, siehe Abbildung 53.

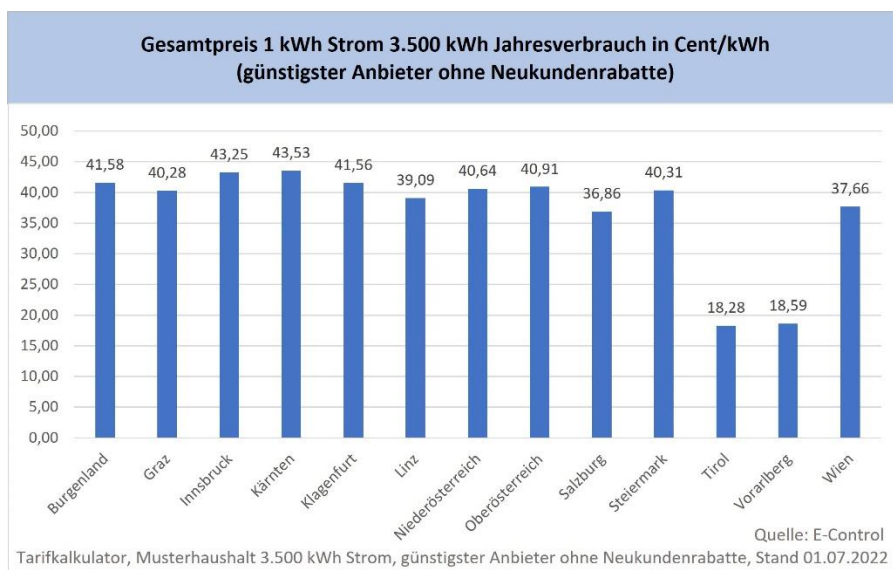


Abbildung 53: Strompreise Österreich nach Bundesland, Stand Juli 2022 (Quelle: <https://www.e-control.at/konsumenten/strom/strompreis/was-kostet-eine-kwh> abgerufen am 07.09.2022)

Unter Zugrundelegung eines Strompreises von 0,4 €/kWh ergibt sich das in Abbildung 54 abgebildete jährliche Einsparungspotential für die jeweiligen Varianten.

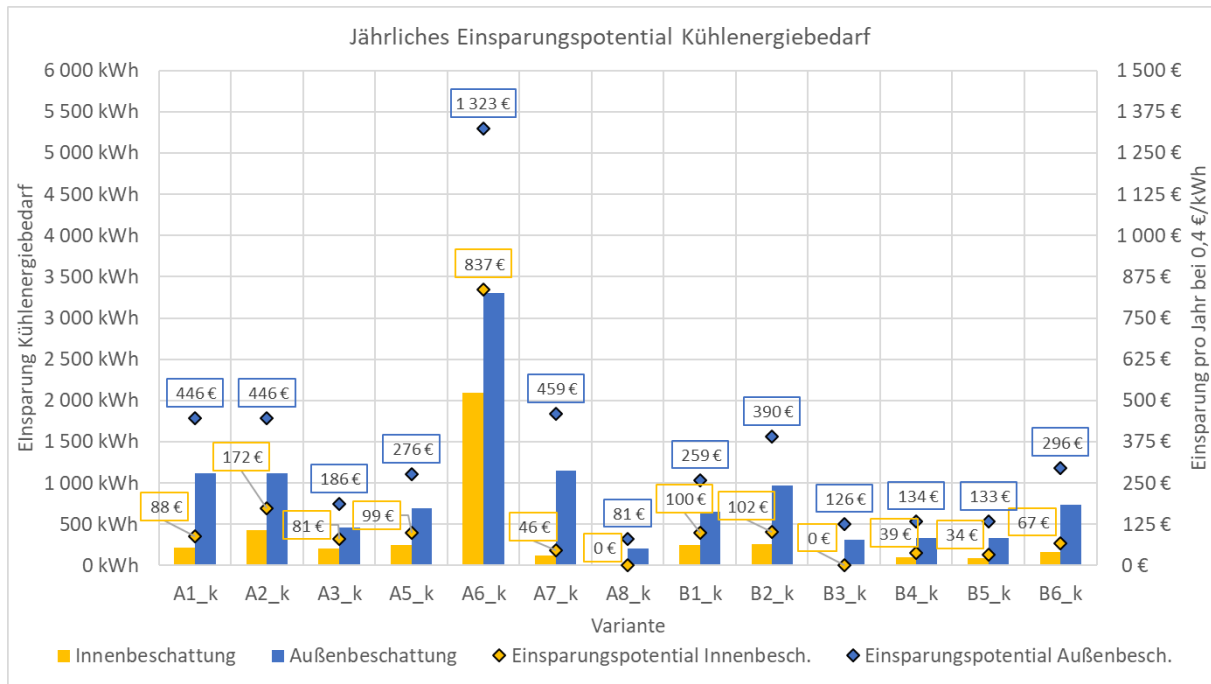


Abbildung 54: Einsparungspotential für den Kühlenergiebedarf

5.2.3. Einsatz von Sonnenschutz als zusätzliche Dämmschicht im Winterfall bzw. in der Übergangszeit

Die aus der Simulation (siehe 4.3.7) resultierenden und ausgewerteten Ergebnisse zeigt Abbildung 55. Hier ist die Abschätzung der Einsparung von Heizenergie in Abhängigkeit von den einzelnen Varianten mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode gegenüber der Referenz mit temperaturgesteuerter sommerlicher Beschattung in Prozent gegenübergestellt.

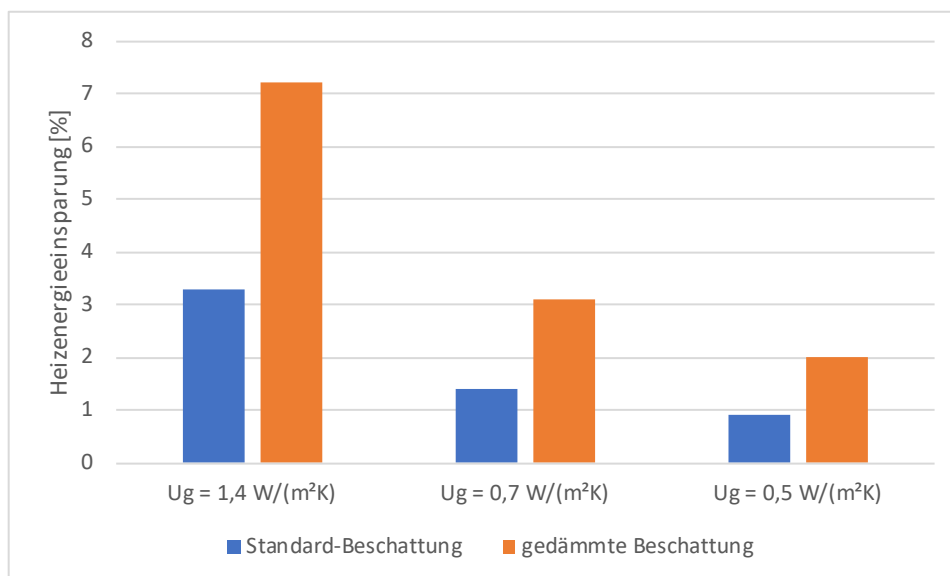


Abbildung 55: Abschätzung der Einsparung von Heizenergie in Abhängigkeit von Verglasungs-U-Wert und Beschattungsvariante bei Nachtbeschattung in der kalten Jahreszeit gegenüber temperaturgesteuerter Standard-Beschattung in Prozent unter Zugrundelegung der Randbedingungen der A-Variante (Worst Case) der Hauptstudie.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Einsparungspotenzial für Heizenergie in Abhängigkeit von der Verglasungsqualität allein durch die Maßnahme der nächtlichen Beschattung während der Heizperiode zwischen knapp 1 % und bis zu ca. 7 % zu liegen kommt. Hierdurch zeigt sich, dass energetisch ohne zusätzliche Investitionen mit einem bereits vorhandenen außenliegenden Sonnenschutz Energie eingespart werden kann, sofern eine entsprechende Steuerung (manuell oder automatisch) gewährleistet wird.

Abbildung 56 bis Abbildung 58 zeigen den Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsoberfläche der Verglasung über zwei exemplarische Tage im Jänner. Aus diesen Grafiken geht hervor, wie sich durch die Maßnahme der nächtlichen Beschattung auch die Oberflächentemperatur an der inneren Verglasungsoberfläche erhöht, und zwar wiederum in Abhängigkeit von der Verglasungsqualität. So beträgt die Temperaturerhöhung gegenüber der Referenz je nach nächtlicher Beschattung bei der Verglasung mit $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zwischen 0,2 K und 0,4 K, bei der Verglasung mit $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zwischen 0,3 K und 0,6 K und bei jener mit $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zwischen 0,9 K und 1,4 K. Dies zeigt, dass die Maßnahme zusätzlich auch geeignet ist, Kondensat- und somit Schimmelbildung an der inneren Fensteroberfläche zu reduzieren.

Umgekehrt stellen sich gerade bei wärmeschutztechnisch hochwertigen Verglasungen aufgrund der hohen Dämmwirkung in der kalten Jahreszeit auf der Außenseite sehr kalte Oberflächentemperaturen ein. Diese können fallweise durch nächtliche Abstrahlung sogar unter die Außenlufttemperatur fallen, was in der Übergangszeit zu Kondensat, im Winter auch zu Vereisungen auf der äußeren Glasoberfläche führen kann. Dieser Umstand wird von Konsument:innen häufig als Mangel angesehen. Auch in diesem Fall bewirkt die Bildung eines zusätzlichen Puffers und der Unterbindung der direkten Abstrahlung durch die nächtliche Beschattung eine Erhöhung der äußeren Oberflächentemperatur gerade solcher hochwertiger Verglasungen und dadurch eine Reduzierung dieser negativen Effekte. Eine Quantifizierung dieses Aspektes war mit vertretbarem Aufwand im Rahmen der vorliegenden Studie aufgrund von softwarespezifischen Einschränkungen, nicht möglich.

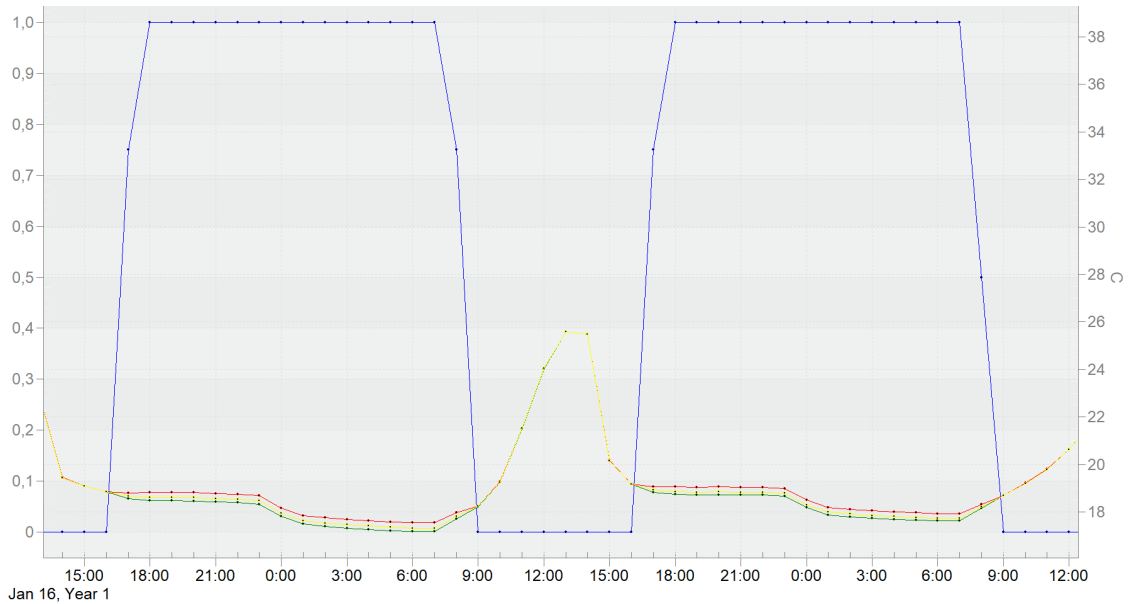


Abbildung 56: Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsfläche der Verglasung mit $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ über zwei exemplarische Tage im Jänner: Gedämmte Beschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (rot), Standardbeschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (gelb), und Standardbeschattung ohne nächtliche Aktivierung in der Heizperiode (Referenz, grün). Blau dargestellt ist der Zustand der außenliegenden Beschattungen mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (1: aktiviert, 0: deaktiviert).

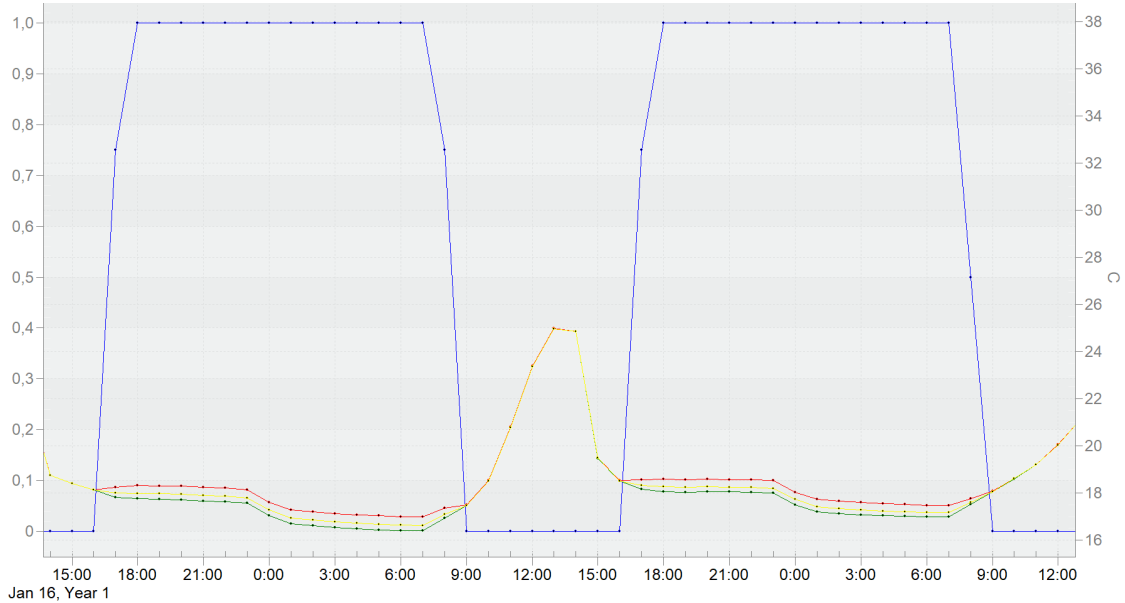


Abbildung 57: Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsfläche der Verglasung mit $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ über zwei exemplarische Tage im Jänner: Gedämmte Beschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (rot), Standardbeschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (gelb), und Standardbeschattung ohne nächtliche Aktivierung in der Heizperiode (Referenz, grün). Blau dargestellt ist der Zustand der außenliegenden Beschattungen mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (1: aktiviert, 0: deaktiviert).

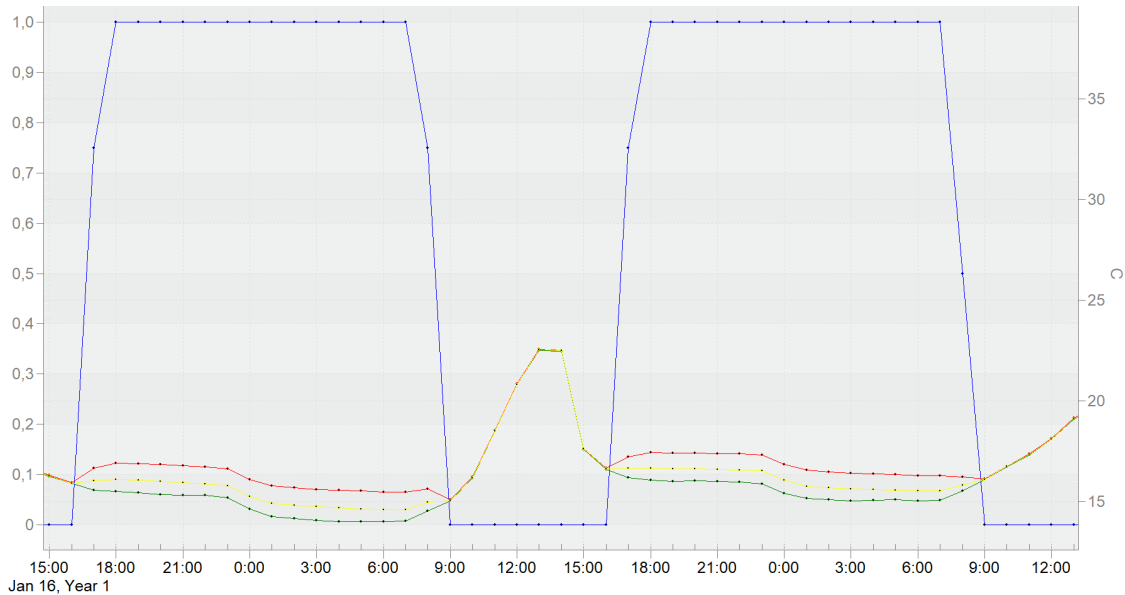


Abbildung 58: Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsfläche der Verglasung mit $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ über zwei exemplarische Tage im Jänner: Gedämmte Beschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (rot), Standardbeschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (gelb), und Standardbeschattung ohne nächtliche Aktivierung in der Heizperiode (Referenz, grün). Blau dargestellt ist der Zustand der außenliegenden Beschattungen mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (1: aktiviert, 0: deaktiviert).

5.3. Weiterführende Interpretations- und Prognosemöglichkeiten

5.3.1. Regressionsmodell

Wie unter 4.4.1 beschrieben, sollen mittels den erstellten Regressionsmodellen die Zusammenhänge zwischen den veränderlichen Parametern und den von diesen abhängigen Zielgrößen abgeschätzt werden. Wie gut diese Abschätzung ist, kann vereinfacht durch das sogenannte Bestimmtheitsmaß bewertet werden. Dieses beschreibt, welcher Anteil der analysierten Daten durch das erstellte Regressionsmodell „erklärt“ werden kann und besitzt somit einen Wert zwischen 0 und 1 (also 0 bzw. 100 %). Je näher der Wert an 100 % liegt, desto besser ist die Übereinstimmung zwischen dem erstellten Regressionsmodell und den zugrundeliegenden Daten. Neben dem Bestimmtheitsmaß wird zur Beurteilung der Regressionsmodelle auch der Standardfehler zur Regression, also die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler angeführt, welcher den durchschnittlichen Abstand der Datenpunkte zur Regressionsgerade angibt.

Die in der Tabelle 49 bis Tabelle 56 angegebenen Werte für das Bestimmtheitsmaß sowie den Standardfehler entsprechen dem Mittelwert der für das jeweilige Regressionsmodell durchgeführten Durchläufe mit zufällig ausgewählten Trainingsdatensätzen. Die Ausdrücke in Klammern entsprechen der zugehörigen Standardabweichung, durch welche sich beurteilen lässt, inwieweit das Ergebnis der Regression von der Auswahl der berücksichtigten Trainingsdatensätze abhängt.

Tabelle 49: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße Heizenergie

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	Heizenergie	98,7 % (0,1 %)	0,012 (0,003)
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	Heizenergie	98,0 % (0,2 %)	0,004 (0,001)
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	Heizenergie	98,6 % (0,1 %)	0,012 (0,003)
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	Heizenergie	98,6 % (0,1 %)	0,003 (0,001)

Tabelle 50: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße „Komfort“

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	„Komfort“	84,9 % (1,5 %)	0,076 (0,022)
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	„Komfort“	87,3 % (1,1 %)	0,110 (0,029)
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	„Komfort“	nicht zutreffend	nicht zutreffend
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	„Komfort“	nicht zutreffend	nicht zutreffend

Tabelle 51: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße Kühlenergie

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	Kühlenergie	nicht zutreffend	nicht zutreffend
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	Kühlenergie	nicht zutreffend	nicht zutreffend
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	Kühlenergie	92,3 % (0,6 %)	0,038 (0,01)
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	Kühlenergie	93,8 % (0,4 %)	0,029 (0,007)

Tabelle 52: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße Lichtenergie

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	Lichtenergie	97,0 % (0,2 %)	0,049 (0,012)
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	Lichtenergie	96,7 % (0,3 %)	0,026 (0,007)
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	Lichtenergie	96,8 % (0,2 %)	0,050 (0,012)
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	Lichtenergie	96,8 % (0,3 %)	0,024 (0,006)

Tabelle 53: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße Heizenergie

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	Heizenergie	99,82 % (0,02 %)	0,004 (0,001)
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	Heizenergie	99,22 % (0,07 %)	0,003 (0,001)
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	Heizenergie	99,84 % (0,02 %)	0,004 (0,001)
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	Heizenergie	99,66 % (0,03 %)	0,002 (0,000)

Tabelle 54: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße „Komfort“

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	„Komfort“	92,16 % (0,74 %)	0,055 (0,016)
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	„Komfort“	90,88 % (0,97 %)	0,093 (0,029)
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	„Komfort“	nicht zutreffend	nicht zutreffend
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	„Komfort“	nicht zutreffend	nicht zutreffend

Tabelle 55: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße Kühlenergie

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	Kühlenergie	nicht zutreffend	nicht zutreffend
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	Kühlenergie	nicht zutreffend	nicht zutreffend
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	Kühlenergie	96,78 % (0,35 %)	0,025 (0,008)
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	Kühlenergie	97,42 % (0,28 %)	0,019 (0,006)

Tabelle 56: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße Lichtenergie

Simulationsmodell	gesamte Anzahl an Datensätzen	Zielgröße	Bestimmtheitsmaß	Standardfehler
„Worst Case“ ohne Kühlanlage	2849	Lichtenergie	98,81 % (0,11 %)	0,031 (0,009)
„Standard“ ohne Kühlanlage	2421	Lichtenergie	99,04 % (0,12 %)	0,014 (0,005)
„Worst Case“ mit Kühlanlage	3536	Lichtenergie	98,87 % (0,08 %)	0,030 (0,007)
„Standard“ mit Kühlanlage	3249	Lichtenergie	99,07 % (0,09 %)	0,013 (0,004)

5.3.2. Einflussmatrizen

Die Einflussmatrizen beinhalten alle Ergebnisdaten, welche mittels der multilineareren Regression auf Basis der quadratischen Polynomfunktionsansätze ermittelt wurden.

Nachfolgend werden repräsentativ ausgewählte Einflussmatrizen inklusive einer zugehörigen Erläuterung angeführt. Dazu wurden für die Zielgrößen Heizenergie und Beleuchtungsenergie die Ergebnisse der Regressionsmodelle für die Simulationsvarianten ohne Kühlanlage und für „Kühlenergie“ mit Kühlanlage herangezogen. Da, wie in Tabelle 50 und Tabelle 51 angeführt, das Regressionsmodell für die Zielgröße Kühlenergie die Simulationsergebnisse deutlich besser abbildet, als für die Zielgröße „Komfort“, wurde die Kühlenergie für die Erläuterungen in Hinblick auf die Effekte zum sommerlichen Wärmeschutz weiter betrachtet.

Aufgrund der leichteren Lesbarkeit sind hier jeweils die Varianten der Einflussmatrizen mit reduzierter Anzahl an relevanten Koeffizienten angeführt. Alle übrigen Einflussmatrizen sind im Anhang unter 9.3 enthalten.

Anzumerken ist, dass die jeweiligen Ergebnisse der Regressionsmodelle für die Simulationsvarianten mit bzw. ohne Kühlanlage für die Zielgrößen Heizenergie und Beleuchtungsenergie nur geringfügige Abweichungen aufweisen. Die Abweichungen sind durch den Einfluss der Kühlanlage auf die Steuerkriterien der Heizung, der Beschattung und Lüftung sowie an der durch das Optimierungstool erzeugten unterschiedlichen Datengrundlage begründet.

Details zur Handhabung der Einflussmatrizen sind dem Abschnitt 4.4.2 zu entnehmen.

Die in den Erläuterungen getroffenen qualitativen, verbalen Bewertungen der einzelnen Gewichtungsfaktoren beziehen sich auf das Ausmaß deren Einflusses, relativ gesehen zum Einfluss der übrigen Gewichtungsfaktoren desselben Regressionsmodells.

Die getroffenen Beurteilungen „positiv“ bzw. „negativ“ beziehen sich in den folgenden Erläuterungen auf deren qualitativen Einfluss auf die betrachtete Zielgröße und nicht auf das numerische Vorzeichen des Gewichtungsfaktors. So beschreibt ein Gewichtungsfaktor mit positivem Vorzeichen einen negativen Einfluss, da dieser beispielsweise den Heizenergiebedarf erhöht. Umgekehrt reduziert ein Gewichtungsfaktor mit negativem Vorzeichen beispielsweise den Heizenergiebedarf, was als positiver Einfluss bezeichnet wird.

Tabelle 57: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,698	x	0,254	-0,086	-0,107	0,034	0,016	x	-0,018	x	-0,028	x	x	0,025	x	x	x	0,033
Größe der Lüftungsöffnung	x	x	x	0,024	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ug-Wert der Verglasung	0,254	x	0,018	-0,050	0,017	x	0,007	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	-0,086	0,024	-0,050	-0,013	-0,060	0,018	0,041	x	x	0,032	-0,017	x	0,059	0,027	-0,023	0,041	0,008	x
T-Wert der Verglasung	-0,107	x	0,017	-0,060	-0,110	x	x	x	-0,048	x	-0,035	-0,036	0,048	0,023	-0,018	0,022	x	x
Lamellen vorhanden	0,034	x	x	0,018	x	-	-	-	x	-0,018	-	x	x	x	x	x	x	x
Textiler Behang vorhanden	0,016	x	0,007	0,041	x	-	-	-	-0,006	x	-	x	0,029	x	x	-0,006	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	-0,018	x	x	x	-0,048	x	-0,006	x	-	0,028	0,064	0,024	-0,047	-0,019	0,024	0,008	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	x	x	0,032	x	-0,018	x	x	0,028	x	-0,018	-0,018	0,014	x	-0,023	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,028	x	x	-0,017	-0,035	-	-	-	0,064	-0,018	x	0,030	-0,061	-0,025	0,028	0,022	x	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	x	-0,036	x	x	x	0,024	-0,018	0,030	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	x	x	x	0,059	0,048	x	0,029	x	-0,047	0,014	-0,061	-	-	-	-	-0,016	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	0,025	x	x	0,027	0,023	x	x	-	-0,019	x	-0,025	-	-	-	-	-0,027	x	x
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	x	-0,023	-0,018	x	x	-	0,024	-0,023	0,028	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrragung als Verschattung	x	x	x	0,041	0,022	x	-0,006	x	0,008	x	0,022	x	-0,016	-0,027	x	0,020	-	x
Auskrragung als Verschattung vorhanden	x	x	x	0,008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	0,033	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-

Tabelle 58: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,055	0,022	0,035	x	-0,013	0,007	x	x	x	-0,006	x	x	0,004	-	0,002	x	x	-0,033
Größe der Lüftungsöffnung	0,022	-0,008	-0,005	0,006	0,007	-0,002	x	x	x	x	x	x	-0,005	-	x	x	x	x
U _g -Wert der Verglasung	0,035	-0,005	0,037	-0,048	-0,032	0,004	0,006	x	-0,006	0,002	-0,010	x	0,020	-	x	0,010	x	0,023
g-Wert der Verglasung	x	0,006	-0,048	0,015	0,004	x	0,004	x	x	0,006	-0,004	x	0,003	-	x	x	-0,002	-0,003
T-Wert der Verglasung	-0,013	0,007	-0,032	0,004	-0,008	x	x	x	-0,006	x	-0,005	x	0,006	-	x	x	x	-0,025
Lamellen vorhanden	0,007	-0,002	0,004	x	x	-	-	-	x	-0,007	-	x	x	-	x	-0,001	x	x
Textiler Behang vorhanden	x	x	0,006	0,004	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	-	0,002	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	x	x	-0,006	x	-0,006	x	x	x	-	0,007	0,012	x	-0,013	-	x	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,006	x	0,002	0,006	x	-0,007	x	x	0,007	0,004	-0,005	x	x	-	x	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	x	x	-0,010	-0,004	-0,005	-	-	-	0,012	-0,005	x	0,004	-0,012	-	0,005	x	x	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	x	x	x	x	0,002	x	x	0,004	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,004	-0,005	0,020	0,003	0,006	x	x	x	-0,013	x	-0,012	-	-	-	-	x	x	0,006
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,002	x	x	x	x	x	x	-	x	x	0,005	-	-	-	-	x	x	-0,003
Länge der Auskrugung als Verschattung	x	x	0,010	x	x	-0,001	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	0,004
Auskrugung als Verschattung vorhanden	x	x	x	-0,002	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	-0,033	x	0,023	-0,003	-0,025	x	x	x	x	x	x	x	0,006	-	-0,003	0,004	x	-

Tabelle 59: Erläuterung zu den Gewichtungsfaktoren der in Tabelle 57 und der Tabelle 58 angeführten Einflussmatrizen zum Heizenergiebedarf der Simulationsvarianten ohne Kühlanlage

Gewichtungsfaktor: <i>Größe der Lüftungsöffnung</i>	
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: kein signifikanter Einfluss Simulationsmodell „Standard“: signifikanter negativer Einfluss
Erläuterung:	Unterschiedliches Verhalten aufgrund abweichender Randbedingungen (Qualität der Gebäudehülle, Verhältnis Transmissionswärmeverluste und Lüftungswärmeverluste, etc.) und deren Einfluss auf die Lüftungssteuerung.
Gewichtungsfaktor: <i>U_g-Wert der Verglasung</i>	
Beschreibung:	beide Simulationsmodelle: großer negativer Einfluss
Erläuterung:	höherer U _g -Wert erhöht signifikant den Heizenergiebedarf
Gewichtungsfaktor: <i>U_g-Wert der Verglasung U_g-Wert der Verglasung</i>	
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: geringer quadratischer negativer Einfluss Simulationsmodell „Standard“: großer quadratischer negativer Einfluss
Erläuterung:	Bei höherer Gebäudequalität wirkt sich der höhere U _g -Wert signifikanter aus; wobei die Auswirkungen höherer U _g -Werte etwas überlinear abgebildet werden.
Gewichtungsfaktor: <i>g-Wert</i>	
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: leicht positiver Einfluss Simulationsmodell „Standard“: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	höherer g-Wert führt zu einer Reduktion des Heizenergiebedarf durch solare Gewinne; Unterschiede der Simulationsmodelle müssen in Kombination mit anderen Gewichtungsfaktoren betrachtet werden.
Gewichtungsfaktor: <i>g-Wert U_g-Wert</i>	
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: leicht positiver Einfluss Simulationsmodell „Standard“: hoher positiver Einfluss
Erläuterung:	Simulationsmodell „Worst Case“: höherer g-Wert führt zu einer Reduktion des Heizenergiebedarf durch solare Gewinne Simulationsmodell „Standard“: besonders hoher positiver Einfluss eines hohen g-Wertes durch Kompensation eines hohen U _g -wertes
Gewichtungsfaktor: <i>g-Wert g-Wert</i>	
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: leicht positiver quadratischer Einfluss Simulationsmodell „Standard“: geringer negativer quadratischer Einfluss
Erläuterung:	Simulationsmodell „Worst Case“: höherer g-Wert führt zu einer Reduktion des Heizenergiebedarf durch solare Gewinne Simulationsmodell „Standard“: durch den quadratischen negativen Einfluss werden positive Einflüsse eines hohen g-Wertes bei höheren Werten teils kompensiert

Gewichtungsfaktor:	T-Wert
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: positiver Einfluss Simulationsmodell „Standard“: positiver Einfluss
Erläuterung:	höherer T-Wert tritt in der Datenbasis in der Regel mit einem höheren g-Wert auf, weshalb deren Effekte durch die Regression nicht genügend voneinander abgekoppelt werden können. Daher führt auch ein höherer T-Wert zu einer Reduktion des Heizenergiebedarf durch solare Gewinne
Gewichtungsfaktor:	T-Wert U_g-Wert
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: sehr geringer negativer Einfluss Simulationsmodell „Standard“: positiver Einfluss
Erläuterung:	höherer T-Wert tritt in der Datenbasis in der Regel mit einem höheren g-Wert auf, weshalb deren Effekte durch die Regression nicht genügend voneinander abgekoppelt werden können. Daher tritt hier der gleiche Effekt auf wie bei dem Faktor g-Wert U _g -Wert
Gewichtungsfaktor:	T-Wert T-Wert
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: positiver quadratischer Einfluss Simulationsmodell „Standard“: geringer positiver quadratischer Einfluss
Erläuterung:	höherer T-Wert tritt in der Datenbasis in der Regel mit einem höheren g-Wert auf, weshalb deren Effekte durch die Regression nicht genügend voneinander abgekoppelt werden können. Daher führt auch ein höherer T-Wert zu einer Reduktion des Heizenergiebedarf durch solare Gewinne
Gewichtungsfaktor:	T-Wert g-Wert
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: geringer positiver Einfluss Simulationsmodell „Standard“: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	höherer T-Wert tritt in der Datenbasis in der Regel mit einem höheren g-Wert auf, weshalb deren Effekte durch die Regression nicht genügend voneinander abgekoppelt werden können.
Gewichtungsfaktor:	innenliegende Beschattung, innenliegende Beschattung T-Wert der Verglasung
Beschreibung:	geringer positiver Einfluss erhöhter positiver Einfluss bei hohem T-Wert der Verglasung
Erläuterung:	eine innenliegende, anstatt einer außenliegenden Beschattung wirkt sich positiv auf den Heizenergiebedarf aus, da die abgeschattete Energie bereits durch die Verglasung in den Raum eingetreten ist. Dieser Effekt tritt verstärkt in Kombination mit einer strahlungsdurchlässigen Verglasung auf.
Gewichtungsfaktor:	Transmissionsgrad eines textilen Behanges, Transmissionsgrad eines textilen Behanges U_g-Wert, g-Wert, T-Wert
Beschreibung:	geringer positiver Einfluss geringer positiver Einfluss in Kombination mit einer strahlungsdurchlässigen Verglasung
Erläuterung:	ein hoher Transmissionsgrad reduziert den Heizenergiebedarf durch solare Gewinne; Einfluss trotzdem gering, da in Heizphase seltener Beschattung aufgrund der Steuerung

Gewichtungsfaktor:	Transmissionsgrad eines textilen Behanges innenliegende Beschattung
Beschreibung:	gegenseitig kompensierter Einfluss
Erläuterung:	Ein hoher Transmissionsgrad des textilen Behanges kompensiert den positiven Effekt der innenliegenden Beschattung, da dadurch deren Einfluss reduziert wird.
Gewichtungsfaktor:	Lamellen vorhanden bzw. textiler Behang vorhanden
Beschreibung:	geringe negative Auswirkungen, geringe negative Auswirkungen in Kombination mit strahlungsdurchlässiger Verglasung
Erläuterung:	Beschattungseinrichtungen reduzieren solare Gewinne; geringe Einflüsse
Gewichtungsfaktor:	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt
Beschreibung:	kein Einfluss
Erläuterung:	Kein signifikanter Einfluss auf den Heizenergiebedarf vorhanden
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: geringer Einfluss Simulationsmodell „Standard“: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	geringer Einfluss, da Steuerkriterium in der für den Heizenergiebedarf relevanten Zeitraum selten eintritt.
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	negativer Einfluss in Kombination mit strahlungsdurchlässiger Verglasung, welcher durch eine innenliegende Verglasung bzw. einen hohen Transmissionsgrad eines textilen Behangs kompensiert werden kann
Erläuterung:	Steuerkriterium mit dem größten Einfluss aufgrund des sehr niedrigen Schwellenwerts der Einstrahlung
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: deutlich reduzierter Einfluss als bei 50 W-Steuerkriterium Simulationsmodell „Standard“: bei Regression aufgrund nicht vorhandener Daten nicht berücksichtigt
Erläuterung:	Aufgrund des höheren Schwellenwertes wird die Beschattung seltener aktiviert, was zu einem entsprechend geringeren negativen Einfluss auf den Heizenergiebedarf durch reduzierte solare Gewinne führt.
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: zeitgesteuert, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: positiver Einfluss in Kombination mit strahlungsdurchlässiger Verglasung bzw. hohem Reflexionsgrad der Beschattung; negativer Einfluss mit innenliegender Beschattung bzw. hohem Transmissionsgrad des Behangs Simulationsmodell „Standard“: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	In beiden Fällen sind die Gewichtungsfaktoren nicht alleinstehend zu interpretieren, sondern in Relation zu den vergleichbaren Gewichtungsfaktoren der übrigen Steuerkriterien zu betrachten. Die reine Zeitsteuerung wirkt sich in der Heizphase deutlich besser auf den Heizenergiebedarf aus als die übrigen Steuerkriterien, da in diesem Zeitraum die Beschattung durch die Zeitsteuerung vollständig deaktiviert ist.

Gewichtungsfaktor:	Länge der Auskrragung als Verschattung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: negativer quadratischer Einfluss der Auskrragungslänge; negativer Einfluss bei strahlungsdurchlässiger Verglasung, kompensiert teils Einflüsse durch Steuerkriterien
Erläuterung:	<p>Simulationsmodell „Standard“: negativer Einfluss bei hohem U_g-Wert</p> <p>Der quadratische Gewichtungsfaktor bedeutet, dass der negative Einfluss mit steigender Länge überproportional ansteigt; Kompensiert positive Einflüsse von strahlungsdurchlässiger Verglasung bzw. negative Einflüsse durch Steuerkriterien; Einfluss der Auskrragung auf den Heizenergiebedarf bei Wohneinheit mit höhere Gebäudequalität und kleinerer Fensterfläche deutlich geringer</p>
Gewichtungsfaktor:	Auskrragung als Verschattung vorhanden, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	Einfluss der Auskrragung wird nur durch deren Länge abgebildet; ein zusätzlicher konstanter Gewichtungsfaktor muss nicht berücksichtigt werden.
Gewichtungsfaktor:	Querlüftungsmöglichkeit, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	<p>Simulationsmodell „Worst Case“: kein signifikanter Einfluss</p> <p>Simulationsmodell „Standard“: positiver Einfluss in Kombination mit einem großen Lüftungsquerschnitt sowie einem hohen T-Wert der Verglasung, negativer Einfluss in Kombination mit einem hohen g-Wert der Verglasung</p>
Erläuterung:	<p>Es wird vermutet, dass die festgestellten Effekte beim Simulationsmodell „Standard“ durch die Lüftungssteuerung hervorgerufen werden, da durch die Querlüftungsmöglichkeit der Zeitraum in welchem gelüftet wird reduziert werden kann. Darüber hinaus bietet die Querlüftung die Möglichkeit einen Überschuss an solaren Gewinnen (besonders in der Übergangszeit) in südseitigen Räumen an kühlere nordseitige Räume zu verteilen.</p> <p>Es würde weitere detaillierte Analysen der Simulationsdaten erfordern, um den Einfluss weiter beurteilen zu können.</p>

Tabelle 60: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,523	x	x	-0,160	-0,395	0,258	0,259	x	x	x	-0,080	0,111	0,256	x	x	0,172	0,095	x
Größe der Lüftungsöffnung	x	x	x	x	-0,026	x	x	x	x	x	0,085	-0,095	x	x	x	x	x	x
Ug-Wert der Verglasung	x	x	x	x	-0,012	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	-0,160	x	x	0,287	x	0,061	0,144	x	0,016	x	-0,293	0,110	0,040	x	x	0,168	-0,138	x
T-Wert der Verglasung	-0,395	-0,026	-0,012	x	-0,314	0,112	x	x	0,006	-0,102	-0,378	x	0,107	-0,142	x	0,138	-0,176	0,003
Lamellen vorhanden	0,258	x	x	0,061	0,112	-	-	-	x	x	-	0,039	0,085	x	x	-0,133	x	x
Textiler Behang vorhanden	0,259	x	x	0,144	x	-	-	-	x	0,098	-	0,072	0,171	x	x	-0,158	0,017	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-0,115	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	x	x	x	0,016	0,006	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	x	x	x	-0,102	x	0,098	-0,115	x	-0,038	-0,124	x	x	x	x	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,080	0,085	x	-0,293	-0,378	-	-	-	x	-0,124	-0,370	-0,094	-0,469	0,285	0,198	0,330	x	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,111	-0,095	x	0,110	x	0,039	0,072	x	x	x	-0,094	-	-	-	-	-0,133	0,071	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,256	x	x	0,040	0,107	0,085	0,171	x	x	x	-0,469	-	-	-	-	-0,302	0,115	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	x	x	x	x	-0,142	x	x	-	x	x	0,285	-	-	-	-	0,160	-0,118	x
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	0,198	-	-	-	-	-0,016	x	x
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,172	x	x	0,168	0,138	-0,133	-0,158	x	x	x	0,330	-0,133	-0,302	0,160	-0,016	0,210	-	x
Auskrugung als Verschattung vorhanden	0,095	x	x	-0,138	-0,176	x	0,017	x	x	x	x	0,071	0,115	-0,118	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	x	x	x	0,003	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-

Tabelle 61: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,906	x	0,032	-0,170	-0,264	0,092	0,082	x	x	x	x	0,052	0,077	-	x	0,124	x	x
Größe der Lüftungsöffnung	x	0,029	x	-0,024	-0,069	x	x	x	x	x	0,021	-0,060	x	-	x	0,050	x	x
U _g -Wert der Verglasung	0,032	x	x	x	-0,059	x	x	x	x	x	0,020	x	x	-	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	-0,170	-0,024	x	x	-0,085	0,177	0,222	x	x	x	-0,192	0,136	0,152	-	x	0,178	x	x
T-Wert der Verglasung	-0,264	-0,069	-0,059	-0,085	-0,247	0,129	0,135	x	x	x	-0,122	0,071	0,123	-	x	0,150	x	-0,001
Lamellen vorhanden	0,092	x	x	0,177	0,129	-	-	-	x	x	-	x	0,031	-	x	-0,244	x	x
Textiler Behang vorhanden	0,082	x	x	0,222	0,135	-	-	-	x	x	-	x	0,047	-	x	-0,281	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-0,049	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	x	x	x	x	x	x	-0,049	x	-0,040	0,051	x	x	-	x	x	0,030	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	x	0,021	0,020	-0,192	-0,122	-	-	-	x	0,051	-0,223	x	-0,091	-	0,082	0,159	0,062	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,052	-0,060	x	0,136	0,071	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-0,108	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,077	x	x	0,152	0,123	0,031	0,047	x	x	x	-0,091	-	-	-	-	-0,199	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	0,082	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,124	0,050	x	0,178	0,150	-0,244	-0,281	x	x	x	0,159	-0,108	-0,199	-	x	0,114	-	x
Auskrugung als Verschattung vorhanden	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,030	0,062	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	x	x	x	-0,001	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-

Tabelle 62: Erläuterung zu den Gewichtungsfaktoren der in Tabelle 60 und der Tabelle 61 angeführten Einflussmatrizen zum Beleuchtungsenergiebedarf der Simulationsvarianten ohne Kühlanlage

Gewichtungsfaktor:	g-Wert & T-Wert der Verglasung
Beschreibung:	positiver Einfluss durch höhere Werte
Erläuterung:	führt zu höherem Lichteinfall durch die Verglasung; Gewichtungsfaktoren gemeinsame Kombinationen vermutlich aufgrund statistischer Korrelationen
Gewichtungsfaktor:	g-Wert g-Wert
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: negativer quadratischer Einfluss Simulationsmodell „Standard“: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	Ein unterschiedliches Verhalten der Verglasungseigenschaften zwischen den beiden Simulationsmodellen ist aufgrund abweichender baulicher Randbedingungen (z.B. Fensterfläche, Orientierung der Wohneinheit, etc.) zu erklären. Der hohe quadratische negative Einfluss beim Simulationsmodell „Worst Case“ ist aus bauphysikalischer Betrachtung alleinstehend nicht zu erklären. Dieser Gewichtungsfaktor resultiert zum Teil aus der Korrelation des g-Wertes und des T-Wertes der Verglasung und kann nur unter gemeinsamer Betrachtung mit den zeitgleich auftretenden Gewichtungsfaktoren weiterer Kombinationen des g-Wertes und des T-Wertes nachvollzogen werden. Er resultiert statistisch zur Kompensation einer mathematisch auftretenden Übergewichtung der zugehörigen, zeitgleich auftretenden Gewichtungsfaktoren.
Gewichtungsfaktor:	U_g-Wert, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	U _g -Wert der Verglasung wirkt sich nicht auf den Beleuchtungsenergiebedarf aus
Gewichtungsfaktor:	Lamellen vorhanden & textiler Behang vorhanden, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	negativer Einfluss, insbesondere in Kombination mit einer lichtdurchlässigen Verglasung; negativer Einfluss wird teils durch den negativen Einfluss einer Auskragung als Verschattung kompensiert
Erläuterung:	Bei lichtdurchlässigen Verglasungen wirken sich sowohl Beschattungen als auch Verschattungen mehr aus, als bei ohnehin schon lichtundurchlässigen Verglasungen.
Gewichtungsfaktor:	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss, außer in Kombination mit einem hohen Reflexionsgrad der Beschattung
Erläuterung:	Nachgeführte Lamellen erhöhen den Tageslichteinfall geringfügig, wenn deren Oberfläche einen höheren Reflexionsgrad aufweisen.
Gewichtungsfaktor:	innenliegende Beschattung
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	Lage der Beschattung zeigt keinen Einfluss auf den Tageslichtbedarf

Gewichtungsfaktor:	Reflexionsgrad der Beschattung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: positive quadratischer Einfluss und in Kombination mit einer lichtdurchlässigen Verglasung, welcher sich bei einem textilen Behang reduziert Simulationsmodell „Standard“: positive quadratischer Einfluss
Erläuterung:	Ein hoher Reflexionsgrad wirkt sich insbesondere bei einer Beschattung mittels Lamellen aus, wobei der Einfluss mit höherem Reflexionsgrad leicht quadratisch zunimmt.
Gewichtungsfaktor:	Reflexionsgrad der Beschattung Transmissionsgrad eines textilen Behangs
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: positiver Einfluss Simulationsmodell „Standard“: negativer Einfluss
Erläuterung:	Aufgrund der betrachteten Datenbasis besteht eine teilweise Korrelation zwischen dem Reflexionsgrad und dem Transmissionsgrad bei textilen Behängen. Der Gewichtungsfaktor zu deren Kombination ist in Kombination mit den zugehörigen weiteren Gewichtungsfaktoren dieser beiden Parameter zu betrachten und resultiert mehr aus deren gemeinsamen statistisch ermittelten, als physikalisch begründeten Zusammenhängen.
Gewichtungsfaktor:	Transmissionsgrad eines textilen Behangs, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Ein hoher Wert weist einen positiven quadratischen Einfluss auf und wirkt sich vor auch in Kombination mit einer lichtdurchlässigen Verglasung positiv aus.
Erläuterung:	Da diese beiden Eigenschaften des textilen Behangs physikalisch indirekt proportional zueinander sind und sich somit ohnehin gegenseitig bedingen ist dieser kombinierte Gewichtungsfaktor einzeln nur schwer zu interpretieren und dessen Auswirkungen können nur in Kombination mit den weiteren zugehörigen Gewichtungsfaktoren betrachtet werden.
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	negativer Einfluss, insbesondere bei lichtdurchlässiger Verglasung, welcher bei einem textilen Behang mit hohem Transmissionsgrad teils kompensiert wird
Erläuterung:	negativer Einfluss bei einer Verglasung, welche ohnehin weniger Tageslichteinfall ermöglicht geringer
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	gleiche Auswirkungen wie beim Steuerkriterium 24°C Raumlufttemperatur, nur ausgeprägter
Erläuterung:	es treten vergleichbare Effekte auf, allerdings über längere Zeiträume aufgrund des sehr niedrigen Schwellenwerts zur Einstrahlung
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: deutlich geringere Einflüsse als mit 50 W Steuerkriterium; positiver Einfluss in Kombination mit hohem T-Wert der Verglasung und negativer Einfluss in Kombination mit hohem Transmissionsgrad eines textilen Behangs Simulationsmodell „Standard“: bei Regression aufgrund nicht vorhandener Daten nicht berücksichtigt
Erläuterung:	Aufgrund des höheren Schwellenwerts zur Einstrahlung deutlich geringere Einflüsse als mit 50 W. Dies führt bei den angeführten kombinierten Gewichtungsfaktoren sogar zu einer Überkompensation, um die Einflüsse durch weitere Parameterkombinationen zu kompensieren.

Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: zeitgesteuert, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss, bis auf negativen Einfluss in Kombination mit hohem Transmissionsgrad eines textilen Behangs
Erläuterung:	Der geringe Einfluss ist im relativen Vergleich mit den alternativen Steuerkriterien zu verstehen.
Gewichtungsfaktor:	Länge der Auskrragung als Verschattung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	negativer linearer und quadratischer Einfluss der Auskrragungslänge; negativer Einfluss bei strahlungsdurchlässiger Verglasung, kompensiert teils negative Einflüsse durch Beschattung bzw. deren Steuerkriterien
Erläuterung:	Der quadratische Gewichtungsfaktor bedeutet, dass der negative Einfluss mit steigender Länge überproportional ansteigt; Kompensiert teils positive Einflüsse von lichtdurchlässiger Verglasung bzw. negative Einflüsse durch Steuerkriterien;
Gewichtungsfaktor:	Auskrragung als Verschattung vorhanden, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: negativer linearer Einfluss und zum Gewichtungsfaktor der Länge der Auskrragung kompensierende (gegenläufige) Einflüsse Simulationsmodell „Standard“: kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	Unterschiedliche Aufteilung zwischen konstanten und mit der Länge der Auskrragung variablen Einflüssen der Auskrragung bei den Simulationsmodellen aufgrund unterschiedlicher baulicher Randbedingungen (Gebäudehülle, Fenstergröße, Orientieren der Wohneinheit etc.).
Gewichtungsfaktor:	Querlüftungsmöglichkeit, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	Die Möglichkeit quer zu lüften hat keinen signifikanten Einfluss auf den Beleuchtungsenergiebedarf.

Tabelle 63: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: „Kühlenergie“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,228	-0,394	x	0,150	0,166	-0,101	-0,073	x	0,100	0,066	0,065	x	-0,042	-0,043	x	-0,035	-0,021	x
Größe der Lüftungsöffnung	-0,394	0,264	x	-0,058	-0,106	x	0,044	0,011	-0,038	x	-0,117	x	0,052	0,043	x	0,040	x	0,017
Ug-Wert der Verglasung	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,032	x	x	x	x	x	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	0,150	-0,058	x	0,059	0,120	-0,060	-0,150	x	0,112	-0,140	0,112	-0,073	-0,061	x	x	-0,117	-0,034	x
T-Wert der Verglasung	0,166	-0,106	x	0,120	0,181	-0,046	-0,093	x	0,124	-0,036	0,092	-0,030	-0,048	x	x	-0,046	x	x
Lamellen vorhanden	-0,101	x	x	-0,060	-0,046	-	-	-	0,039	0,067	-	x	x	-0,020	x	0,086	x	x
Textiler Behang vorhanden	-0,073	0,044	x	-0,150	-0,093	-	-	-	0,061	x	-	x	x	x	x	0,121	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	0,011	x	x	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	0,100	-0,038	-0,032	0,112	0,124	0,039	0,061	x	-	-0,154	-0,269	0,052	0,042	x	x	-0,097	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	0,066	x	x	-0,140	-0,036	0,067	x	x	-0,154	x	x	x	x	x	x	0,056	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,065	-0,117	x	0,112	0,092	-	-	-	-0,269	x	0,169	0,062	0,047	x	x	-0,085	-0,022	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	-0,073	-0,030	x	x	x	0,052	x	0,062	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,042	0,052	x	-0,061	-0,048	x	x	x	0,042	x	0,047	-	-	-	-	0,009	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-0,043	0,043	x	x	x	-0,020	x	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrragung als Verschattung	-0,035	0,040	x	-0,117	-0,046	0,086	0,121	x	-0,097	0,056	-0,085	x	0,009	x	x	-0,042	-	x
Auskrragung als Verschattung vorhanden	-0,021	x	x	-0,034	x	x	x	x	x	x	-0,022	x	x	x	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	0,017	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-

Tabelle 64: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: „Kühlenergie“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,172	-0,400	-0,037	0,098	0,103	-0,047	-0,046	x	0,067	0,060	0,075	x	-0,033	-	-0,028	-0,009	-0,012	x
Größe der Lüftungsöffnung	-0,400	0,247	x	x	-0,137	0,029	0,053	0,009	-0,032	x	-0,086	x	0,052	-	0,057	0,042	x	x
U _g -Wert der Verglasung	-0,037	x	x	x	0,037	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	0,098	x	x	x	0,082	-0,030	-0,103	x	0,083	-0,083	0,082	-0,055	-0,031	-	-0,046	-0,051	-0,049	x
T-Wert der Verglasung	0,103	-0,137	0,037	0,082	0,115	-0,042	-0,068	x	0,078	-0,034	0,101	x	-0,034	-	-0,033	-0,030	x	0,025
Lamellen vorhanden	-0,047	0,029	x	-0,030	-0,042	-	-	-	0,020	0,046	-	x	x	-	-0,014	x	x	x
Textiler Behang vorhanden	-0,046	0,053	x	-0,103	-0,068	-	-	-	0,047	x	-	x	x	-	-0,014	x	0,039	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	0,009	x	x	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	0,067	-0,032	x	0,083	0,078	0,020	0,047	x	-	-0,108	-0,190	x	x	-	0,004	-0,039	-0,015	x
Reflexionsgrad der Beschattung	0,060	x	x	-0,083	-0,034	0,046	x	x	-0,108	x	0,035	x	x	-	0,015	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,075	-0,086	x	0,082	0,101	-	-	-	-0,190	0,035	0,075	0,033	0,020	-	0,022	-0,027	-0,067	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	-0,055	x	x	x	x	x	x	0,033	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,033	0,052	x	-0,031	-0,034	x	x	x	x	x	0,020	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,028	0,057	x	-0,046	-0,033	-0,014	-0,014	-	0,004	0,015	0,022	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrragung als Verschattung	-0,009	0,042	x	-0,051	-0,030	x	x	x	-0,039	x	-0,027	x	x	-	x	x	-	x
Auskrragung als Verschattung vorhanden	-0,012	x	x	-0,049	x	x	0,039	x	-0,015	x	-0,067	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	x	x	x	0,025	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-

Tabelle 65: Erläuterungen zu den Gewichtungsfaktoren der in Tabelle 63 und Tabelle 64 angeführten Einflussmatrizen zur Kühlenergie der Simulationsvarianten mit Kühlanlage

Gewichtungsfaktor:	Größe der Lüftungsöffnung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	großer positiver linear und negativer quadratischer Einfluss; diverse kompensierte Kombinationen mit anderen Parametern
Erläuterung:	Der gegenläufige lineare und quadratische Einflussfaktor bedeutet, dass der positive Effekt einer größeren Lüftungsöffnung nicht proportional zunimmt; eine größere Lüftungsöffnung reduziert z.B. negative Einflüsse durch eine strahlungsdurchlässige Verglasung oder Beschattung.
Gewichtungsfaktor:	g-Wert & T-Wert der Verglasung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	negativer linearer und quadratischer Einfluss durch höhere Werte
Erläuterung:	führt zu höheren solaren Energieeinträgen durch die Verglasung; Es davon ausgegangen, dass Gewichtungsfaktoren zum g-Wert, zum T-Wert und deren Kombinationen zum Teil aufgrund statistischer Korrelationen zwischen diesen beiden Werten in der Datenbasis auftreten.
Gewichtungsfaktor:	Lamellen vorhanden & textiler Behang vorhanden, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	positiver Einfluss, insbesondere in Kombination mit strahlungsdurchlässiger Verglasung
Erläuterung:	reduziert solare Energieeinträgen durch die Verglasung; bei strahlungsundurchlässigeren Verglasungen wirkt sich dieser positive Effekt abgemindert aus
Gewichtungsfaktor:	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	keine relevanten Effekte der Nachführung auf die Zielgröße Kühlenergie
Gewichtungsfaktor:	innenliegende Beschattung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	negativer Einfluss, insbesondere in Kombination mit hohem g-Wert bzw. hohem T-Wert der Verglasung; Einfluss wird durch hohen Reflexionsgrad der Beschattung bzw. hohen Transmissionsgrad eines textilen Behangs reduziert. Negative Einflüsse in Kombination mit Steuerkriterien vorhanden.
Erläuterung:	Innenliegende Beschattung kann solare Energieeinträge nicht signifikant verhindern, was insbesondere bei einer strahlungsdurchlässigen Verglasung deutlich auswirkt. Durch einen hohen Reflexionsgrad der Beschattung, kann ein Teil der Strahlung reflektiert werden. Der Einfluss der Beschattung wird durch einen hohen Transmissionsgrad eines textilen Behangs reduziert. Positive Einflüsse von Steuerkriterien werden zum Teil durch eine innenliegende Beschattung kompensiert.
Gewichtungsfaktor:	Reflexionsgrad der Beschattung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	positiver Einfluss in Kombination mit hohem g-Wert und hohem T-Wert der Verglasung
Erläuterung:	positiver Einfluss bei strahlungsdurchlässiger Verglasung

Gewichtungsfaktor:	Transmissionsgrad eines textilen Behangs, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	hoher Transmissionsgrad wirkt sich negativ aus (sowohl linearer als auch quadratischer Gewichtungsfaktor); zusätzlich verstärkt bei hohem g- bzw. T-Wert der Verglasung; Negative Einflüsse in Kombination mit Steuerkriterien vorhanden.
Erläuterung:	ein hoher Transmissionsgrad führt zu höheren solaren Energieeinträgen, insbesondere, wenn diese nicht durch die Verglasung reduziert werden. Positive Einflüsse von Steuerkriterien werden zum Teil durch eine innenliegende Beschattung kompensiert.
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterium: 24°C Raumlufthtemperatur, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	positive Einflüsse in Kombination mit einem hohen g- bzw. T-Wert der Verglasung Simulationsmodell „Standard“:
Erläuterung:	
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterien bei Simulationsmodell „Worst Case“
Beschreibung:	positive Einflüsse durch die Steuerkriterien 24° Raumlufthtemperatur, 50 W/200 W Einstrahlung im Vergleich zur reinen Zeitsteuerung. Insbesondere Einfluss der Steuerkriterien 24° Raumlufthtemperatur, 50 W Einstrahlung in Kombination mit einem hohen g- bzw. T-Wert der Verglasung.
Erläuterung:	Die Steuerkriterien 24° Raumlufthtemperatur und 50 W Einstrahlung werden durch die Gewichtungsfaktoren ähnlich bewertet (aufgrund der hohen Überschreitungsdauer der 24°C Raumlufthtemperatur in diesem Simulationsmodell und des niedrigen Schwellenwertes von 50 W Einstrahlung treten beide Steuerkriterien ähnlich häufig auf) und haben insbesondere in Kombination mit einer strahlungsdurchlässigen Verglasung einen positiven Einfluss - verglichen mit einer reinen Zeitsteuerung der Beschattung. Das Steuerkriterium 200 W Einstrahlung hat weniger Einfluss auf den Kühlenergiebedarf, verhält sich aber trotzdem noch besser als die reine Zeitsteuerung.
Gewichtungsfaktor:	Steuerkriterien bei Simulationsmodell „Standard“
Beschreibung:	Alle Steuerkriterien weisen in Kombination mit einem hohen g- bzw. T-Wert der Verglasung positive Einflüsse auf, wobei die Gewichtungsfaktoren mit dem Steuerkriterium 50 W Einstrahlung und der reinen Zeitsteuerung ähnliche Ergebnisse erzielen. Das Steuerkriterium 200 W Einstrahlung wurde bei der Regression aufgrund nicht vorhandener Daten nicht berücksichtigt, weshalb keine Gewichtungsfaktoren dazu ermittelt wurden.
Erläuterung:	Der Einfluss des 24° Steuerkriteriums ist in dem Simulationsmodell „Standard“ deutlich niedriger als im Simulationsmodell „Worst Case“, da der Zeitraum in welchem die Temperaturschwelle überschritten aufgrund der Simulationsmodelleigenschaften deutlich wird geringer ist.

Gewichtungsfaktor:	Länge der Auskragung als Verschattung, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	Simulationsmodell „Worst Case“: positiver linearer und quadratischer Einfluss der Auskragungslänge; positiver Einfluss bei strahlungsdurchlässiger Verglasung; innenliegender Beschattung und einem hohen Transmissionsgrad eines textilen Behangs Simulationsmodell „Standard“: positiver linearer Einfluss der Auskragungslänge; positiver Einfluss bei strahlungsdurchlässiger Verglasung; innenliegender Beschattung und einem hohen Transmissionsgrad eines textilen Behangs
Erläuterung:	Der quadratische Gewichtungsfaktor beim Simulationsmodell „Worst Case“ bedeutet, dass der negative Einfluss mit steigender Länge überproportional ansteigt; Eine Auskragung kompensiert zum Teil Effekte durch die Verglasung und durch die Beschattung. Der Einfluss der Auskragung auf den Kühlenergiebedarf ist beim Simulationsmodell „Worst Case“ deutlich höher als beim Simulationsmodell „Standard“. Dies resultiert aus den unterschiedlichen baulichen Randbedingungen (Gebäudehülle, Fenstergröße, Orientieren der Wohneinheit etc.).
Gewichtungsfaktor:	Auskragung als Verschattung vorhanden, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	zum Teil geringfügige Erhöhung der Effekte durch die Auskragung
Erläuterung:	Unterschiedliche Aufteilung zwischen konstanten und mit der Länge der Auskragung variablen Einflüssen der Auskragung bei den Simulationsmodellen aufgrund unterschiedlicher baulicher Randbedingungen (Gebäudehülle, Fenstergröße, Orientieren der Wohneinheit etc.).
Gewichtungsfaktor:	Querlüftungsmöglichkeit, inkl. zgh. Kombinationen
Beschreibung:	kein signifikanter Einfluss
Erläuterung:	Eine detaillierte Erklärung warum im vorliegenden Simulationsmodell die Querlüftung nicht den erwarteten positiven Effekt erzielt ist unter 5.2.2 angeführt.

Fazit zu den Regressionsmodellen und den daraus resultierenden Einflussmatrizen:

Die Regressionsmodelle eignen sich grundsätzlich zur Abbildung der Simulationsergebnisse und bieten die Möglichkeit, die Einflüsse und Auswirkungen einzelner Parameter und Parameterkombinationen nicht nur qualitativ zu beurteilen, sondern auch numerisch zu spezifizieren.

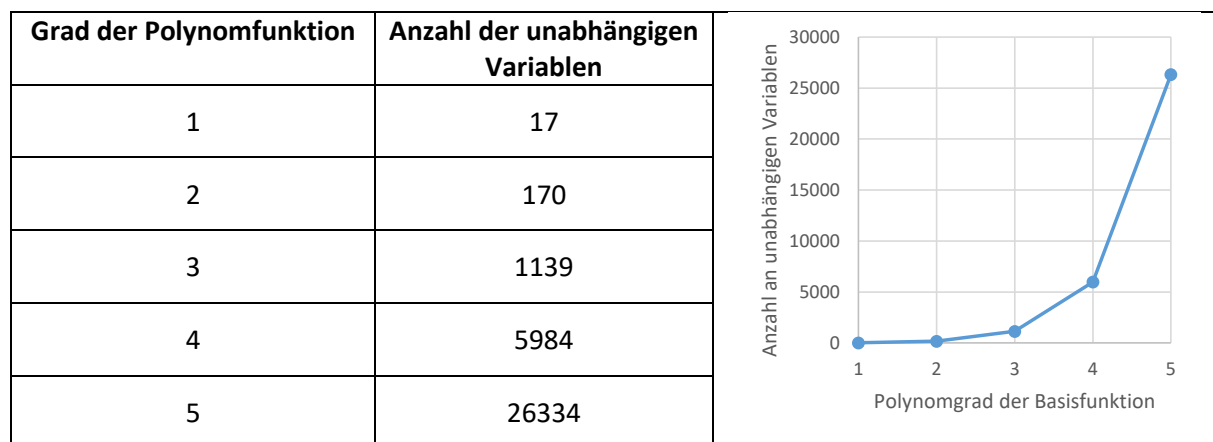
Wie in den Erläuterungen zu den Einflussmatrizen angeführt, stellen die meisten enthaltenen Gewichtungsfaktoren nachvollziehbare, physikalische Zusammenhänge dar. Jedoch ist die Interpretation einzelner Gewichtungsfaktoren zum Teil komplex, da diese in Kombination mit anderen Gewichtungsfaktoren auftreten und sich deshalb deren gesamtheitliche Auswirkungen unterschiedlich gestalten.

Zudem können Gewichtungsfaktoren auch aufgrund von rein statistischen Korrelationen von in der Datenbasis oft gemeinsam auftretenden Parametern resultieren, welche allerdings keinen kausalen Zusammenhang aufweisen (z.B. g-Wert und T-Wert einer Verglasung). Um dies zu optimieren, wäre künftig eine gezielte Erweiterung der Datenbasis und eine noch umfangreichere statistische Auswertung sinnvoll.

5.3.3. Prognosemöglichkeit

Wie bereits unter 4.4.3 beschrieben, können Polynomfunktionen höheren Grades als Basis der Regressionen für die Verwendung als Prognosemodell - im Gegensatz zur Verwendung für die Einflussmatrizen – angewandt werden. Zur Einschätzung des Einflusses des Grades der verwendeten Polynomfunktion auf die Qualität der Abbildung wurde für das Simulationsmodell „Worst Case“ eine Reihe an Regressionen durchgeführt und deren Ergebnisse verglichen. In Tabelle 66 ist die Anzahl der unabhängigen Variablen, welche durch den Grad der Polynomfunktion für die berücksichtigten 17 Parameter erforderlich sind, angeführt und deren exponentieller Zusammenhang ersichtlich.

Tabelle 66: Anzahl der unabhängigen Variablen in Abhängigkeit des Grades der Polynomfunktion



Den in Abbildung 59 dargestellten Ergebnissen kann entnommen werden, dass eine Erhöhung des Polynomgrades, wie erwartet, zu einer konvergierenden Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes sowie des Standardfehlers führt. Dies trifft - mit unterschiedlicher Ausprägung - auf alle Zielgrößen zu. Nach alleiniger Betrachtung dieser Ergebnisse wäre die Wahl einer Polynomfunktion 4. oder 5. Grades naheliegend. Die dafür deutlich höhere Anzahl unabhängiger Variablen und der damit einhergehende Ressourcenbedarf, sowohl zur erstmaligen numerischen Lösung des Regressionsmodells als auch zur späteren Nutzung des Prognosemodells, ist jedoch auch zu beachten. Dieser Ressourcenaufwand ist vor allem für eine etwaige Implementierung des Prognosemodells in ein einfach zugängliches Onlinetool nicht zu vernachlässigen - insbesondere, wenn dazu das Prognosemodell in einen rechenintensiven Optimierungsalgorithmus integriert werden soll. Aufgrund dieser Überlegungen wurde im Zuge dieses Sondierungsprojekts die Polynomfunktion 3. Grades weiter untersucht. Unabhängig von dieser Auswahl kann angemerkt werden, dass für Anwendungen, bei welchen eine höhere Genauigkeit erforderlich ist, auf Polynomfunktionen höheren Grades zurückgegriffen werden kann. Zur weiteren Untersuchung der Prognosemöglichkeiten wurden für all jene Simulationsvarianten, für welche auch eine Einflussmatrix erstellt wurde, ein weiteres Regressionsmodell berechnet und die Ergebnisse ausgewertet.

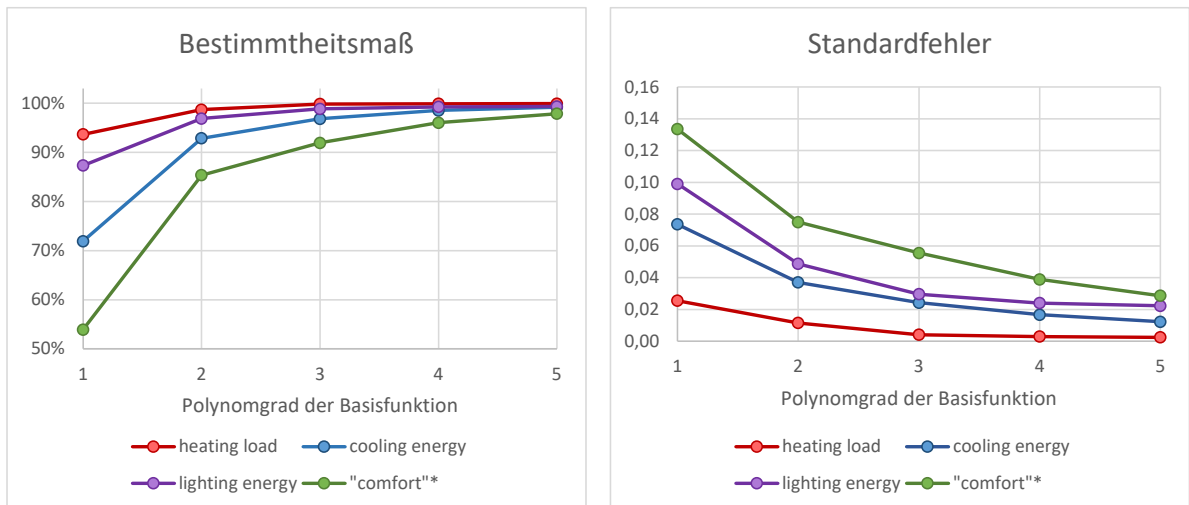


Abbildung 59: Bestimmtheitsmaße und Standardfehler in Abhängigkeit des Polynomgrades der Basisfunktion

Eine Beurteilung der Eignung auf Basis der mittels Simulationsergebnissen erarbeiteten Regressionsmodelle (Polynomfunktion 3. Grades als Basis) Prognosen zu erstellen, kann auf Grundlage der in Tabelle 53 bis Tabelle 56 angeführten Bestimmtheitsmaße und Standardfehler erfolgen.

Zusätzlich ermöglichen folgende Diagramme eine qualitative Einschätzung der Qualität der einzelnen Regressionsmodelle. Diese beinhalten auf der horizontalen Achse die normierten tatsächlichen Ergebnisse der jeweiligen Zielgröße aus den DesignBuilder-Simulationen und auf der vertikalen Achse die mittels dem Regressionsmodell erstellte Prognose für den zugehörigen Parameterdatensatz. Jeder dabei angeführte Punkt stellt dabei einen Simulationsdatensatz dar. Bei einem „perfekten“ Modell würden alle Punkte auf einer gedachten Geraden zwischen dem Ursprung des Diagramms bei 0/0 und dem Punkt 1/1 im rechten oberen Eck liegen. Eine größere Streuung der Datenpunkte um diese gedachte Symmetrieachse wiederum zeigt eine schlechtere Deckung der Prognoseergebnisse von den tatsächlichen simulierten Ergebnissen.

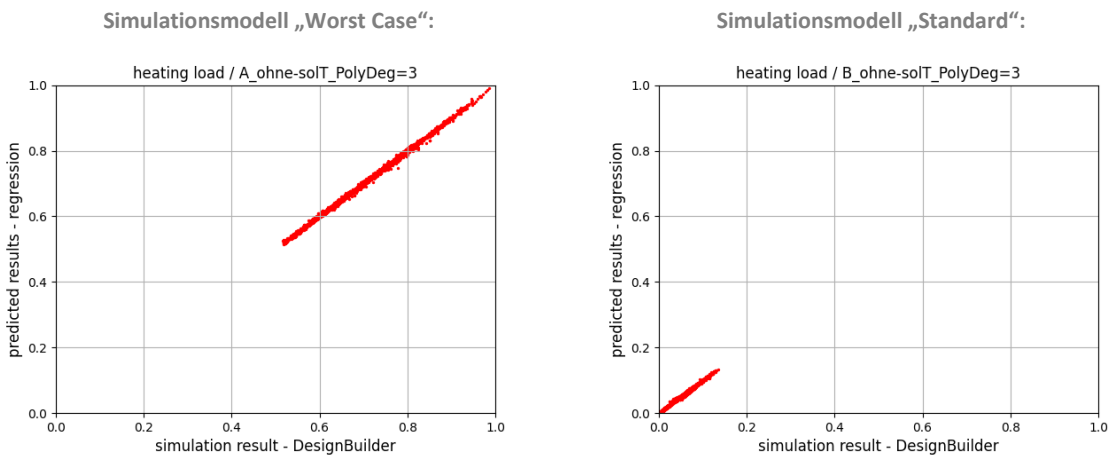


Abbildung 60: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: Heizenergie (ohne Kühlanlage)

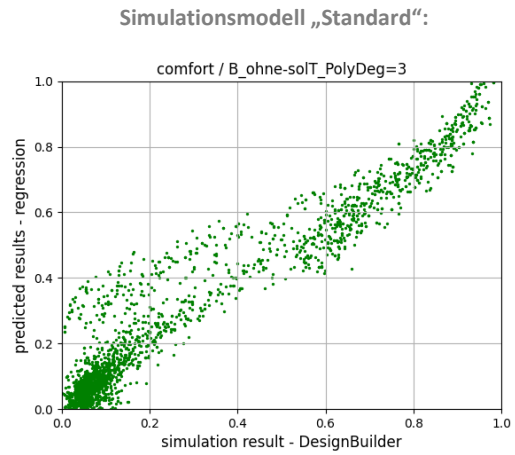
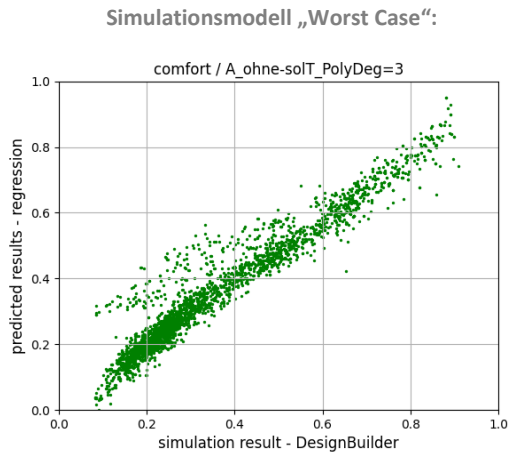


Abbildung 61: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Komfort“ (ohne Kühlanlage)

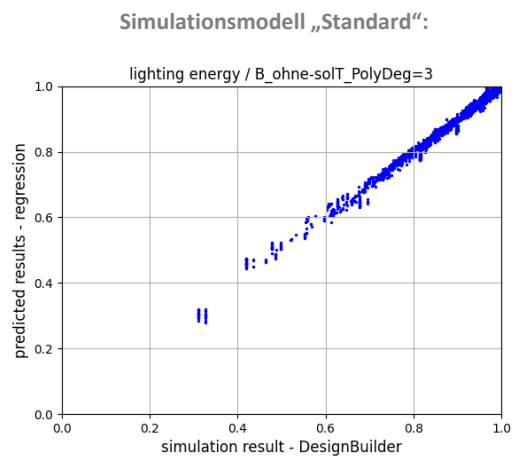
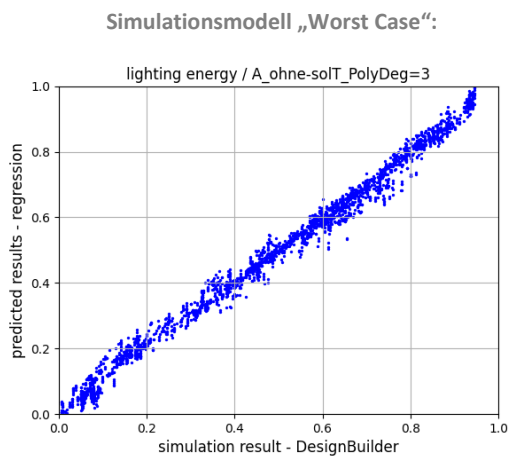


Abbildung 62: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Lichtenergie“ (ohne Kühlanlage)

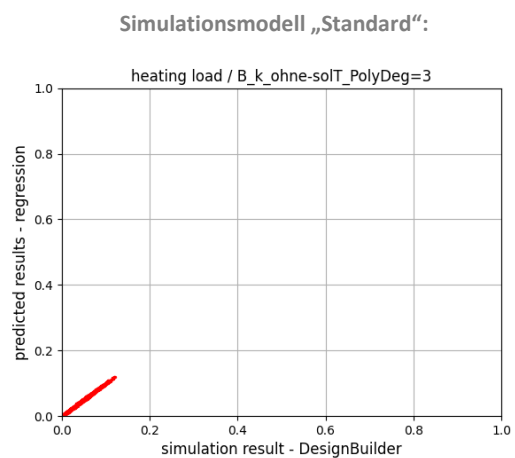
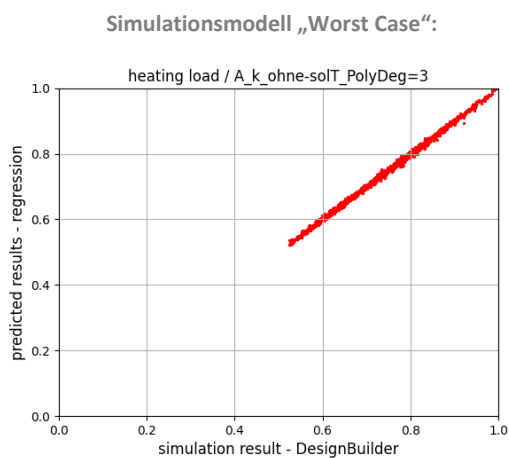


Abbildung 63: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: Heizenergie (mit Kühlanlage)

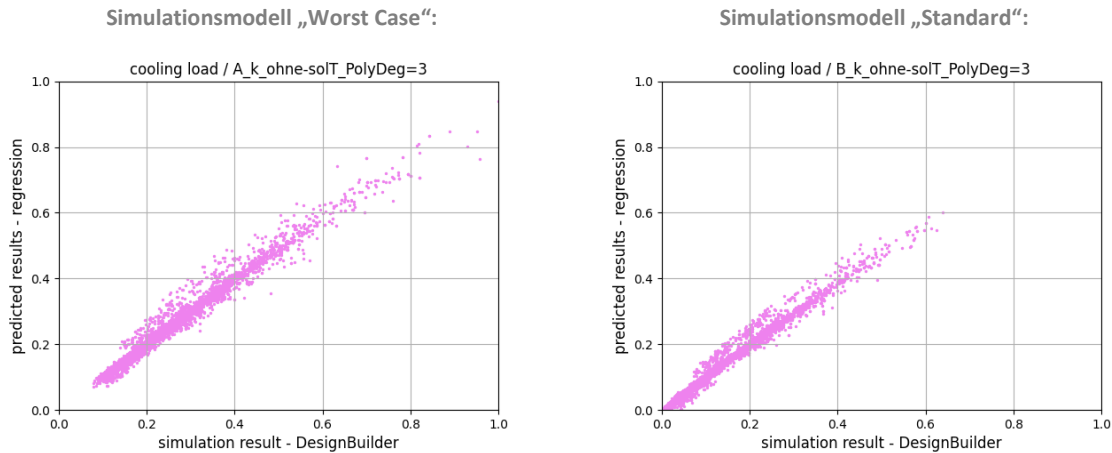


Abbildung 64: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Kühlenergie“ (mit Kühlanlage)

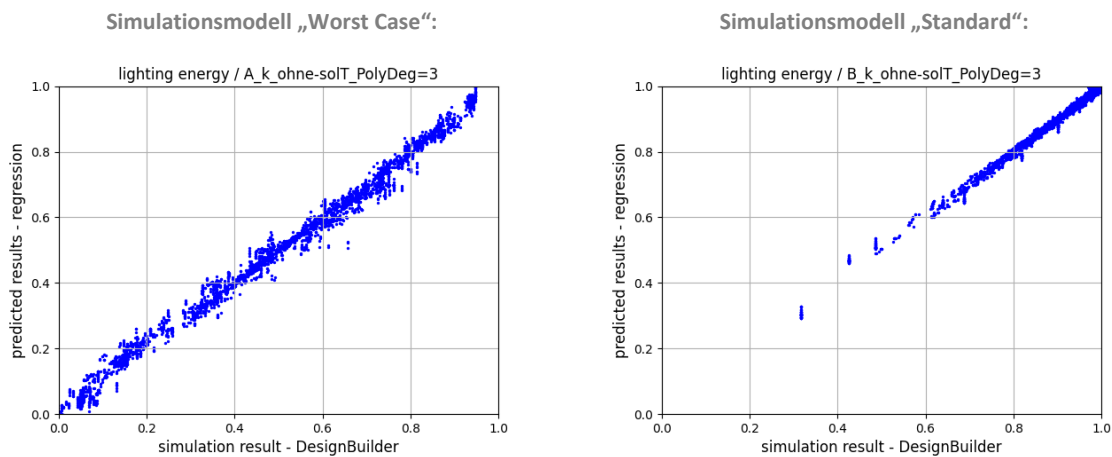


Abbildung 65: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Lichtenergie“ (mit Kühlanlage)

Die Regressionsmodelle zum Heizenergiebedarf weisen neben einem sehr hohen Bestimmtheitsmaß auch einen sehr geringen Standardfehler auf, woraus sich eine sehr gute Abbildung der Simulationsergebnisse durch die Regressionsmodelle ableiten lässt. Qualitativ ist dies auch sehr gut in den zugehörigen Diagrammen in Abbildung 60 und Abbildung 63 ersichtlich.

Auch die Regressionsmodelle zur Lichtenergie weisen recht hohe Bestimmtheitsmaße auf, jedoch ist der Standardfehler etwas höher. Dies lässt sich auch an der etwas größeren Bandbreite der Datenpunkte in Abbildung 62 und Abbildung 65 erkennen.

Die Regressionsmodelle zur Zielgröße „Komfort“ weisen im Vergleich zu den beiden zuvor genannten Zielgrößen sowohl geringere Bestimmtheitsmaße als auch höhere Standardfehler auf. Auch ist in Abbildung 61 zwar ein deutlicher Trend entlang der gedachten Symmetrieachse ersichtlich, allerdings ist dieser von einer deutlich größeren Streuung sowie einer Vielzahl an Ausreißern geprägt.

Für eine Aussage hinsichtlich den sommerlichen Auswirkungen der Parameter ist die Kühlenergie im Vergleich zum „Komfort“ - bei den Simulationsvarianten mit Kühlanlage - deutlich besser geeignet (siehe Abbildung 64). Dies liegt vermutlich in der physikalischen Basis der Zielgröße. Während bei der Kühlenergie die tatsächlichen Auswirkungen der Parameter proportional erfasst werden, werden bei

der Zielgröße „Komfort“ nur die Stunden, in welchen ein Schwellenwert überschritten wird, gezählt – ohne Gewichtung ob dieser nur geringfügig oder deutlich überschritten wird.

Eine Gegenüberstellung der angeführten Ergebnisse zeigt, dass sich die Regressionsmodelle bzw. deren Eignung für die beiden Simulationsmodelle „Worst Case“ und „Standard“ vergleichbar verhalten und somit die in diesem Kapitel beschriebenen getroffenen Aussagen für beide Simulationsmodelle gelten.

Die in Tabelle 53 bis Tabelle 56 in Klammern angeführten Standardabweichungen sind bei allen angeführten Regressionsmodellen, relativ zu den zugehörigen Bestimmtheitsmaßen bzw. den zugehörigen Standardfehlern, sehr niedrig. Dadurch lässt sich ableiten, dass die Randomisierung der Ausgangsdaten keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis des jeweiligen Regressionsmodells hat, was für die Abbildbarkeit der Datenbasis mittels den Regressionsmodellen spricht.

Fazit zur Prognosemöglichkeit auf Basis der erstellten Regressionsmodelle

Die primäre Aufgabenstellung der Hauptstudie dieses Sondierungsprojekts lag in einer ersten simulationsbasierten Ermittlung von „optimalen“ Parameterkombinationen, also jener Varianten, welche nahe oder auf der Pareto-Front liegen (siehe 4.3.4). Aufgrund des dazu eingesetzten Optimierungsalgorithmus beinhalten die resultierenden Daten eine hohe Dichte an Varianten im Bereich der Pareto-Front, während für gewisse Parameter und Parameterkombinationen keine hohe Diversität vorhanden ist. Aufgrund dieser Inhomogenität der Daten ist mit einer Verzerrung der daraus abgeleiteten Regressionsmodelle zu rechnen, weshalb diese nicht ohne weiteres als allgemeingültige Prognosemodelle angewandt werden können.

Allerdings zeigen die in diesem Kapitel betrachteten Ergebnisse, dass sich die gesammelten Daten und Ergebnisse der Simulationsberechnungen mittels den erstellten Regressionsmodelle sehr gut abbilden lassen. Daraus folgt, dass das angewandte Vorgehen, um ein anwendbares Prognosetool auf Basis solcher Regressionsmodelle zu erstellen, grundsätzlich geeignet ist. Mithilfe solch eines Prognosemodells können in weiterer Folge für gegebene Parameter eines Fensters und dessen Beschattung die daraus resultierenden Zielgrößen näherungsweise ermittelt werden und damit Bauherren, ausführenden Firmen, Herstellern und Planern eine einfach – beispielsweise auch per Online-Tool - nutzbare Möglichkeit zur optimalen Produktauslegung dienen.

5.4. Forschungsfragen

Beantwortung der Forschungsfragen aus dem Antrag auf Basis der Erkenntnisse aus den Berechnungen, Simulationen und statistischen Auswertungen.

5.4.1. Optimierung Tageslicht

Welche qualitativen und quantitativen Unterschiede bestehen zwischen starren und nachführbaren Beschattungseinrichtungen hinsichtlich Tageslichteinfall und solarer Einstrahlung?

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Lamellensteuerungen auf Tageslichtversorgung und solare Wärmeeinträge abbilden zu können, wurden die Ergebnisse aus den Optimierungssimulationen solcher Varianten abgeglichen, die abgesehen von der Art der Lamellensteuerung identische Randbedingungen aufweisen (siehe 4.3.3 für nähere Details zur Beschattungssteuerung). Wegen der größeren Glasfläche und des somit erwartbar signifikanteren Einflusses unterschiedlicher Nachführungen wurden hierzu die A-Varianten (Worst Case) gewählt. Aufgrund der Natur des statistischen Optimierungsmodells (siehe 4.3.4) ergibt sich bei einzelnen Optimierungsrechnungen teilweise eine stark divergierende Gesamtzahl von berechneten Varianten bis zur Konvergenz des Modells, wodurch sich auch die unterschiedlichen Größen der übereinstimmenden Varianten in dieser Betrachtung erklären lassen. Die Ergebnisse dieses Abgleichs sind in Abbildung 66 dargestellt.

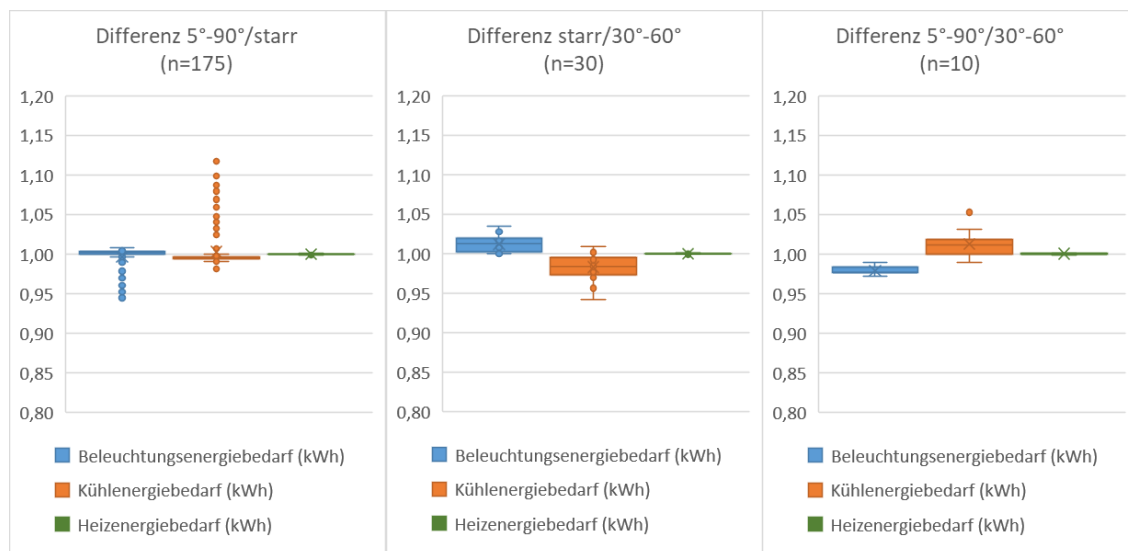


Abbildung 66: Abgleich einander entsprechender Varianten (jeweilige Probenzahl n in Klammern) aus der Optimierungssimulation mit unterschiedlicher Lamellennachführung durch Differenzbildung aus Beleuchtungs-, Kühl- und Heizenergiebedarf in Prozent. Dargestellt ist jeweils Minimum, Mittelwert und Maximum. Links die Differenz aus voll nachgeführten (5°-90°) Lamellensteuerung und starren Lamellen, mittig die Differenz aus starren Lamellen und teilnachgeführten (30°-60°) Lamellen und rechts die Differenz aus vollnachgeführten (5°-90°) und teilnachgeführten (30°-60°) Lamellen.

Es zeigt sich durch den Abgleich, dass die untersuchten Steuerungsvarianten für die Lamellen einen eher geringen Einfluss haben, der sich maximal im Bereich von ca. 5 % Abweichung von der jeweiligen Bezugsgröße bewegt, wobei die Schwankungen beim Kühlenergiebedarf am ausgeprägtesten sind und beim Heizenergiebedarf quasi inexistent.

Hiermit deckend zeigt sich hinsichtlich des jährlichen Temperaturverlaufes in den Innenräumen eine leichte Tendenz dahingehend, dass die stärker nachgeführten Varianten (5°-90° bzw. 30°-60°) über die Sommermonate geringfügig höhere Temperaturen ergeben als die nur über einen kleinen Winkel nachgeführten bzw. starren Lamellen (siehe Abbildung 67). Dies ist durch die in die Horizontale (entspricht 90° im Simulationsmodell) strebende Ausrichtung der Lamellen bei hochstehender Sonne im Sommer begründet, wodurch große Mengen an diffuser Solarstrahlung ungehindert in den Innenraum gelangen.

Die aus dieser Auswertung abgeleiteten Aussagen zum praktisch vernachlässigbaren Einfluss der nachgeführten (5°-90°) Lamellensteuerung im Vergleich zu starren Lamellen deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen der dafür ermittelten und unter 5.3.2 angeführten Gewichtungsfaktoren „Lamellenwinkel 45° / nachgeführt“.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass eine optimierte Steuerung zusätzlicher Steuerparameter bedarf, die gleichzeitig abzufragen sind, wobei eine derartig komplexe Abstimmung den Rahmen der vorliegenden Sondierungsstudie sprengen würde und vielmehr durch ein Folgeprojekt abgedeckt werden sollte.

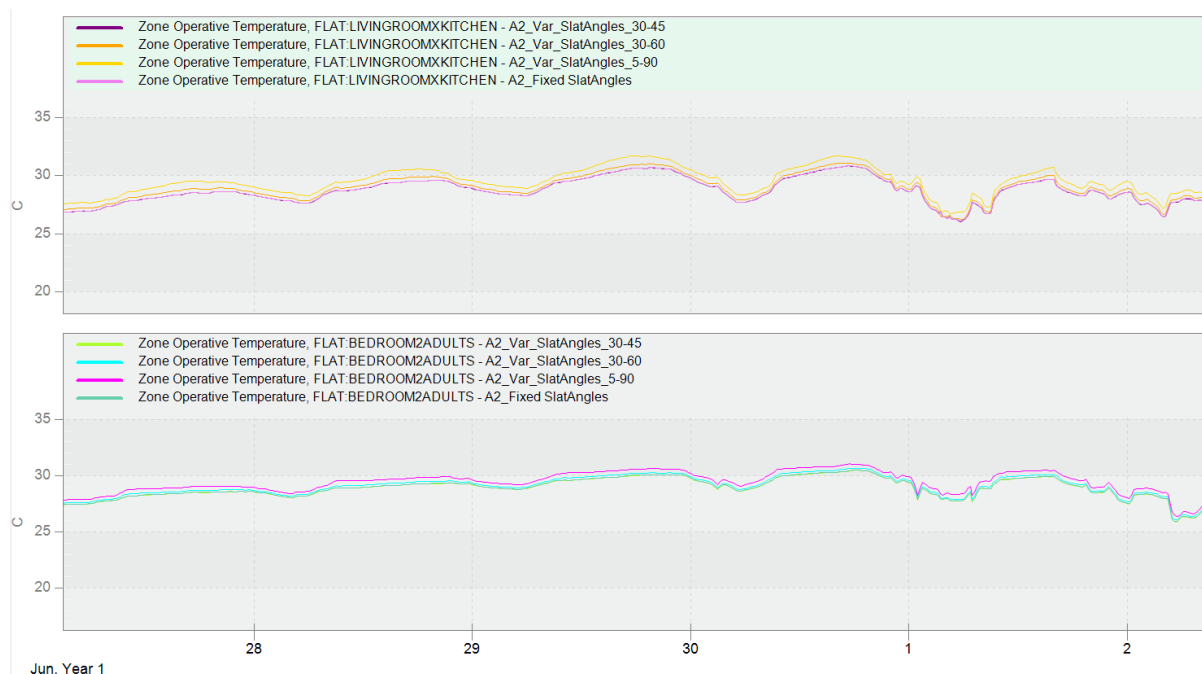


Abbildung 67: Beispielhafter Temperaturverlauf über fünf Sommertage in Abhängigkeit unterschiedlicher Varianten der Lamellennachführung (starr, 30°-45°, 30°-60°, 5°-90°) lässt bei der Mehrheit der Varianten eine leichte Tendenz zu geringfügig höheren Temperaturen und folglich Kühlenergiebedarf durch stärker nachgeführte Lamellen erkennen. Oben Wohnküche Worst Case, Ausrichtung Südwest, unten Schlafzimmer Worst Case, Ausrichtung Nordost.

Wie unterscheiden sich automatische und manuelle Steuerung einer Beschattungseinrichtung hinsichtlich Tageslichteinfall und solarer Einstrahlung?

Zur Beurteilung einer manuellen Steuerung – also einer Bedienung der Beschattungseinrichtung durch den Bewohner – werden die Ergebnisse mit dem Steuerkriterium „24°C Raumlufttemperatur“ herangezogen, da dieses – abgeleitet aus den Erfahrungen durchgeführter Forschungsprojekte – näherungsweise das Nutzerverhalten (ausgelöst durch die empfundene thermische Behaglichkeit im Raum) einer manuellen Steuerung abbildet. Zur Beurteilung einer automatischen Steuerung werden die Ergebnisse des Steuerkriteriums „50 W Einstrahlung“ verwendet. Zur Beurteilung des Tageslichteinfalls wird die Zielgröße Beleuchtungsenergie betrachtet. Dabei kann eine geringe erforderliche Beleuchtungsenergie indirekt als eine gute mittlere Tageslichtversorgung verstanden werden.

Den relevanten Einflussmatrizen (siehe Tabelle 60 und Tabelle 61) kann entnommen werden, dass der Beleuchtungsenergiebedarf mit dem Steuerkriterium „24°C Raumlufttemperatur“ grundsätzlich niedriger ausfällt, als mit dem Steuerkriterium „50 W Einstrahlung“. Dabei hängen jedoch die Einflüsse beider Steuerkriterien sehr stark von den jeweiligen Randbedingungen ab. So ist der Einfluss der Raumlufttemperatur gesteuerten Beschattung beim Simulationsmodell „Worst Case“ aufgrund der deutlich höheren Überhitzungszeit im Sommer signifikant höher als beim Simulationsmodell „Standard“. Bei der Steuerung der Beschattung aufgrund der Einstrahlung hängt deren Einfluss vom verwendeten Schwellenwert ab, welcher bei den Simulationen mit 50 W eher sehr niedrig angesetzt wurde. Die negativen Einflüsse auf die Beleuchtungsenergie reduzieren sich bei einem Schwellenwert von 200 W (siehe Steuerkriterium „200 W Einstrahlung“ beim Simulationsmodell „Worst Case“) enorm und liegen wiederum unter jenen mit dem Steuerkriterium „24°C Raumlufttemperatur“.

Welche Parameter sind – ggf. parallel – zu berücksichtigen, um die Steuerung einer Beschattungseinrichtung hinsichtlich Tageslichteinfall und solarer Einstrahlung zu optimieren?

Die Auswertung sämtlicher Optimierungssimulationen der Hauptstudie (siehe 4.3) mittels multilinearem Regressionsmodell (siehe 4.4) zeigt, dass bezüglich unterschiedlicher Verglasungen der wesentliche Einfluss auf die Parameterinteraktion unterschiedlichster Beschattungs-Steuerungen von der Strahlungsdurchlässigkeit der Verglasung, hier insbesondere dem Lichttransmissionsgrad, ausgeht. Der U-Wert selbst hat maximal einen indirekten Einfluss, u.a. bei Temperatursteuerung, tritt aber im Vergleich in den Hintergrund. Durch weitere Einflussparameter wie z.B. bauliche Verschattung, Orientierung, Randbedingungen, Nutzung oder Beschattungsart wird die gesamte Gemengelage unterschiedlichster Interaktionen derart komplex, dass keine allgemein gültige Aussage zur optimalen Steuerung gemacht werden kann. Es ist daher eine Einzelfallbetrachtung notwendig, die mit Hilfe der in diesem Projekt entwickelten Parametergewichtung mittels Regressionsmodell durchführbar wäre.

Wie kann ein innenliegender Blendschutz optimal mit einer außenliegenden Beschattungseinrichtung zusammenwirken?

Auch wenn es sich bei der eingesetzten Simulationssoftware um ein international anerkanntes, äußerst umfangreiches state-of-the-art tool für die Gebäudesimulation handelt, war es mit den in der Software implementierten Funktionen nicht möglich, eine innenliegende und eine außenliegende Beschattung zu kombinieren. Eine derartige Funktionalität müsste mittels aufwändig eigens programmierter Scripts im Programm umgesetzt werden, wofür im Rahmen der vorliegenden

Sondierungsstudie die personellen Ressourcen nicht aufzubringen waren. Aus diesem Grund muss die Beantwortung dieser Forschungsfrage im Zuge eines längerfristig angelegten Folgeprojektes erfolgen.

Können veränderliche oder schaltbare Verglasungen – ggf. in Kombination mit weiteren Beschattungseinrichtungen – zur Optimierung des Solar- und Tageslichtmanagements beitragen und wie sind dabei gesundheitliche Aspekte aufgrund des Eingriffs in das natürliche Strahlungsspektrum anhand der vorhandenen Literatur zu bewerten?

Die im Rahmen der Hauptstudie durchgeführten Simulationen decken bereits ein breites Spektrum an optischen Eigenschaften (Transmissions-, Reflexions- und Absorptionsvermögen) und unterschiedliche Steuerungsarten ab, sodass hinsichtlich der Untersuchung von Überhitzungsvermeidung bzw. quantitativer Tageslichtversorgung keine neuen oder zusätzliche Erkenntnisse zu erwarten waren. Aus diesem Grund wurde von spezifischen Simulationen solcher Gläser Abstand genommen.

Einen anderen, wichtigen Aspekt bei der Anwendung von schaltbaren Verglasungen stellt die Frage nach der qualitativen Tageslichtversorgung dar, da durch schaltbare Verglasungen ähnlich wie auch bei hoch wirksamen Sonnenschutzverglasungen ein selektiver Eingriff in das Lichtspektrum erfolgt. Diese qualitative Modifikation kann durch das Simulationsmodell nicht erfasst werden, ebenso ist eine Beurteilung etwaiger Auswirkungen auf vegetative Funktionen des Menschen hierdurch nicht möglich.

Eine Literaturrecherche zu dem Thema hat ergeben, dass als wesentlicher Faktor der Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus die Melatoninsuppression angesehen werden kann. Diese ist nicht nur der angebotenen Strahlungsintensität unterworfen, sondern es zeigt sich auch eine spektrale Abhängigkeit. Es sind derzeit keine Studien bekannt, die sich mit etwaigen Störungen dieser von der Hypophyse gesteuerten Vorgänge aufgrund von durch schaltbare Verglasungen manipulierten Tageslichtspektren und mit etwaigen Langzeitfolgen daraus auseinandersetzen. Auf der anderen Seite finden sich Untersuchungen über kürzere Zeiträume, in welchen Probanden positive Empfindungen hinsichtlich Tageslichtangebot und freiem Blickbezug nach außen berichten. Es herrscht daher insbesondere weiterer Forschungsbedarf zu möglichen Langzeitfolgen schaltbarer Verglasungen auf die vegetativen Funktionen des Menschen. [23], [25], [26], [27], [28]

Ist die Windresistenz einer außenliegenden Beschattungseinrichtung für den Schutz vor sommerlicher Überwärmung relevant? Wenn ja, bis zu welchen Windgeschwindigkeiten sollte die Beschattungseinrichtung verwendbar sein?

Die Häufigkeit der Überschreitungen von Windgeschwindigkeiten und einer zeitgleich auftretenden – für die sommerliche Überwärmung relevanten - Globalstrahlung ist natürlich immer witterungsabhängig und somit auch standortbezogen zu betrachten. Beispielhaft wurden Messdaten der BOKU-Met Wetterstation (1190 Wien) [24] für die Kalenderjahre 2019, 2020 und 2021 genauer analysiert. Zur Beurteilung wurde die auftretende Globalstrahlung über Zeiträume (10 min Zeitschritte) akkumuliert, in welchen die gemessene Böenwindgeschwindigkeit (max. Windspitze

innerhalb eines Zeitschritts) Schwellenwerte der Windresistenz überschreitet. In Hinblick auf die Fragestellung zur sommerlichen Überwärmung wurden dazu nur Überschreitungen an Kühltagen (über eine mittlere Tagesaußentemperatur > 18,3°C festgelegt) berücksichtigt. Zur Festlegung der Schwellenwerte der berücksichtigten Windgeschwindigkeiten wurde den in der Tabelle 1 der EN 13659:2015 definierten Windwiderstandsklassen zugehörigen nominalen Winddrücken näherungsweise ermittelte Windgeschwindigkeiten zugeordnet (Klasse 1: 33 km/h; Klasse 2: 39 km/h; Klasse 3: 47 km/h; Klasse 4: 61 km/h; Klasse 5: 76 km/h; Klasse 6: 89 km/h; umgerechnet für eine Dichte der Luft von 1,2 kg/m³ und einem angenommenen Druckbeiwert von 1).

Die in der Abbildung 68 angeführten Ergebnisse (Mittelwerte aus den drei betrachteten Jahren) zeigen, dass mit einer Beschattung der Klasse 1 im Jahresverlauf über 9 % der eintreffenden Globalstrahlung an Kühltagen nicht beschattet werden kann. Dieser Anteil kann durch Verwendung einer Beschattung der Klasse 2 mehr als halbiert werden, während der Anteil bei einer Beschattung der Klasse 3 nur mehr rund 1 % beträgt.

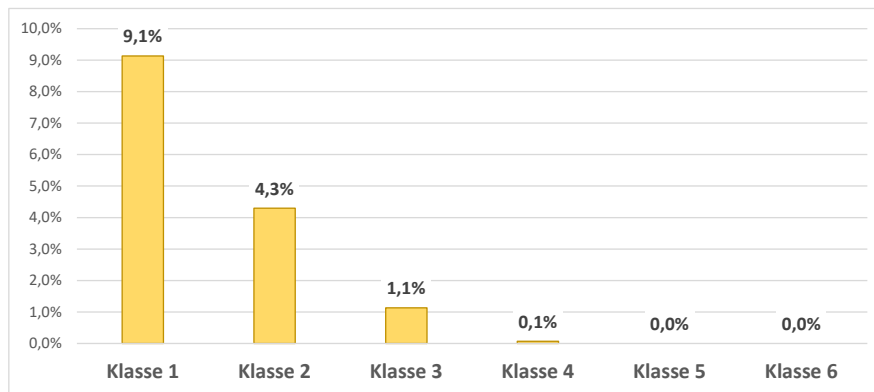


Abbildung 68: Diagramm mit den relativen Anteilen der Globalstrahlung bei Überschreitung der jeweiligen Klasse zugeordneten Windgeschwindigkeit

5.4.2. Optimierung Sommer / Winter / Übergangszeit

Wie können Verglasungen und Sonnenschutz hinsichtlich Tageslichteinfall, sommerlichem und gleichzeitig winterlichen Wärmeschutz optimiert werden?

Im Zuge des Projektes hat sich gezeigt, dass das gewählte Optimierungsverfahren (siehe 4.3.4) eine gut geeignete Methodik darstellt, um optimale Lösungen zu finden. So konnten für die ausgewählten Varianten mit den geeigneten Optimierungs-Zielgrößen gute Ergebnisse erzielt werden, aus denen bereits Aussagen abgeleitet werden können, die für die jeweiligen Vorgaben (z.B. Beschattungs-Steuerung, Lüftungsart, Orientierung, etc.) Gültigkeit haben.

Es hat sich allerdings auch gezeigt, dieser Methodik in Hinblick auf eine zukünftige Anwendbarkeit in der praktischen Bauplanung gewisse Grenzen gesetzt sind:

- aufgrund der hohen Anzahl an Parametern und Kombinationsmöglichkeiten, aber auch frei wählbarer Vorgaben, wie z.B. Beschattungs-Steuerung, wird man in der Regel mit nur einer Optimierungs-Rechnung nicht das Auslangen finden.
- Die Simulation eines Gebäudes selbst gestaltet sich aufgrund der detaillierten und komplexen Modellierung zum einen und der erforderlichen Rechenzeit und umfangreichen Auswertung der anfallenden Datenmenge andererseits als eine zeitaufwändige Angelegenheit, welche sich im konkreten Praxisfall in entsprechenden Kosten niederschlagen würde. Für Standard-Wohnbauprojekte oder gar Einfamilienhäuser dürfte die Methodik daher in aller Regel den Kostenrahmen sprengen.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde daher ein multilineares Regressionsmodell erstellt, welches aus den gesamten Simulationsdaten der Hauptstudie Gewichtungsfaktoren für die einzelnen interagierenden Parameter generiert. Es wird empfohlen, in einem Folgeprojekt durch eine umfangreiche parametrische Simulation, welcher keinerlei Bias einer generationsweisen Optimierung anhaftet, zu ergänzen und zu erweitern. Die so gewonnenen Daten könnten dann in weiterer Folge die Grundlage für ein einfach anzuwendendes Prognosemodell für individuelle Bauvorhaben bilden.

Wie wirken sich Fenstergröße und -Orientierung auf den Sommer- und Winterfall sowie in der Übergangszeit aus? Wie sollte das ganzjährige Optimum aussehen?

Die Ergebnisse aus der Vorstudie (siehe 5.1) zeigen, dass sich die Größe eines Fensters primär auf das betragsmäßige Ausmaß dessen Auswirkungen - bezogen sowohl auf den Heiz- als auch den Kühlenergiebedarf - beschränkt und keinen markanten Einfluss auf die Art der Interaktion mit weiteren Eigenschaften des Fensters oder der Beschattung aufweist (siehe auch Abbildung 14). So wirken sich große Fensterflächen naturgemäß deutlich stärker auf Zielgrößen wie den winterlichen Heizenergiebedarf oder die sommerliche thermische Behaglichkeit aus als kleine. Daher ist es speziell bei großen Fensterflächen essenziell die Eigenschaften des Fensters bzw. der Verglasung sowie dessen spezifische Beschattung akkurat auszuwählen.

Die Ergebnisse zeigen auch die offensichtlichen Auswirkungen der Orientierung auf die Zielgrößen. So lässt sich auch durch die Ergebnisse bestätigen, dass sich eine südliche Orientierung im Winter positiv auf den Heizenergiebedarf auswirkt, während im Sommer die Gefahr einer Überwärmung am

größten ist. Ganzjährig betrachtet, ermöglicht eine südliche Ausrichtung (SO, S, SW) das energetische Optimum – unter der Voraussetzung gut abgestimmter Eigenschaften des Fensters, bzw. dessen Verglasung und der Beschattung. Anzumerken ist, dass in allen Himmelsrichtungen sehr gute und zwischen den Zielgrößen ausgewogene Ergebnisse zu erzielen sind, wenn die Parameter des Fensters sowie der Beschattung entsprechend angepasst ausgewählt werden. Wichtig zu erwähnen ist auch, dass insbesondere für größere Fenster auch mit nördlicher Ausrichtung Beschattungen vorzusehen sind, um eine sommerliche Überwärmung (bzw. einen erhöhten Kühlenergiebedarf) effektiv zu vermeiden.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Ergebnisse der Vorstudie gezeigt haben, dass sich die Orientierung des Fensters quantitativ geringer auswirkt als häufig erwartet wird.

Welches Potential hat der Einsatz einer Beschattungseinrichtung als zusätzliche Dämmschicht im Winterfall bzw. in der Übergangszeit?

Um das Potenzial einer Beschattungseinrichtung als ergänzende Dämmschicht bei kalten Außentemperaturen in der Nachtzeit auszuloten, wurde die A-Variante (Worst Case) mit verschiedenen Verglasungen sowie mit Standard-Textilbeschattung bzw. dämmender Beschattung (Wärmedurchlasswiderstand 1,00 m²K/W) untersucht, wobei aus Gründen der Vergleichbarkeit unabhängig von einer tatsächlichen Marktverfügbarkeit für beide Beschattungsvarianten dieselben optischen Parameter zugrunde gelegt wurden. Diese Varianten wurden in weiterer Folge der jeweiligen Variante mit einer Standard-Textilbeschattung und Temperatursteuerung entsprechend der Hauptstudie gegenübergestellt, um das Einsparungspotenzial für Heizenergie abschätzen zu können. Die Ergebnisse dieser Simulationen sind in Abbildung 69 dargestellt.

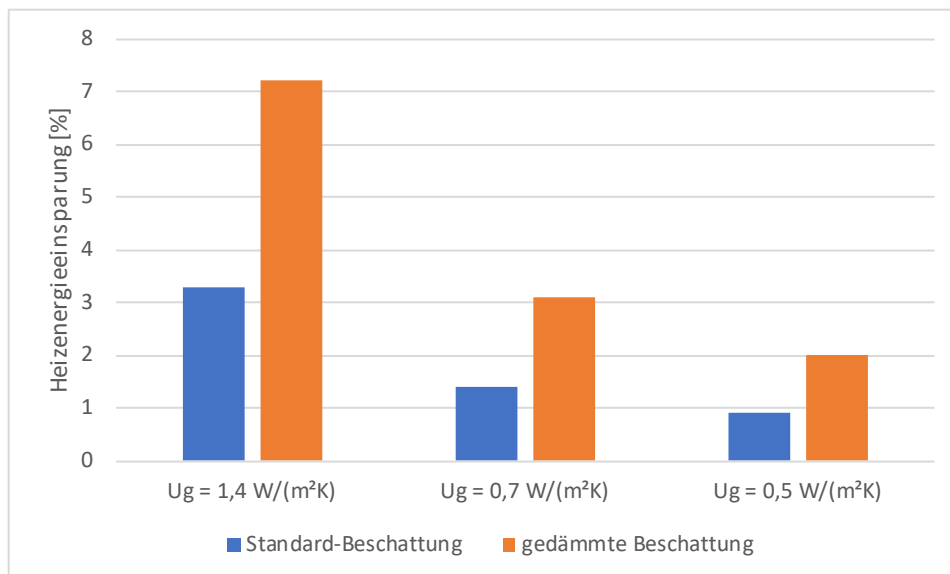


Abbildung 69: Abschätzung der Einsparung von Heizenergie in Abhängigkeit von Verglasungs-U-Wert und Beschattungsvariante bei Nachtbeschattung in der kalten Jahreszeit gegenüber temperaturgesteuerter Standard-Beschattung in Prozent unter Zugrundelegung der Randbedingungen der A-Variante (Worst Case) der Hauptstudie.

Als weiterer wesentlicher positiver Effekt einer solchen nächtlichen Beschattung stellt die Erhöhung der Außenoberflächentemperatur der Verglasung dar, da ein Temperaturabfall unter die

Außenlufttemperatur bei nächtlicher Abstrahlung gerade bei niedrigen Glas-U-Werten zu Kondensat- und Eisblumenbildung auf der äußeren Scheibe führen kann, worin Nutzer häufig einen Mangel sehen. Die konkrete Zeitschritt-Oberflächentemperatur der Außenscheibe lässt sich mit der aktuellen Version des Simulationsprogrammes jedoch nicht ausgeben, weshalb diese Eigenschaft im Rahmen der vorliegenden Studie nicht quantifizierbar ist.

Welchen Einfluss hat ein Insektenschutz bezüglich vermindertem Lichteinfall und Lüftungsquerschnitt? Wie könnten Sonnen- und Insektenschutz optimal kombiniert werden?

Zur Simulation des Einflusses von Insektenschutzgittern auf Lichteinfall und Lüftungsquerschnitt (Querschnittsminderung in Kombination mit Strömungswiderstandskoeffizient) konnten mittels Literaturrecherche und Befragung der Projektpartner keine verwendbaren Daten erhoben werden. Aus diesem Grund konnten zu dieser Forschungsfrage keine Simulationen durchgeführt werden und es besteht der Forschungsbedarf, geeignete Kennwerte typischer Insektenschutzgitter durch entsprechende Laborversuche zu ermitteln.

5.4.3. Energieeinsparung durch innovativen Sonnenschutz bzw. innovative Beschattung

Wie sollten die Parameter eines innovativen „Systems Fenster“ aussehen, um die Zielparameter möglichst gut erfüllen zu können?

Die Simulationen der Hauptuntersuchung haben gezeigt, dass es einige Stellschrauben am „System Fenster“ gibt, die allgemeingültig dabei unterstützen können, die Zielparameter hohe Tageslichtversorgung bei gleichzeitiger Einhaltung eines hohen sommerlichen und winterlichen Wärmeschutzstandards gut zu erfüllen, sodass das „System Fenster“ zum „Coolen Fenster“ wird. Dies sind einerseits ein möglichst niedriger U-Wert und gleichzeitig hoher g-Wert, wie dies beispielsweise bei Vakuumglas gegeben ist, da hierdurch passive solare Gewinne und thermische Verluste in der kalten Jahreszeit und zum Teil in der Übergangszeit reüssiert bzw. vermindert werden können. Eine solche Konstellation stellt bei Vorkehrung eines entsprechend effektiven außenliegenden Sonnenschutz auch kein Problem hinsichtlich sommerlicher Überwärmung dar.

Zusätzlich hat sich gezeigt, dass verschattende bauliche Auskragungen wie etwa Balkonplatten und dergleichen für optimale Lösungen unter 2 m geplant werden sollten, da es bei großer Ausladung zu Problemen bei der Versorgung mit natürlichem Tageslicht kommen kann und ebenso die solaren Erträge durch die unveränderlichen Verschattungen auch dann reduziert werden, wenn dies nicht erwünscht ist. Ebenso führen bauliche Auskragungen in zahlreichen Fällen keineswegs dazu, dass zusätzliche Beschattungsmaßnahmen obsolet würden, weshalb bewegliche Beschattungen zum Zwecke der Reduktion unerwünschter solarer Einträge grundsätzlich vorzuziehen sind.

Des Weiteren sollte der mögliche Öffnungsanteil der Fenster zumindest 50 % der Fensterflächen bei im Wohnbau üblichen Verglasungsanteilen betragen, um einen ausreichenden Luftwechsel zur nächtlichen Abkühlung in der Sommerzeit sicherzustellen.

Zur detaillierten Bestimmung der optimalen Parameter müssen Art der Beschattungssteuerung und allfällig vorgegebene Randbedingungen bekannt sein.

Wie könnte ein Bewertungssystem für solche Systeme aussehen?

Die aus der Auswahl an eingesetzten Parametern resultierenden Eigenschaften eines gemeinsamen Systems aus Fenster und Beschattung weisen gegenläufige Auswirkung auf die betrachteten Zielgrößen - der Heizenergiebedarf, die Tageslichtnutzung, die sommerliche thermische Behaglichkeit bzw. der Kühlenergiebedarf - auf. Im Zuge dieses vorhandenen Zielkonflikts muss daher für eine Bewertung des gesamten Systems zwischen den auftretenden Einflüssen abgewogen werden.

Solch eine Gewichtung kann nur aufgrund projektspezifischer Randbedingungen sowie subjektiver Priorisierung getroffen werden. Mittels einer getroffenen Gewichtung können die Einflüsse des Systems aus Fenster und Beschattung abgewogen und zu einer resultierenden Gesamtbewertung kombiniert werden.

Solch ein Bewertungskonzept könnte bereits in der Planungsphase dazu genutzt werden, für die projektspezifischen Randbedingungen (z.B. Fenstergröße, Lage und Orientierung der Wohneinheit, etc.) und den getroffenen Gewichtungen der Zielgrößen die optimal abgestimmten Parameter und Eigenschaften des Fensters und der Beschattung auszuwählen. Voraussetzung für die erfolgreichste Lösung einer solchen Optimierungsaufgabe ist die Möglichkeit, die Auswirkungen der berücksichtigten Parameter auf die einzelnen Zielgrößen einfach und schnell berechnen zu können. In diesem Projekt wurde gezeigt, dass es möglich wäre, ein entsprechendes Prognosemodell zu erstellen.

Reale aktuelle Systeme werden nur einen Teil der gewünschten Leistungen abbilden können. Wo gibt es daher speziell Innovationsbedarf und wie sieht dieser aus?

Eine große Anzahl der optimalen Ergebnisse, die im Zuge der Hauptuntersuchung ermittelt wurden, weisen den entsprechend Variantenmatrix (siehe Tabelle 1 bis Tabelle 22) niedrigsten U-Wert bei gleichzeitig höchstem g-Wert der Verglasung auf. Es besteht daher eine Innovationsmöglichkeit, hier durch neue Entwicklungen oder Technologien wie beispielsweise Vakuumisolierverglasung eine weitere Spreizung dieser beiden Kennwerte voranzutreiben, um zusätzliches Optimierungspotenzial zu erschließen.

Automatisierte Steuerungen von Sonnenschutzvorrichtungen folgen im Wohnbau, wenn überhaupt vorhanden, in der Regel eher einfachen Steuerparametern wie sie auch im Zuge der Hauptstudie untersucht wurden. Die Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass komplexere, intelligenter Steuerungen mit Berücksichtigung mehrerer Steuerparameter erforderlich sind, um dieses Potenzial voll ausschöpfen zu können. Im Bürobau werden komplexe, auch antizipierende Steuerungen bereits untersucht und teilweise auch umgesetzt, wohingegen vergleichbare, auf den Wohnbau und die dortige Nutzung zugeschnittene Lösungen noch zu realisieren sind.

In diversen baulichen Situationen und so auch bei großen verschattenden Auskragungen ist eine ausreichende Versorgung mit Tageslicht nicht immer gewährleistet, wodurch das Erfordernis für

künstliche Belichtung steigt. Hier besteht ein Bedarf nach möglichst einfachen, steuerbaren Ansätzen zur Lichtlenkung, um diesem negativen Effekt entgegen zu wirken.

Hinsichtlich der Zusatzfunktion der Beschattung als zusätzliche Dämmschicht in der kalten Jahreszeit sind innovative Weiterentwicklungen denkbar. Hier wären beispielsweise Beschichtungen zur Verringerung von Strahlungsverlusten, zusätzliche wirksame Schichten auf der Innenseite unter Berücksichtigung der feuchteschutztechnischen Gesetzmäßigkeiten zu nennen. Ebenso wirkt sich eine gedämmte Außenbeschattung im Sommer tendenziell kontraproduktiv auf die Innenraumtemperaturen aus, weshalb auch über eine Variabilität der thermischen Eigenschaften solcher Beschattungen z.B. mittels modularen, mehrschichtigen Aufbaus nachgedacht werden sollte.

Wie verhalten sich Räume unter Berücksichtigung ausgewählter Systeme?

Abhängig von der Nutzung unterschiedlicher Räume werden von den Bewohnern unterschiedliche Ansprüche an das Innenraumklima zu bestimmten Zeiten gestellt. So wird beispielsweise an Schlafräume die Einhaltung gewünschter Grenztemperaturen vor allem nachts von Bedeutung sein, während bei Nutzungen wie Wohnen oder Home-Office die tagsüber herrschenden Bedingungen von Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang hat sich im Rahmen der Hauptstudie z.B. gezeigt, dass die üblicherweise generell als vorteilhaft zur Vermeidung von sommerlicher Überwärmung erachtete Querlüftung in manchen Fällen auch eine negative Auswirkung haben kann, wenn durch den Luftaustausch mit wärmeren Räumen mehr Wärme in einen kühleren Schlafräum verfrachtet wird, als dies bei geschlossenen Türen der Fall gewesen wäre. Idealerweise wird daher empfohlen, die Aktivierung der Querlüftung an der tiefsten Ziel-Grenztemperatur einer Wohneinheit zu orientieren, was in der Praxis allerdings eine automatisierte Steuerung voraussetzen würde.

Generell hat sich gezeigt, dass es nicht ausreicht, die Steuerung von Beschattung und Lüftung, sowie Heizung und Kühlung über eine gesamte Wohneinheit einheitlich zu steuern, sondern es sind individuelle, der jeweiligen Nutzung angepasste Randparameter vorzugeben, wie dies im Rahmen der Simulationen der Hauptstudie auch geschehen ist.

Erarbeitung der Basis für künftigen Forschungsbedarf

Die Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Sondierungsstudie haben insbesondere für die folgenden Themen zukünftigen Forschungsbedarf identifiziert:

- Erweiterung und Validierung des Regressionsmodells: Das Modell sollte um vielfältigere Wohnungstypen und Gebäudegeometrien, Orientierungen, Bauweisen, Fenstergrößen, Steuerungen, Nutzungen, Belegungen etc. erweitert werden. Hierüber sollte eine parametrische Simulationsstudie zur Generierung der erforderlichen Daten erfolgen, da sich durch die Vorgangsweise der Optimierungssimulation die berechneten Varianten mit jeder Simulationsgeneration mehr und mehr in Nähe der Paretofront häufen, wodurch es zu einem gewissen Bias bei der Auswertung durch die multilineare Regression kommt. Die Ergebnisse einer solchen Studie wären in weiterer Folge geeignet, die Grundlage für ein einfach anzuwendendes Online-Tool zur Optimierung „cooler Fenster“ individueller Bauvorhaben zu bilden.

- Einen häufig auftretenden Praxisfall stellt die Teilbeschattung von Fenstern dar, wenn gleichzeitig zu Beschattung oder Blendschutz der Sichtbezug nach außen gewahrt werden soll. Solche Fälle sollten ebenfalls in die oben angeführte Erweiterung des Regressionsmodells einfließen.
- Die Auswirkung von Insektenschutzgittern auf Lüftung und Belichtung kann aufgrund der nicht vorhandenen Datenbasis derzeit simulationstechnisch nicht untersucht werden, weshalb entsprechende Daten labortechnisch ermittelt werden sollten.
- Es gibt hinsichtlich tatsächlichem Nutzerverhalten in unseren Breiten nur sehr grobe Daten und Anhaltspunkte (z.B. in Normen). Eine umfassende Erhebung solcher Daten für den D-A-CH-Raum wäre wünschenswert, um treffendere Eingangsdaten für Simulationsstudien zur Verfügung zu haben.
- Analyse des Einflusses des Nutzerverhaltens – Nutzungsanleitungen ableiten
- Hinsichtlich komplexer, smarter Steuerungen für Beschattungseinrichtungen unter den Bedingungen unterschiedlicher Wohnraumnutzung existieren bislang zu wenig Kenntnisse. Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass relativ einfache automatisierte Steuerungen, wie sie auch in der Praxis bislang üblich sind, nicht unter allen Bedingungen optimale Lösungen liefert.
- Innenliegender Sonnenschutz gedämmt

6 Schlussfolgerungen

Aus der detaillierten Analyse der Ergebnisse von über zwölftausend durchgeführten Gebäudesimulationen konnten grundlegende Erkenntnisse zu den Auswirkungen der Eigenschaften des Fensters sowie dessen Beschattung auf die zugehörige Wohneinheit abgeleitet werden. Diese Erkenntnisse werden als Empfehlungen für Hersteller, Planer und Konsumenten in einem Merkblatt (siehe auch 9.4) vereinfacht zusammengefasst.

Die Auswertung der Simulationsergebnisse zeigte auch, dass allgemeingültige Aussagen zu isolierten Eigenschaften, aufgrund der komplexen Interaktion der vielfältigen Einflussparameter, nur begrenzt gültig sein können. Die multiplen Zusammenhänge der unterschiedlichsten Einflussparameterkombinationen sind in den Einflussmatrizen, welche mittels einer multilinearen Regression erstellt wurden und eine Quantifizierung der jeweiligen Parameter ermöglichen, ersichtlich. Eine zielsichere, an die projektspezifischen Randbedingungen angepasste Auswahl an aufeinander abgestimmten Produktparametern von Fenstern und Beschattungen ist daher für optimale Ergebnisse erforderlich. Im Zuge dieses Sondierungsprojekt konnte die Grundlage gelegt werden, um für diese Aufgabe ein einfach zu bedienendes Prognosetool erstellen zu können. Mit dessen Hilfe soll es möglich werden das Produkt „Cooles Fenster“ für optimale Ergebnisse in Hinblick auf eine Reduktion des Heizenergie- und des Kühlenergiebedarfs, unter zeitgleicher Berücksichtigung einer guten Tageslichtverfügbarkeit individuell zu optimieren.

Cooler Fenster für cooler Räume – 10 goldene Regeln

- **Außenliegende Beschattung viel besser als innenliegende, innenliegende Beschattung besser als keine Beschattung**
Eine außenliegende Beschattung ist jedenfalls vorzuziehen und bringt die geringsten Innenraumtemperaturerhöhungen im Sommer und die beste Verbesserung des Kühlenergiebedarfs. Energieeinsparung von ca. € 250,- bis € 450,- pro Jahr (Basis 07/2022) für eine durchschnittliche Wohnung bei richtiger Anwendung. Somit ist eine Amortisation des Sonnenschutzes in ca. 5 – 7 Jahren möglich.
Wenn eine Außenbeschattung nicht möglich ist (z.B. aufgrund von Denkmalschutz) ist eine helle Beschattung innenliegend aber besser als gar keine Beschattung, insbesondere wenn eine hohe Einstrahlung vorliegt (z.B. große Fenster mit hohem g-Wert und keiner baulichen Verschattung).
- **Beschattung in allen Himmelsrichtungen, auch im Norden, notwendig**
Einstrahlungsenergie im Norden ist beispielsweise in den Monaten Mai bis September noch ca. 60% vom Süden! Damit ist die Gefahr einer sommerlichen Überhitzung bei fehlender Beschattung auch in nordseitigen Räumen gegeben.
(Berechnung in Anlehnung an [29] mit Sonnenposition für Wien aus [30] und Wetterdaten nach 4.3.1, Annahme Reflexionskoeffizient Gelände 0,20)

- **U_g-Wert ≤ 1,0 W/m²K**
Der U_g-Wert der Außenfenster sollte jedenfalls 1,0 W/m²K nicht überschreiten und so niedrig wie möglich sein.
- **Solarer Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ≥ 0,5**
Ein g-Wert der Verglasung unter 0,5 sollte aufgrund der Verschlechterung der Tageslichtausnutzung und des Verlustes an solaren Gewinnen in der Heizperiode vermieden werden. Sonnenschutzverglasungen werden somit nicht empfohlen.
- **Öffenbarer Anteil Fenster mind. 50 %**
Um eine ausreichende (Nacht-) Lüftung gewährleisten zu können, sollten bei der Planung mindestens 50 % der Fensterflächen offenbar vorgesehen werden. Die Querlüftung ist die effizienteste Art der Fensterlüftung, weil dadurch die Raumluft am schnellsten ausgetauscht wird.
- **Lüftungsverhalten an Außentemperatur anpassen**
Für eine kühlwirksame Lüftung sollten die Fenster nur geöffnet werden, wenn die Außentemperatur die Innentemperatur unterschreitet und auch geöffnet bleiben, wenn die Innentemperatur sich an die Außentemperatur angeglichen hat (Abfuhr von in den umgrenzenden Bauteilen gespeicherter Wärme).
Beschattungssysteme, die den Lüftungsquerschnitt einschränken, sollten nach Möglichkeit nicht abgesenkt werden, wenn die Bedingung zum Lüften gegeben und diese auch erwünscht ist, um einen uneingeschränkten Luftwechsel zu ermöglichen.
- **Nachtlüftung vorsehen**
Jedenfalls ist eine Nachtlüftung vorzusehen, um die über den Tag eingebrachte Wärme wieder abführen zu können. Im Idealfall werden die Fenster erst geöffnet, wenn die Außentemperatur unter der Innentemperatur liegt (= kühlungswirksamer Luftwechsel). Tagsüber sollten die Fenster an heißen Tagen jedenfalls geschlossen bleiben.
Wenn durch äußere Umstände eine Nachtlüftung nicht möglich ist (z.B. hoher Umgebungslärmpegel), sollte durch eine Lüftungsanlage in der Nacht ein möglichst hoher kühlungswirksamer Luftwechsel bereitgestellt werden.
- **Auch bei Auskragung zusätzliche Beschattung notwendig**
Auch bei Auskragungen (z.B. Balkon, Vordach) ist eine zusätzliche außenliegende bewegliche Beschattung notwendig, selbst bei größeren Bautiefen (2 m) wird der Kühlbedarf durch die Auskragung nur wenig gesenkt.
Bei der Planung sollte berücksichtigt werden, dass bereits Auskragungen ab 1 m Tiefe eine merkbare negative Auswirkung auf das Tageslichtangebot haben.
- **Fenstergröße**
Großzügige Verglasungen wirken sich positiv auf die Tageslichtverfügbarkeit aus, setzen aber für die Sommertauglichkeit eine gut geplante und richtig genutzte außenliegende Beschattung voraus.

- **Windbeständigkeit der Beschattung – Standort beachten**

Die Sonnenschutzfunktion wird durch die windabhängige Beschattungssteuerung nicht wesentlich eingeschränkt, wenn ein für den Standort und die Einbausituation geeignetes Produkt ausgewählt wird. Für den Standort Wien bedeutet das beispielsweise, dass bis zu 96 % der Zeit eine Beschattung der Windwiderstandsklasse 2 (ca. 40 km/h) verwendet werden kann.

Hinweis:

Farbe der Beschattung

Die Auswahl der Farbe der Beschattung sollte nicht nur aus optischen Gründen getroffen werden, weil sie auch die Tageslichtversorgung und den Blendschutz beeinflusst.

Dunkle Beschattung = weniger Licht im Raum, besserer Blendschutz

Helle Beschattung = mehr Licht im Raum, weniger Blendschutz

Steuerung des coolen Fensters

Eine effiziente Steuerung (manuell oder automatisiert) kann die positive Auswirkung einer Beschattungseinrichtung hinsichtlich Energieverbrauch, Überhitzung und Tageslichtversorgung deutlich erhöhen.

7 Ausblick und Empfehlungen

Die im Rahmen der vorliegenden Sondierung durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Methode der multilinenen Regression eine äußerst geeignete Vorgangsweise darstellt, um die auftretenden zahlreichen miteinander interagierenden Einfluss-Parameter in den Griff zu bekommen und statistisch so darzustellen, dass ihr jeweiliger, situationsabhängiger Einfluss realitätsnah und prognostizierend abgebildet werden kann. Aus diesem Grund wurde die Weiterentwicklung bzw. Erweiterung und Validierung des erarbeiteten Regressionsmodells hin zu einem Prognosemodell als die maßgeblichste Empfehlung für weiterführende Forschungsarbeit identifiziert. Nach Vorliegen eines solchen Modells sollte dieses in Form eines Online-Tools nutzbar gemacht werden, um Planenden anwenderfreundlich und niederschwellig die Möglichkeit zu geben, nutzerbezogen und energetisch optimale Lösungen des Beschattungs- und Tageslichtmanagements für ihre konkreten Bauprojekte zur Verfügung zu stellen.

In weiterer Folge sehen wir ein hohes Potenzial, die Möglichkeiten eines solchen Tools anhand von Demonstrationsvorhaben zu erproben und hierdurch in einem realen Setting zu validieren. Hierbei sollten nach Möglichkeit kleinere Mehrfamilienwohnhäuser einer optimierten Planung mit anschließendem Monitoring unterzogen werden, dafür jedoch Projekte in unterschiedlichen baulichen Situationen und Standorten, um die Demonstrationsuntersuchung auf eine möglichst breite Basis zu stellen und somit eine große Akzeptanz des Prognosetools bei Planenden und Bauherr:innen zu generieren.

In diesem Zusammenhang besteht die Herausforderung, Bauträger mit geeigneten Bauvorhaben für eine entsprechende Kooperation zu gewinnen, da zu diesem Zeitpunkt noch keine nennenswerte Erfahrung, geschweige denn Langzeiterfahrung, mit dem Prognosetool in realen Bausituationen vorliegen wird. Da das im Rahmen der Sondierungsstudie entwickelte Regressionsmodell gänzlich, und das im Zuge einer weiterführenden Forschung zu erarbeitende Prognosetool zumindest hauptsächlich rein auf Simulation beruht, basieren diverse Randbedingungen wie etwa Klima oder Nutzerverhalten naturgemäß auf verallgemeinerten Annahmen oder statistisch vereinfachten Kennwerten. Hierin liegt auch ein gewisses Risiko, dem sich Bauträger und Projektkonsortium stellen müssen, nämlich, dass sich im Zuge des anschließenden Monitorings herausstellt, dass stellenweise nachträgliche, nicht projektierte Anpassungen erforderlich werden könnten. Auf der anderen Seite würden allerdings durch ein solches Demonstrationsprojekt gegebenenfalls genau solche Erkenntnisse wertvolle Daten zu einer weiteren Optimierung des Prognosetools liefern.

Darüber hinaus wurden weitere Betätigungsfelder für Forschungen identifiziert, die direkt an den Inhalten und Fragestellungen der vorliegenden Sondierungsstudie anknüpfen und bei der Umsetzung des oben beschriebenen Prognosetools bzw. von Demonstrationsprojekten wertvollen Input leisten, aber gleichzeitig auch darüber hinaus neue Entwicklungen auf Seiten der Industrie anstoßen können. In diesem Zusammenhang wären einerseits detaillierte Untersuchungen zum Nutzerverhalten im Wohnbau sowie Kennwertermittlungen von Insektenschutzgittern zu nennen, um hierzu eine solidere Datenbasis für die Simulation zu erhalten, andererseits Optimierungen und Weiterentwicklungen in den Bereichen smarte Beschattungssteuerung, Verglasung und gedämmte Sonnenschutzeinrichtungen.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prognose des Anstieges der Maximaltemperatur im heißesten Monat bis zum Jahr 2050 [5]	12
Abbildung 2: Darstellung des gewählten Standorts auf der Wiener Hitzekarte (Quelle: https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/hitzekarte.html abgerufen am 02.08.2022).....	42
Abbildung 3: monatliche Globalstrahlungssumme für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5	43
Abbildung 4: monatliche durchschnittliche Temperatur für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5	43
Abbildung 5: monatlicher Niederschlag für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5	43
Abbildung 6: monatliche durchschnittliche Sonnenscheindauer für den Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse, Prognosewerte für das Jahr 2050 mit RCP8.5	44
Abbildung 7: Grundriss der Referenzwohnung	45
Abbildung 8: Übersicht bauliche Verschattung und Ausrichtung Worst Case	46
Abbildung 9: Übersicht bauliche Verschattung und Ausrichtung Standardausführung	46
Abbildung 10: Temperaturabhängiger Öffnungsanteil der Fenster (Quelle Diagramm: DesignBuilder Software Ltd)	48
Abbildung 11: Festlegung der Bezeichnungen von Lamellenbehangsbestandteilen in DesignBuilder (Quelle Zeichnung: DesignBuilder Software Ltd)	51
Abbildung 12: Beispiel für eine Optimierungssimulation in DesignBuilder (Quelle: Quelle Zeichnung: DesignBuilder Software Ltd	52
Abbildung 13: Auslegungswerte für operative Innentemperaturen von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage gem. ÖNORM EN 15251 [19] Bild A.1.....	53
Abbildung 14: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Fenstergröße	61
Abbildung 15: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Orientierung	62
Abbildung 16: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Bauweise	63
Abbildung 17: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Verglasungsparameter	64
Abbildung 18: Diagramm mit den Ergebnissen der Vorstudie, mit der grafischer Darstellung der Auswirkung der Beschattung mittels Lamellen.....	65
Abbildung 19: Grafische Zusammenfassung aller in der Vorstudie berechneten Simulationsvarianten, inkl. der variierten Parameter, sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf	67

Abbildung 20: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]	68
Abbildung 21: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]	69
Abbildung 22: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh].....	69
Abbildung 23: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante A – Worst Case mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh].....	70
Abbildung 24: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh].....	70
Abbildung 25: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung ohne Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Mittelwert operative Temperatur in den Aufenthaltsräumen [°C]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh].....	71
Abbildung 26: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Tageswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh].....	71
Abbildung 27: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Monatswerte) der Simulation für die Basisvariante B – Standardausführung mit Kühlung. Diagramm A: Summe Beleuchtungsenergiebedarf in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm B: Summe abgeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh]; Diagramm C: Summe zugeführte Wärmeenergie in den Aufenthaltsräumen [kWh].....	72

Abbildung 28: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskrugung (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	74
Abbildung 29: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskrugung (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	75
Abbildung 30: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskrugung im Medianbereich, Kombinationen ohne Beschattung hervorgehoben.....	76
Abbildung 31: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Auskrugung im Medianbereich, Kombinationen ohne Beschattung hervorgehoben.....	77
Abbildung 32: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	78
Abbildung 33: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	79
Abbildung 34: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition, Kombinationen mit reinem Mindestluftwechsel hervorgehoben	80
Abbildung 35: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition, Kombinationen mit reinem Mindestluftwechsel hervorgehoben	81
Abbildung 36: Ergebnisse Optimierung Komfort – Beleuchtungsenergiebedarf für die Varianten A6 (links) und B6 (rechts); Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition	82
Abbildung 37: Ergebnisse Optimierung Kühlung – Beleuchtungsenergiebedarf für die Varianten A6_k (links) und B6_k (rechts); Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition	82
Abbildung 38: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des g-Wertes der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	83
Abbildung 39: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des g-Wertes der Fenster (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	84
Abbildung 40: Ergebnisse Optimierung Kühlung – Beleuchtungsenergiebedarf inkl. der Kombinationen, die die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht erfüllen; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des g-Werts	85

Abbildung 41: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des offenen Anteils der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte).....	86
Abbildung 42: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des offenen Anteils der Fenster (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte).....	87
Abbildung 43: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Querlüftung (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	89
Abbildung 44: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Querlüftung (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	90
Abbildung 45: Ausschnitt aus den Detailergebnissen (Stundenwerte) einer Simulation für eine Basisvariante mit und ohne Querlüftung, mit außenliegender Beschattung für den 23./24. Juli. Diagramm A: Mittlere Lufttemperatur innen im Wohnzimmer und Kinderzimmer, Trockenkugeltemperatur außen [°C]; Diagramm B: Öffnungsfaktor Außenfenster im Wohnzimmer und Kinderzimmer [-]; Diagramm C: Wärmeübertragung durch Luftaustausch interzonal / mit Außenluft [W]; Diagramm D: Summe der aus der Zone abgeführten Wärme [W]	91
Abbildung 46: Jahressummen der aus den Aufenthaltsräumen abgeführten Wärme für eine Basisvariante mit und ohne Querlüftung, mit außenliegender Beschattung für den 23./24. Juli.....	92
Abbildung 47: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Steuerungsart der Beschattung (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte).....	93
Abbildung 48: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Steuerungsart der Beschattung (Anm.: der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte).....	94
Abbildung 49: Ergebnisse Optimierung Komfort - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des U-Werts der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	96
Abbildung 50: Ergebnisse Optimierung Kühlung - Beleuchtungsenergiebedarf; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des U-Werts der Fenster (Anm.: Der Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte)	97
Abbildung 51: Ergebnisse Optimierung Kühlung – Beleuchtungsenergiebedarf inkl. der Kombinationen, die die Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht erfüllen; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit des U_g -Werts.....	98
Abbildung 52: Jährlicher Kühlenergiebedarf für die jeweils niedrigste Parameter-Kombination einer Variante, die eine Entsprechung ohne Beschattung hat.....	100
Abbildung 53: Strompreise Österreich nach Bundesland, Stand Juli 2022 (Quelle: https://www.e-control.at/konsumenten/strom/strompreis/was-kostet-eine-kwh abgerufen am 07.09.2022).....	100
Abbildung 54: Einsparungspotential für den Kühlenergiebedarf.....	101

Abbildung 55: Abschätzung der Einsparung von Heizenergie in Abhängigkeit von Verglasungs-U-Wert und Beschattungsvariante bei Nachtbeschattung in der kalten Jahreszeit gegenüber temperaturgesteuerter Standard-Beschattung in Prozent unter Zugrundelegung der Randbedingungen der A-Variante (Worst Case) der Hauptstudie.....	101
Abbildung 56: Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsoberfläche der Verglasung mit $U_g = 0,5$ $W/(m^2K)$ über zwei exemplarische Tage im Jänner: Gedämmte Beschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (rot), Standardbeschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (gelb), und Standardbeschattung ohne nächtliche Aktivierung in der Heizperiode (Referenz, grün). Blau dargestellt ist der Zustand der außenliegenden Beschattungen mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (1: aktiviert, 0: deaktiviert).....	103
Abbildung 57: Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsoberfläche der Verglasung mit $U_g = 0,7$ $W/(m^2K)$ über zwei exemplarische Tage im Jänner: Gedämmte Beschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (rot), Standardbeschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (gelb), und Standardbeschattung ohne nächtliche Aktivierung in der Heizperiode (Referenz, grün). Blau dargestellt ist der Zustand der außenliegenden Beschattungen mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (1: aktiviert, 0: deaktiviert).....	103
Abbildung 58: Temperaturverlauf an der inneren Verglasungsoberfläche der Verglasung mit $U_g = 1,4$ $W/(m^2K)$ über zwei exemplarische Tage im Jänner: Gedämmte Beschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (rot), Standardbeschattung mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (gelb), und Standardbeschattung ohne nächtliche Aktivierung in der Heizperiode (Referenz, grün). Blau dargestellt ist der Zustand der außenliegenden Beschattungen mit nächtlicher Aktivierung in der Heizperiode (1: aktiviert, 0: deaktiviert).....	104
Abbildung 59: Bestimmtheitsmaße und Standardfehler in Abhängigkeit des Polynomgrades der Basisfunktion	126
Abbildung 60: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: Heizenergie (ohne Kühlanlage).....	126
Abbildung 61: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Komfort“ (ohne Kühlanlage).....	127
Abbildung 62: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Lichtenergie“ (ohne Kühlanlage).....	127
Abbildung 63: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: Heizenergie (mit Kühlanlage).....	127
Abbildung 64: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Kühlenergie“ (mit Kühlanlage).....	128
Abbildung 65: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Prognose: „Lichtenergie“ (mit Kühlanlage).....	128
Abbildung 66: Abgleich einander entsprechender Varianten (jeweilige Probenzahl n in Klammern) aus der Optimierungssimulation mit unterschiedlicher Lamellennachführung durch Differenzbildung aus Beleuchtungs-, Kühl- und Heizenergiebedarf in Prozent. Dargestellt ist jeweils Minimum, Mittelwert und Maximum. Links die Differenz aus voll nachgeführten (5° - 90°) Lamellensteuerung und starren	

Lamellen, mittig die Differenz aus starren Lamellen und teilnachgeführten (30°-60°) Lamellen und rechts die Differenz aus vollnachgeführten (5°-90°) und teilnachgeführten (30°-60°) Lamellen.	130
Abbildung 67: Beispielhafter Temperaturverlauf über fünf Sommertage in Abhängigkeit unterschiedlicher Varianten der Lamellennachführung (starr, 30°-45°, 30°-60°, 5°-90°) lässt bei der Mehrheit der Varianten eine leichte Tendenz zu geringfügig höheren Temperaturen und folglich Kühlenergiebedarf durch stärker nachgeführte Lamellen erkennen. Oben Wohnküche Worst Case, Ausrichtung Südwest, unten Schlafzimmer Worst Case, Ausrichtung Nordost.	131
Abbildung 68: Diagramm mit den relativen Anteilen der Globalstrahlung bei Überschreitung der jeweiligen Klasse zugeordneten Windgeschwindigkeit	134
Abbildung 69: Abschätzung der Einsparung von Heizenergie in Abhängigkeit von Verglasungs-U-Wert und Beschattungsvariante bei Nachtbeschattung in der kalten Jahreszeit gegenüber temperaturgesteuerter Standard-Beschattung in Prozent unter Zugrundelegung der Randbedingungen der A-Variante (Worst Case) der Hauptstudie.	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variantenmatrix (1/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool).....	17
Tabelle 2: Variantenmatrix (2/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	18
Tabelle 3: Variantenmatrix (3/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	19
Tabelle 4: Variantenmatrix (4/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	20
Tabelle 5: Variantenmatrix (5/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	21
Tabelle 6: Variantenmatrix (6/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	22
Tabelle 7: Variantenmatrix (7/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	23
Tabelle 8: Variantenmatrix (8/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	24

Tabelle 22: Variantenmatrix (22/22) – Allgemeine Parameter und Eigenschaften der Fenster, allgemeine Beschattungsparameter und Eigenschaften des Lamellenbehangs Lamellenbehangs (grün, x...Festgelegter Parameter in Basisvariante; gelb, o... Variabler Parameter in Optimierungstool)	38
Tabelle 23: Zusammenfassung der Eigenschaften des Simulationsmodells der Vorstudie	39
Tabelle 24: Zusammenfassung der in der Vorstudie variierten Parameter	40
Tabelle 25: Übersicht der thermisch relevanten opaken Bauteilaufbauten (Worst Case)	45
Tabelle 26: Übersicht der thermisch relevanten opaken Bauteilaufbauten (Standardausführung)	45
Tabelle 27: Belegungsplan in Anlehnung an EN 16798-1 [18] für Wochentage	47
Tabelle 28: Zeitplan möglicher Fensteröffnungszeiten wochentags während der Heizperiode; die Fenster werden gem. Abbildung 10 geöffnet, wenn die Innentemperatur 2 K über der Solltemperatur liegt.....	49
Tabelle 29: Zeitplan möglicher Fensteröffnungszeiten wochentags während der Kühlperiode; die Fenster werden gem. Abbildung 10 geöffnet, wenn die Innentemperatur 2 K über der Solltemperatur liegt.....	50
Tabelle 30: Zeitplan für die Benutzung künstlicher Beleuchtung in Wohnräumen gem. EN 16798-1 [18]; im Homeoffice wird der gleiche Zeitplan eingehalten wie für die Belegung.....	54
Tabelle 31: Zuordnung der normierten Größen der Variablen	57
Tabelle 32: Kurzbeschreibungen der Varianten	73
Tabelle 33: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß.....	74
Tabelle 34: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 29	75
Tabelle 35: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 32	77
Tabelle 36: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 33	78
Tabelle 37: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 38	83
Tabelle 38: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 39	84
Tabelle 39: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 41	86
Tabelle 40: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 42	87
Tabelle 41: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 43	89
Tabelle 42: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 44	90
Tabelle 43: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 47	93

Tabelle 44: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 48	94
Tabelle 45: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 49	95
Tabelle 46: Anzahl untersuchter Parameter-Varianten, statistische Kennzahlen und Aufschlüsselung nach Zielparameter zu Optimierungssimulation gemäß Abbildung 50	96
Tabelle 47: Vergleich der Parameter-Kombination mit dem niedrigsten Kühlenergiebedarf mit der entsprechenden Kombination mit Innenbeschattung und ohne Beschattung für Variante A1_k	98
Tabelle 48: Kurzbeschreibungen der Varianten	99
Tabelle 49: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße Heizenergie.....	105
Tabelle 50: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße „Komfort“	105
Tabelle 51: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße Kühlenergie	105
Tabelle 52: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit quadratischer Polynomfunktion und reduzierter Parameteranzahl als Basis (für Einflussmatrizen verwendete Modelle); Zielgröße Lichtenergie	106
Tabelle 53: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße Heizenergie	106
Tabelle 54: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße „Komfort“	106
Tabelle 55: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße Kühlenergie	107
Tabelle 56: Zusammenfassung der Parameter zur Beurteilung der Regressionsmodelle mit kubischer Polynomfunktion als Basis (für potenzielles Prognosemodell verwendete Regressionsmodelle, siehe 5.3.3); Zielgröße Lichtenergie.....	107
Tabelle 57: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	109
Tabelle 58: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	110
Tabelle 59: Erläuterung zu den Gewichtungsfaktoren der in Tabelle 57 und der Tabelle 58 angeführten Einflussmatrizen zum Heizenergiebedarf der Simulationsvarianten ohne Kühlanlage .	111

Tabelle 60: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	115
Tabelle 61: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	116
Tabelle 62: Erläuterung zu den Gewichtungsfaktoren der in Tabelle 60 und der Tabelle 61 angeführten Einflussmatrizen zum Beleuchtungsenergiebedarf der Simulationsvarianten ohne Kühlanlage.....	117
Tabelle 63: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: „Kühlenergie“.....	120
Tabelle 64: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: „Kühlenergie“.....	121
Tabelle 65: Erläuterungen zu den Gewichtungsfaktoren der in Tabelle 63 und Tabelle 64 angeführten Einflussmatrizen zur Kühlenergie der Simulationsvarianten mit Kühlanlage.....	122
Tabelle 66: Anzahl der unabhängigen Variablen in Abhängigkeit des Grades der Polynomfunktion.	125
Tabelle 67: Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert wurden.....	158
Tabelle 68: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“.....	162
Tabelle 69: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“.....	163
Tabelle 70: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	164
Tabelle 71: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	165
Tabelle 72: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	166
Tabelle 73: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	167
Tabelle 74: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	168
Tabelle 75: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“.....	169
Tabelle 76: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	170
Tabelle 77: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	171
Tabelle 78: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“.....	172
Tabelle 79: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	173

Tabelle 80: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	174
Tabelle 81: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: „Kühlenergie“	175
Tabelle 82: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	176
Tabelle 83: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie.....	177
Tabelle 84: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: „Kühlenergie“	178
Tabelle 85: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie.....	179

Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] APCC (2018): Österreichischer Special Report – Gesundheit, Demographie und Klimawandel (ASR18). Final Report. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich. 2018.
- [2] Bhattacharjee, S.: The Urban Heat Vulnerability Map of Vienna, <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/hitzekarte.pdf> [Zugriff am: 26.02.2021].
- [3] Christiane Brandenburg, Doris Damyanovic, Florian Reinwald, Brigitte Alex, Birgit Gantner, Christina Czachs: Urban Heat Islands – Strategieplan Wien. Magistratsabteilung 22, Wien. 2015.
- [4] Climate-fit.city (seit 2017), <https://climate-fit.city/about-climate-fit/> [Zugriff am: 04.02.2021].
- [5] Wien wird so heiß wie Skopje, <https://orf.at/stories/3129860/> [Zugriff am: 08.02.2021].
- [6] Salamanca, F.; Georgescu, M.; Mahalov, A. *et al.*: Anthropogenic heating of the urban environment due to air conditioning. *In: Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119 (2014), Heft 10. S. 5949-5965.
- [7] Sachar, S.; Campbell, I.; Kalanki, A.: Solving the Global Cooling Challenge – How to Counter the Climate Threat from Room Air Conditioners. Rocky Mountain Institute. 2018.
- [8] International Energy Agency (IEA): The Future of Cooling – Opportunities for energy-efficient air conditioning, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling> [Zugriff am: 05.10.2022].
- [9] Wolffhardt, R.: Klima-/Fensterwandel – Fenstermodifikationen zur EGalisierung der Einflüsse des Klimawandels auf das Raumklima. Endbericht, Wien, Österreich. 2020.
- [10] Ferk, H.; Rüdiger, D.; *et. al.*: Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel Einfluss der Bauweise und weiterer Faktoren. *In: Zuschnitt* (2016), Juni 2016. S. 1-24.
- [11] Kheybari, A.G.; Hoffmann, S.: Exploring the potential of dynamic façade systems – An exterior shading system versus a switchable window. *In: Bauphysik* 42 (2020), Heft 6. S. 277-288.
- [12] DesignBuilder Optimisation, https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/#Optimisation.htm?TocPath=Outputs%2520and%2520Calculations%257CSimulation%257COptimisation%257C_____0 [Zugriff am: 04.08.2022].
- [13] Hellström, B.; Kvist, H.; Hakansson, H. *et al.*: Description of ParaSol v3.0 and comparison with measurements. *In: Todorovic, B. (Hrsg.): Energy and Buildings, Volume 39, Issue 3* (2007). Elsevier. S. 279-283.

- [14] Wall, M.; Bülow-Hübe, H.: Solar Protection in Buildings – Part 2: 2000-2002. Department of Construction and Architecture, Lund University, Lund, Sweden. 2003.
- [15] Wall, M.; Bülow-Hübe, H.: Solar Protection in Buildings. Department of Construction and Architecture, Lund University, Lund, Sweden. 2001.
- [16] Remund, J.; Grossenbacher, U.: Urban Climate – Impact on Energy Consumption and Thermal Comfort of Buildings. In: Häberle, A. (Hrsg.): Proceedings of EuroSun 2018. International Solar Energy Society, Rapperswil, CH. 2018. S. 1-10.
- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. – Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
- [18] EN 16798-1: Energetische Bewertung von Gebäuden — Lüftung von Gebäuden Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik — Modul M1-6. Ausgabe November 2019. Austrian Standards International.
- [19] EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Ausgabe September 2007. Austrian Standards Institute.
- [20] EN 17037: Tageslicht in Gebäuden. Ausgabe Februar 2019. Austrian Standards International.
- [21] Zenodo: Pandas Version 1.4.1 [Software]. 2022, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134> [Zugriff am: 29.09.2022].
- [22] Pedregosa, F.; Varoquaux, G.; Gramfort, A. *et al.*: Scikit-learn – Machine learning in Python. *In: Journal of Machine Learning Research* 12 (2011), Oct. S. 2825-2830.
- [23] Kaase, H.: Tageslicht in Gebäuden. In: Fouad, N.A. (ed.): Bauphysik-Kalender 2017 – Schwerpunkt - Gebäudehülle und Fassaden. John Wiley and Sons Inc, Place of publication not identified. 2017, pp. 431-460.
- [24] Wetterstation der BOKU Wien, <https://meteo.boku.ac.at/wetter/mon-archiv/2022/202208/202208.html> [Zugriff am: 08/2022].
- [25] Hartl, A.J.; Grafetstätter, C.: Schule, Licht und Gesundheit – Der Einfluss von Licht und Tageslichtlenkung zur physiologischen und psychologischen Stressminderung sowie zur kognitiven Leistungssteigerung bei Schulkindern. Dezember 2016.
- [26] Woo, M.; MacNaughton, P.; Lee, J. *et al.*: Access to Daylight and Views Improves Physical and Emotional Wellbeing of Office Workers – A Crossover Study. *In: Frontiers in Sustainable Cities* 3 (2021). S. 805.
- [27] Nagare, R.; Woo, M.; MacNaughton, P. *et al.*: Access to Daylight at Home Improves Circadian Alignment, Sleep, and Mental Health in Healthy Adults – A Crossover Study. *In: International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 18 (2021), Iss. 19.
- [28] Thapan, K.; Arendt, J.; Skene, D.J.: An action spectrum for melatonin suppression – Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *In: The Journal of physiology*, Vol. 535 (2001), Pt 1, pp. 261-267.
- [29] B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung). Ausgabe Juni 2020. Austrian Standards International.

- [30] Blanco-Muriel, M.; Alarcón-Padilla, D.C.; López-Moratalla, T. *et al.*: The sun position code from the Plataforma Solar de Almería (PSA) – Computing the solar vector. In: : Solar Energy, Volume 70, Issue 5 (2001). Elsevier. S. 431-441.

Abkürzungsverzeichnis

Cooles Fenster Das Fenster und seine Zusatzkomponenten, wie z.B. Sonnenschutz oder Blendschutz, als ganzheitliches Haustechnik-Element im Wohnbau, das zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen hat.

9 Anhang

9.1. Data Management Plan (DMP)

1: Datenerstellung und Dokumentation

Im gegenständlichen Projekt wurden die in Tabelle 67 dargestellten Daten generiert.

Tabelle 67: Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert wurden

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
Klima	Klimadatensatz für Standort 1040 Wien, Kettenbrückengasse (RCP 8.5, 2050)	*.epw-Datei	Stundenwerte (ein Jahr) zur Verwendung in EnergyPlus™ oder DesignBuilder	HFA	Öffentlich https://data.cca.ac.at/
Vorstudie	Heizenergiebedarf, Kühlenergiebedarf	*.csv-Datei	Stundenwerte (ein Jahr)	TU Graz	Nicht öffentlich
Hauptstudie	Heizenergiebedarf, Kühlenergiebedarf, Beleuchtungsenergiebedarf, Anzahl unkomfortabler Stunden	*.csv-Datei	Stundenwerte (ein Jahr)	HFA	Nicht öffentlich
Regression	Gewichtungsfaktoren für Einflussparameter	Numerisch	Normierte Koeffizienten (0-1)	TU Graz	Nicht öffentlich

Die Daten ID[Klima] gemäß Tabelle 67 wurden durch die kommerzielle Software „Meteonorm“ unter Zugrundelegung der konkreten Standortkoordinaten generiert.

Die Daten ID[Vorstudie] gemäß Tabelle 67 wurden durch die kommerzielle Software „ParaSol v6.7“ unter Zugrundelegung der Klimadaten ID[Klima] generiert.

Die Daten ID[Hauptstudie] gemäß Tabelle 67 wurden durch die kommerzielle Gebäudesimulations-Software „DesignBuilder“, welche ihrerseits im Hintergrund u.a. die Gebäudesimulations-Software „EnergyPlus™“ nutzt, unter Zugrundelegung der Klimadaten ID[Klima] generiert.

Die Daten ID[Regression] stellen die numerischen Lösungen von Regressionen dar, welche aus den Daten ID[Hauptstudie] softwarebasiert, mit Hilfe der Softwarebibliothek „Scikit-learn“, ermittelt wurden.

Die Dokumentation sämtlicher generierter Daten erfolgt im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes.

Die generierten Daten stellen keinen Datensatz im Sinne einer Datenbank o.ä. dar, sondern setzen sich aus zahlreichen einzelnen Ergebnisdateien zusammen, weshalb eine Beschreibung von Metadaten nicht sinnvoll ist.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Nicht zutreffend.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Die Daten werden auf dem Server der Holzforschung Austria gespeichert. Eine Sicherung des Servers erfolgt drei Mal täglich auf Festplatten und zusätzlich einmal wöchentlich eine Bandsicherung.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Der Klimadatensatz ID[Klima] gemäß Tabelle 67 ist unter dem Link <https://data.ccca.ac.at/> öffentlich abrufbar. Es ist nicht vorgesehen, die einzelnen Datensätze der Datengruppen ID[Vorstudie], ID[Hauptstudie] und ID[Regression] öffentlich zugänglich zu machen, da es sich hierbei um selektive Rohdaten handelt, die in Ihrer derzeitigen Form für Außenstehende nicht nutzbar sind. Gegenwärtig haben lediglich die an der Projektbearbeitung beteiligten Personen Zugriff auf die generierten Daten, eine indirekte Veröffentlichung von erweiterten Daten über das in Punkt 7 skizzierte Online-Prognosetool wird im Rahmen eines Folgeprojektes angestrebt.

9.2. Klimadaten

UHI_1040 Wien_Kettenbrückengasse

18

Standortname

48.196

Geogr. Breite [°N]

16.36

Geogr. Länge [°E]

178

Höhe [m ü. M.]

III, 3

Klimazone

Standard

Strahlungsmodell

Standard

Temperaturmodell

Perez

Modell für geneigte Flächen

2050

Periode Temperatur

2050

Periode Globalstrahlung

Benutzerdefiniert

Horizont

Zusätzliche Informationen

Unsicherheit der Jahreswerte: Gh = 4%, Bn = 9%, Ta = 0,3 °C

Trend für Gh / Jahrzehnt: 3,0%

Variabilität von Gh / Jahr: 5,5%

Interpolationsorte für Strahlung: Wien-Hohe Warte (1991-2013, 6 km), Grossenzersdorf (15 km), Bratislava (55 km), Sopron (80 km), Kucharovice (79 km) (Anteil Satellitendaten: 0%)

Interpolationsorte für Temperatur: Wien/City (Auto) (1 km), Wien-Hohe Warte (6 km), Wien/Schwechat (18 km), Langenlebarn/Tulln (22 km), Gumpoldskirchen (19 km), Eisenstadt (40 km)

P90- und P10-Wert der Globalstrahlung, bezogen auf den Durchschnitt: 92,5%, 107,6%

Zukunftsszenario: Climate-fit.city RCP 8.5

Monat	H_Ghhor	H_Bnhor	H_Dhhor	Lg	Ld	N	Ta	Td
	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[lux]	[lux]	[octas]	[°C]	[°C]
Januar	28	40	18	4074	2891	6	3.4	-0.2
Februar	49	50	31	7829	5375	6	6.0	1.1
März	90	84	50	12995	8048	5	9.2	2.9
April	137	127	66	20470	11163	4	14.3	6.8
Mai	178	152	83	25768	13976	4	19.4	11.9
Juni	187	156	87	28514	15433	4	23.9	15.8
Juli	191	179	77	28288	13502	3	25.6	17.5
August	167	158	73	24750	13313	3	25.8	18.0
September	112	136	44	17157	7978	4	20.3	14.1
Oktober	66	76	35	9873	6032	5	14.8	9.9
November	31	40	19	4765	3275	6	9.4	5.6
Dezember	21	27	15	3147	2441	7	4.8	1.1
Jahr	1255	1223	596	15635	8619	5	14.7	8.7

Monat	RH	p	DD	FF
	[%]	[hPa]	[deg]	[m/s]
Januar	77	992	250	3.5
Februar	70	992	250	3.6
März	65	992	249	3.5
April	61	993	276	3.2
Mai	62	993	276	3.4
Juni	61	993	276	3.2
Juli	61	994	276	3.2
August	62	993	276	2.9
September	67	993	273	3.0
Oktober	72	993	247	2.9
November	77	992	250	3.2
Dezember	77	992	250	3.3
Jahr	68	993	262	3.2

Ghor: Strahlungss. der Globalstr. horiz. mit hoh. Horizont
 Bhor: Strahlungss. der Direktnormalstr. mit hoh. Horizont
 Dhor: Strahlungss. der Diffusstr. horiz. mit hoh. Horizont
 N: Bewölkungsgrad
 Lg: Globale Beleuchtungsstärke
 Ta: Lufttemperatur
 RH: Relative Luftfeuchtigkeit
 Td: Taupunkttemperatur
 DD: Windrichtung
 FF: Windgeschwindigkeit
 p: Luftdruck

9.3. Einflussmatrizen

Tabelle 68: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,515	-0,796	x	0,101	0,048	x	-0,051	x	0,045	x	0,094	x	x	x	x	x	x	x
Größe der Lüftungsöffnung	-0,796	0,590	0,053	-0,151	-0,357	0,064	0,136	x	-0,105	0,105	-0,204	-0,044	0,130	0,081	0,034	0,160	-0,018	0,074
Ug-Wert der Verglasung	x	0,053	x	-0,080	0,058	x	x	x	x	0,044	x	x	x	x	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	0,101	-0,151	-0,080	0,142	0,123	-0,060	-0,128	x	0,151	-0,054	0,045	-0,186	-0,027	-0,085	x	-0,110	x	x
T-Wert der Verglasung	0,048	-0,357	0,058	0,123	0,086	-0,158	-0,097	x	0,064	-0,066	0,076	0,076	x	0,027	x	-0,150	x	-0,114
Lamellen vorhanden	x	0,064	x	-0,060	-0,158	-	-	-	x	x	-	x	x	x	x	0,049	x	x
Textiler Behang vorhanden	-0,051	0,136	x	-0,128	-0,097	-	-	-	x	x	-	x	x	x	x	0,062	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	0,045	-0,105	x	0,151	0,064	x	x	x	-	-0,100	-0,131	0,076	x	x	x	-0,074	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	0,105	0,044	-0,054	-0,066	x	x	x	-0,100	x	-0,137	x	x	x	x	0,029	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,094	-0,204	x	0,045	0,076	-	-	-	-0,131	-0,137	0,141	0,071	-0,085	x	x	x	-0,058	-0,025
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	-0,044	x	-0,186	0,076	x	x	x	0,076	x	0,071	-	-	-	-	0,076	x	0,036
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	x	0,130	x	-0,027	x	x	x	x	x	x	-0,085	-	-	-	-	0,059	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	x	0,081	x	-0,085	0,027	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	0,039	x	x
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	0,034	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrragung als Verschattung	x	0,160	x	-0,110	-0,150	0,049	0,062	x	-0,074	0,029	x	0,076	0,059	0,039	x	x	-	x
Auskrragung als Verschattung vorhanden	x	-0,018	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,058	x	x	x	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	0,074	x	x	-0,114	x	x	x	x	x	-0,025	0,036	x	x	x	x	x	-

Tabelle 69: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,527	-1,376	x	0,174	0,222	-0,099	-0,142	x	0,170	x	0,101	x	-0,093	-	-0,094	x	x	-0,116
Größe der Lüftungsöffnung	-1,376	0,927	0,108	-0,107	-0,600	0,132	0,227	0,106	-0,159	0,078	-0,252	x	0,201	-	0,105	0,199	x	0,087
Ug-Wert der Verglasung	x	0,108	-0,098	x	x	x	0,049	x	-0,064	x	x	x	x	-	x	0,047	x	0,057
g-Wert der Verglasung	0,174	-0,107	x	x	0,118	x	-0,168	x	0,094	-0,149	0,141	-0,121	x	-	x	-0,071	x	x
T-Wert der Verglasung	0,222	-0,600	x	0,118	0,226	-0,038	x	x	0,125	x	0,153	x	-0,120	-	x	-0,222	x	x
Lamellen vorhanden	-0,099	0,132	x	x	-0,038	-	-	-	x	x	-	x	-0,055	-	x	x	x	x
Textiler Behang vorhanden	-0,142	0,227	0,049	-0,168	x	-	-	-	x	x	-	x	-0,038	-	x	x	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	0,106	x	x	x	-	-	-	x	x	-	-0,084	x	-	-	-0,057	x	x
innenliegende Beschattung	0,170	-0,159	-0,064	0,094	0,125	x	x	x	-	-0,098	-0,203	0,022	x	-	x	-0,086	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	0,078	x	-0,149	x	x	x	x	-0,098	x	0,033	x	x	-	x	0,163	-0,054	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,101	-0,252	x	0,141	0,153	-	-	-	-0,203	0,033	0,076	0,034	x	-	x	x	-0,064	-0,043
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	-0,121	x	x	x	-0,084	0,022	x	0,034	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,093	0,201	x	x	-0,120	-0,055	-0,038	x	x	x	x	-	-	-	-	0,021	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,094	0,105	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-0,058	x	x
Länge der Auskrugung als Verschattung	x	0,199	0,047	-0,071	-0,222	x	x	-0,057	-0,086	0,163	x	x	0,021	-	-0,058	-0,028	-	x
Auskrugung als Verschattung vorhanden	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,054	-0,064	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	-0,116	0,087	0,057	x	x	x	x	x	x	x	-0,043	x	x	-	x	x	x	-

Tabelle 70: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,707	x	0,259	-0,083	-0,115	0,033	0,017	x	-0,019	-0,009	-0,019	x	0,007	0,020	x	x	x	0,036
Größe der Lüftungsöffnung	x	x	x	x	0,013	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ug-Wert der Verglasung	0,259	x	0,023	-0,052	0,011	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0,010	x	x
g-Wert der Verglasung	-0,083	x	-0,052	x	-0,050	0,017	0,039	x	x	0,019	-0,028	x	0,073	0,032	-0,013	0,036	0,004	x
T-Wert der Verglasung	-0,115	0,013	0,011	-0,050	-0,113	x	x	x	-0,046	x	-0,038	-0,043	0,047	0,031	-0,028	0,052	-0,010	x
Lamellen vorhanden	0,033	x	x	0,017	x	-	-	-	x	-0,013	-	x	x	x	x	x	x	x
Textiler Behang vorhanden	0,017	x	x	0,039	x	-	-	-	-0,003	x	-	x	0,037	x	x	-0,004	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-0,007	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	-0,019	x	x	x	-0,046	x	-0,003	x	-	0,025	0,057	0,022	-0,045	-0,019	0,023	0,009	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,009	x	x	0,019	x	-0,013	x	-0,007	0,025	x	x	x	x	x	-0,009	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,019	x	x	-0,028	-0,038	-	-	-	0,057	x	-0,017	0,044	-0,085	-0,016	0,038	0,020	x	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	x	-0,043	x	x	x	0,022	x	0,044	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,007	x	x	0,073	0,047	x	0,037	x	-0,045	x	-0,085	-	-	-	-	-0,019	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	0,020	x	x	0,032	0,031	x	x	-	-0,019	x	-0,016	-	-	-	-	-0,027	x	x
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	x	-0,013	-0,028	x	x	-	0,023	-0,009	0,038	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrragung als Verschattung	x	x	0,010	0,036	0,052	x	-0,004	x	0,009	x	0,020	x	-0,019	-0,027	x	x	-	x
Auskrragung als Verschattung vorhanden	x	x	x	0,004	-0,010	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	0,036	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-

Tabelle 71: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,696	0,011	0,244	-0,083	-0,104	0,020	0,013	0,005	-0,019	-0,008	-0,018	0,004	0,011	0,016	0,002	0,010	0,001	0,040
Größe der Lüftungsöffnung	0,011	0,001	-0,003	0,014	-0,005	-0,001	0,001	-0,004	0,002	-0,004	-0,006	0,003	-0,003	-0,001	0,002	-0,004	0,001	0,002
Ug-Wert der Verglasung	0,244	-0,003	0,018	-0,049	0,017	0,003	0,013	0,005	0,004	0,002	-0,008	0,002	0,005	0,007	0,002	0,002	0,004	-0,004
g-Wert der Verglasung	-0,083	0,014	-0,049	-0,012	-0,057	0,014	0,042	-0,003	-0,008	0,036	-0,017	-0,008	0,060	0,027	-0,024	0,048	0,016	-0,009
T-Wert der Verglasung	-0,104	-0,005	0,017	-0,057	-0,107	0,006	0,001	-0,001	-0,034	0,005	-0,031	-0,034	0,042	0,019	-0,020	0,017	-0,014	-0,008
Lamellen vorhanden	0,020	-0,001	0,003	0,014	0,006	-	-	-	-0,005	-0,011	-	0,008	-0,003	0,008	0,006	-0,007	-0,001	0,004
Textiler Behang vorhanden	0,013	0,001	0,013	0,042	0,001	-	-	-	-0,013	0,003	-	-0,004	0,014	0,008	-0,005	-0,016	0,002	0,002
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	0,005	-0,004	0,005	-0,003	-0,001	-	-	-	-0,003	-0,016	-	0,006	-0,002	-	-	-0,006	0,005	0,002
innenliegende Beschattung	-0,019	0,002	0,004	-0,008	-0,034	-0,005	-0,013	-0,003	-	0,027	0,065	0,023	-0,047	-0,019	0,023	0,013	-0,004	-0,003
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,008	-0,004	0,002	0,036	0,005	-0,011	0,003	-0,016	0,027	-0,004	-0,023	-0,014	0,022	0,002	-0,019	-0,010	0,004	0,002
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,018	-0,006	-0,008	-0,017	-0,031	-	-	-	0,065	-0,023	-0,009	0,036	-0,056	-0,030	0,033	0,019	0,000	-0,003
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,004	0,003	0,002	-0,008	-0,034	0,008	-0,004	0,006	0,023	-0,014	0,036	-	-	-	-	0,007	-0,003	-0,002
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,011	-0,003	0,005	0,060	0,042	-0,003	0,014	-0,002	-0,047	0,022	-0,056	-	-	-	-	-0,013	0,002	0,003
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	0,016	-0,001	0,007	0,027	0,019	0,008	0,008	-	-0,019	0,002	-0,030	-	-	-	-	-0,024	0,002	0,005
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,002	0,002	0,002	-0,024	-0,020	0,006	-0,005	-	0,023	-0,019	0,033	-	-	-	-	0,007	0,000	0,000
Länge der Auskrragung als Verschattung	0,010	-0,004	0,002	0,048	0,017	-0,007	-0,016	-0,006	0,013	-0,010	0,019	0,007	-0,013	-0,024	0,007	0,015	-	0,009
Auskrragung als Verschattung vorhanden	0,001	0,001	0,004	0,016	-0,014	-0,001	0,002	0,005	-0,004	0,004	0,000	-0,003	0,002	0,002	0,000	-	-	0,000
Querlüftungsmöglichkeit	0,040	0,002	-0,004	-0,009	-0,008	0,004	0,002	0,002	-0,003	0,002	-0,003	-0,002	0,003	0,005	0,000	0,009	0,000	-

Tabelle 72: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,575	x	x	-0,171	-0,435	0,202	0,223	x	x	x	-0,106	0,117	0,246	x	x	0,230	x	x
Größe der Lüftungsöffnung	x	x	x	x	-0,044	x	x	x	x	x	0,071	-0,079	x	x	x	0,035	x	x
Ug-Wert der Verglasung	x	x	x	x	-0,010	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	-0,171	x	x	0,327	x	0,065	0,173	x	x	-0,089	-0,278	0,123	x	x	0,050	0,153	-0,166	x
T-Wert der Verglasung	-0,435	-0,044	-0,010	x	-0,342	0,096	x	x	x	0,010	-0,412	x	0,209	-0,074	x	0,160	-0,127	x
Lamellen vorhanden	0,202	x	x	0,065	0,096	-	-	-	x	x	-	0,051	0,090	x	x	-0,205	0,105	x
Textiler Behang vorhanden	0,223	x	x	0,173	x	-	-	-	x	x	-	0,066	0,156	x	x	-0,233	0,126	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-0,122	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	x	x	-0,089	0,010	x	x	-0,122	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,106	0,071	x	-0,278	-0,412	-	-	-	x	x	-0,431	x	-0,389	0,288	0,235	0,427	-0,074	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,117	-0,079	x	0,123	x	0,051	0,066	x	x	x	x	-	-	-	-	-0,154	0,044	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,246	x	x	x	0,209	0,090	0,156	x	x	x	-0,389	-	-	-	-	-0,337	0,099	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	x	x	x	x	-0,074	x	x	-	x	x	0,288	-	-	-	-	0,122	-0,132	x
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	x	0,050	x	x	x	-	x	x	0,235	-	-	-	-	-0,069	x	x
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,230	0,035	x	0,153	0,160	-0,205	-0,233	x	x	x	0,427	-0,154	-0,337	0,122	-0,069	0,218	-	x
Auskrugung als Verschattung vorhanden	x	x	x	-0,166	-0,127	0,105	0,126	x	x	x	-0,074	0,044	0,099	-0,132	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-

Tabelle 73: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,047	0,004	0,032	x	-0,011	0,003	x	x	-0,003	-0,003	x	x	x	-	x	x	x	-0,034
Größe der Lüftungsöffnung	0,004	0,004	-0,003	0,008	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,003	-	x	x	x	x
Ug-Wert der Verglasung	0,032	-0,003	0,035	-0,036	-0,025	0,006	0,009	x	-0,007	0,004	-0,015	-0,003	0,013	-	0,004	0,007	x	0,011
g-Wert der Verglasung	x	0,008	-0,036	0,010	0,002	0,003	0,007	x	x	0,003	-0,005	x	x	-	0,010	x	x	0,003
T-Wert der Verglasung	-0,011	x	-0,025	0,002	-0,008	x	x	x	-0,005	x	-0,006	-0,005	0,005	-	0,003	x	x	-0,013
Lamellen vorhanden	0,003	x	0,006	0,003	x	-	-	-	x	-0,004	-	x	x	-	x	x	x	x
Textiler Behang vorhanden	x	x	0,009	0,007	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	-0,003	x	-0,007	x	-0,005	x	x	x	-	0,005	0,013	0,004	-0,003	-	-0,004	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,003	x	0,004	0,003	x	-0,004	x	x	0,005	x	-0,006	x	x	-	x	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	x	x	-0,015	-0,005	-0,006	-	-	-	0,013	-0,006	x	0,009	-0,005	-	-0,010	x	x	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	-0,003	x	-0,005	x	x	x	0,004	x	0,009	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	x	-0,003	0,013	x	0,005	x	x	x	-0,003	x	-0,005	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	x	x	0,004	0,010	0,003	x	x	-	-0,004	x	-0,010	-	-	-	-	x	x	x
Länge der Auskrugung als Verschattung	x	x	0,007	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x
Auskrugung als Verschattung vorhanden	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	-0,034	x	0,011	0,003	-0,013	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-

Tabelle 74: reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,931	x	x	-0,171	-0,277	0,083	0,076	x	x	x	0,072	0,037	0,066	-	0,056	0,084	x	x
Größe der Lüftungsöffnung	x	x	x	x	-0,056	x	x	x	x	x	0,032	-0,055	x	-	x	0,056	x	x
Ug-Wert der Verglasung	x	x	x	x	-0,004	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x
g-Wert der Verglasung	-0,171	x	x	x	-0,078	0,207	0,233	-0,035	x	x	-0,222	0,130	0,143	-	0,167	0,155	x	x
T-Wert der Verglasung	-0,277	-0,056	-0,004	-0,078	-0,255	0,150	0,151	x	x	x	-0,158	0,037	0,130	-	0,135	0,121	x	x
Lamellen vorhanden	0,083	x	x	0,207	0,150	-	-	-	x	x	-	x	x	-	x	-0,291	0,075	x
Textiler Behang vorhanden	0,076	x	x	0,233	0,151	-	-	-	x	x	-	x	x	-	x	-0,310	0,078	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	-0,035	x	-	-	-	x	-0,062	-	x	x	-	-	0,047	x	x
innenliegende Beschattung	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	x	x	x	x	x	x	x	-0,062	x	x	x	x	x	-	x	x	-0,007	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,072	0,032	x	-0,222	-0,158	-	-	-	x	x	-0,349	0,080	x	-	x	0,193	0,032	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,037	-0,055	x	0,130	0,037	x	x	x	x	x	0,080	-	-	-	-	-0,141	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,066	x	x	0,143	0,130	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-0,229	x	x
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,056	x	x	0,167	0,135	x	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-0,231	x	x
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,084	0,056	x	0,155	0,121	-0,291	-0,310	0,047	x	x	0,193	-0,141	-0,229	-	-0,231	0,183	-	x
Auskrugung als Verschattung vorhanden	x	x	x	x	x	0,075	0,078	x	x	-0,007	0,032	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-

Tabelle 75: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,547	-0,788	0,004	0,101	0,056	-0,032	-0,045	-0,034	0,065	0,006	0,059	0,005	-0,041	-0,005	-0,036	-0,024	-0,015	-0,048
Größe der Lüftungsöffnung	-0,788	0,581	0,061	-0,153	-0,358	0,064	0,137	0,088	-0,107	0,091	-0,199	-0,043	0,121	0,082	0,041	0,180	-0,034	0,075
U _g -Wert der Verglasung	0,004	0,061	0,027	-0,039	-0,052	-0,008	-0,002	0,007	-0,030	0,054	0,022	0,009	0,019	-0,014	-0,024	0,011	0,005	0,023
g-Wert der Verglasung	0,101	-0,153	-0,039	0,128	0,117	-0,078	-0,104	0,019	0,124	-0,072	0,048	-0,116	-0,043	-0,058	0,036	-0,155	0,014	0,007
T-Wert der Verglasung	0,056	-0,358	-0,052	0,117	0,091	-0,069	-0,071	0,019	0,079	-0,051	0,073	-0,056	-0,002	-0,052	-0,030	-0,103	0,017	-0,108
Lamellen vorhanden	-0,032	0,064	-0,008	-0,078	-0,069	-	-	-	0,042	0,010	-	0,016	-0,031	-0,005	-0,011	0,066	-0,001	0,025
Textiler Behang vorhanden	-0,045	0,137	-0,002	-0,104	-0,071	-	-	-	0,023	-0,005	-	-0,011	-0,009	0,000	-0,025	0,082	0,004	0,030
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	-0,034	0,088	0,007	0,019	0,019	-	-	-	-0,024	-0,031	-	-0,028	-0,006	-	-	-0,004	-0,014	-0,023
innenliegende Beschattung	0,065	-0,107	-0,030	0,124	0,079	0,042	0,023	-0,024	-	-0,111	-0,120	0,069	-0,031	0,002	0,024	-0,071	-0,005	-0,029
Reflexionsgrad der Beschattung	0,006	0,091	0,054	-0,072	-0,051	0,010	-0,005	-0,031	-0,111	0,019	-0,135	-0,023	0,018	0,011	0,000	0,050	-0,024	-0,011
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,059	-0,199	0,022	0,048	0,073	-	-	-	-0,120	-0,135	0,158	0,101	-0,081	0,004	0,034	-0,021	-0,064	-0,040
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,005	-0,043	0,009	-0,116	-0,056	0,016	-0,011	-0,028	0,069	-0,023	0,101	-	-	-	-	0,048	0,020	0,041
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,041	0,121	0,019	-0,043	-0,002	-0,031	-0,009	-0,006	-0,031	0,018	-0,081	-	-	-	-	0,052	0,004	0,026
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-0,005	0,082	-0,014	-0,058	-0,052	-0,005	0,000	-	0,002	0,011	0,004	-	-	-	-	0,036	-0,006	0,000
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,036	0,041	-0,024	0,036	-0,030	-0,011	-0,025	-	0,024	0,000	0,034	-	-	-	-	0,012	-0,015	-0,011
Länge der Auskrragung als Verschattung	-0,024	0,180	0,011	-0,155	-0,103	0,066	0,082	-0,004	-0,071	0,050	-0,021	0,048	0,052	0,036	0,012	-0,028	-	0,030
Auskrragung als Verschattung vorhanden	-0,015	-0,034	0,005	0,014	0,017	-0,001	0,004	-0,014	-0,005	-0,024	-0,064	0,020	0,004	-0,006	-0,015	-	-	0,005
Querlüftungsmöglichkeit	-0,048	0,075	0,023	0,007	-0,108	0,025	0,030	-0,023	-0,029	-0,011	-0,040	0,041	0,026	0,000	-0,011	0,030	0,005	-

Tabelle 76: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	Innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,506	-0,017	0,039	-0,153	-0,361	0,192	0,228	-0,005	0,027	0,044	-0,069	0,130	0,260	0,031	-0,001	0,171	0,070	0,034
Größe der Lüftungsöffnung	-0,017	0,036	0,003	0,026	-0,078	-0,010	-0,030	0,002	-0,011	-0,004	0,100	-0,075	0,009	0,017	0,010	0,045	-0,021	0,004
U _g -Wert der Verglasung	0,039	0,003	-0,008	0,052	-0,106	0,018	0,022	-0,014	0,011	-0,022	-0,017	-0,008	0,019	0,014	0,015	0,018	-0,022	-0,002
g-Wert der Verglasung	-0,153	0,026	0,052	0,248	0,005	0,066	0,152	-0,026	0,060	-0,048	-0,308	0,134	0,065	-0,030	0,050	0,170	-0,155	0,033
T-Wert der Verglasung	-0,361	-0,078	-0,106	0,005	-0,291	0,098	-0,028	-0,014	-0,062	-0,087	-0,375	0,013	0,130	-0,071	-0,003	0,153	-0,172	-0,065
Lamellen vorhanden	0,192	-0,010	0,018	0,066	0,098	-	-	-	0,017	-0,030	-	0,060	0,097	0,033	0,002	-0,200	0,054	-0,009
Textiler Behang vorhanden	0,228	-0,030	0,022	0,152	-0,028	-	-	-	0,010	0,074	-	0,070	0,163	-0,002	-0,003	-0,222	0,069	-0,006
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	-0,005	0,002	-0,014	-0,026	-0,014	-	-	-	0,005	-0,074	-	-0,001	-0,003	-	-	-0,008	0,015	0,001
innenliegende Beschattung	0,027	-0,011	0,011	0,060	-0,062	0,017	0,010	0,005	-	-0,015	-0,017	0,018	0,007	-0,001	0,004	-0,006	-0,018	-0,001
Reflexionsgrad der Beschattung	0,044	-0,004	-0,022	-0,048	-0,087	-0,030	0,074	-0,074	-0,015	-0,072	-0,146	0,006	0,024	-0,046	0,060	0,036	0,033	0,005
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,069	0,100	-0,017	-0,308	-0,375	-	-	-	-0,017	-0,146	-0,372	-0,088	-0,460	0,277	0,203	0,399	-0,035	0,003
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,130	-0,075	-0,008	0,134	0,013	0,060	0,070	-0,001	0,018	0,006	-0,088	-	-	-	-	-0,152	0,073	0,000
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,260	0,009	0,019	0,065	0,130	0,097	0,163	-0,003	0,007	0,024	-0,460	-	-	-	-	-0,325	0,123	0,004
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	0,031	0,017	0,014	-0,030	-0,071	0,033	-0,002	-	-0,001	-0,046	0,277	-	-	-	-	0,128	-0,108	-0,008
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,001	0,010	0,015	0,050	-0,003	0,002	-0,003	-	0,004	0,060	0,203	-	-	-	-	-0,073	0,035	-0,010
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,171	0,045	0,018	0,170	0,153	-0,200	-0,222	-0,008	-0,006	0,036	0,399	-0,152	-0,325	0,128	-0,073	0,221	-	0,002
Auskrugung als Verschattung vorhanden	0,070	-0,021	-0,022	-0,155	-0,172	0,054	0,069	0,015	-0,018	0,033	-0,035	0,073	0,123	-0,108	0,035	-	-	0,003
Querlüftungsmöglichkeit	0,034	0,004	-0,002	0,033	-0,065	-0,009	-0,006	0,001	-0,001	0,005	0,003	0,000	0,004	-0,008	-0,010	0,002	0,003	-

Tabelle 77: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,053	0,024	0,035	-0,002	-0,012	0,006	0,002	0,002	-0,002	-0,006	-0,002	0,001	0,004	-	0,003	0,001	0,002	-0,032
Größe der Lüftungsöffnung	0,024	-0,008	-0,005	0,007	0,007	-0,003	-0,003	-0,001	0,001	-0,001	0,002	0,001	-0,005	-	-0,001	-0,002	0,001	-0,002
U _g -Wert der Verglasung	0,035	-0,005	0,037	-0,049	-0,033	0,005	0,007	-0,001	-0,006	0,003	-0,010	-0,002	0,019	-	-0,003	0,013	-0,003	0,023
g-Wert der Verglasung	-0,002	0,007	-0,049	0,015	0,005	0,002	0,005	-0,003	-0,001	0,006	-0,005	0,003	0,003	-	0,001	-0,001	0,003	-0,003
T-Wert der Verglasung	-0,012	0,007	-0,033	0,005	-0,008	0,000	0,001	-0,002	-0,005	0,000	-0,006	-0,004	0,006	-	-0,001	-0,003	-0,002	-0,024
Lamellen vorhanden	0,006	-0,003	0,005	0,002	0,000	-	-	-	-0,001	-0,006	-	0,001	0,002	-	0,002	-0,003	0,001	0,001
Textiler Behang vorhanden	0,002	-0,003	0,007	0,005	0,001	-	-	-	-0,002	0,000	-	0,000	0,002	-	0,001	-0,001	-0,001	0,000
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	0,002	-0,001	-0,001	-0,003	-0,002	-	-	-	0,001	-0,002	-	0,004	-0,001	-	-	0,002	0,000	-0,001
innenliegende Beschattung	-0,002	0,001	-0,006	-0,001	-0,005	-0,001	-0,002	0,001	-	0,006	0,013	0,003	-0,009	-	0,003	0,003	-0,001	-0,002
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,006	-0,001	0,003	0,006	0,000	-0,006	0,000	-0,002	0,006	0,004	-0,005	-0,001	-0,002	-	-0,003	0,001	0,000	0,000
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,002	0,002	-0,010	-0,005	-0,006	-	-	-	0,013	-0,005	-0,001	0,006	-0,014	-	0,006	-0,001	0,002	0,000
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,001	0,001	-0,002	0,003	-0,004	0,001	0,000	0,004	0,003	-0,001	0,006	-	-	-	-	0,000	-0,001	-0,001
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,004	-0,005	0,019	0,003	0,006	0,002	0,002	-0,001	-0,009	-0,002	-0,014	-	-	-	-	-0,003	0,001	0,005
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,003	-0,001	-0,003	0,001	-0,001	0,002	0,001	-	0,003	-0,003	0,006	-	-	-	-	-0,001	0,000	-0,003
Länge der Auskrragung als Verschattung	0,001	-0,002	0,013	-0,001	-0,003	-0,003	-0,001	0,002	0,003	0,001	-0,001	0,000	-0,003	-	-0,001	0,001	-	0,005
Auskrragung als Verschattung vorhanden	0,002	0,001	-0,003	0,003	-0,002	0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,002	-0,001	0,001	-	0,000	-	-	-0,001
Querlüftungsmöglichkeit	-0,032	-0,002	0,023	-0,003	-0,024	0,001	0,000	-0,001	-0,002	0,000	0,000	-0,001	0,005	-	-0,003	0,005	-0,001	-

Tabelle 78: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage; Zielgröße: „Komfort“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,594	-1,374	-0,074	0,166	0,209	-0,126	-0,139	-0,045	0,109	0,041	0,087	-0,038	-0,137	-	-0,090	-0,048	-0,041	-0,106
Größe der Lüftungsöffnung	-1,374	0,924	0,109	-0,109	-0,600	0,121	0,221	0,125	-0,159	0,060	-0,263	0,013	0,210	-	0,120	0,210	-0,009	0,099
U _g -Wert der Verglasung	-0,074	0,109	-0,089	0,021	0,037	0,005	0,060	-0,009	-0,062	-0,009	-0,025	0,023	0,039	-	0,003	0,070	-0,012	0,058
g-Wert der Verglasung	0,166	-0,109	0,021	0,023	0,115	0,005	-0,135	0,029	0,112	-0,123	0,145	-0,107	-0,040	-	0,018	-0,127	-0,017	-0,043
T-Wert der Verglasung	0,209	-0,600	0,037	0,115	0,214	-0,055	-0,047	-0,019	0,109	-0,043	0,152	-0,018	-0,075	-	-0,009	-0,107	-0,001	0,001
Lamellen vorhanden	-0,126	0,121	0,005	0,005	-0,055	-	-	-	0,060	0,043	-	-0,012	-0,069	-	-0,046	0,031	0,025	0,005
Textiler Behang vorhanden	-0,139	0,221	0,060	-0,135	-0,047	-	-	-	0,049	-0,002	-	-0,027	-0,068	-	-0,044	0,019	0,039	0,010
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	-0,045	0,125	-0,009	0,029	-0,019	-	-	-	-0,007	0,053	-	-0,056	0,012	-	-	-0,056	-0,009	-0,025
innenliegende Beschattung	0,109	-0,159	-0,062	0,112	0,109	0,060	0,049	-0,007	-	-0,099	-0,195	0,054	0,039	-	0,016	-0,094	-0,006	-0,026
Reflexionsgrad der Beschattung	0,041	0,060	-0,009	-0,123	-0,043	0,043	-0,002	0,053	-0,099	-0,011	0,133	-0,005	0,007	-	0,039	0,090	-0,061	-0,018
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,087	-0,263	-0,025	0,145	0,152	-	-	-	-0,195	0,133	0,090	0,049	0,015	-	0,022	-0,057	-0,067	-0,062
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	-0,038	0,013	0,023	-0,107	-0,018	-0,012	-0,027	-0,056	0,054	-0,005	0,049	-	-	-	-	0,035	0,025	0,028
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,137	0,210	0,039	-0,040	-0,075	-0,069	-0,068	0,012	0,039	0,007	0,015	-	-	-	-	0,070	0,001	0,005
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,090	0,120	0,003	0,018	-0,009	-0,046	-0,044	-	0,016	0,039	0,022	-	-	-	-	-0,055	0,039	-0,018
Länge der Auskrugung als Verschattung	-0,048	0,210	0,070	-0,127	-0,107	0,031	0,019	-0,056	-0,094	0,090	-0,057	0,035	0,070	-	-0,055	-0,052	-	0,020
Auskrugung als Verschattung vorhanden	-0,041	-0,009	-0,012	-0,017	-0,001	0,025	0,039	-0,009	-0,006	-0,061	-0,067	0,025	0,001	-	0,039	-	-	-0,001
Querlüftungsmöglichkeit	-0,106	0,099	0,058	-0,043	0,001	0,005	0,010	-0,025	-0,026	-0,018	-0,062	0,028	0,005	-	-0,018	0,020	-0,001	-

Tabelle 79: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante ohne Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,893	0,016	0,034	-0,174	-0,242	0,066	0,065	0,012	0,012	0,005	0,027	0,043	0,081	-	0,007	0,091	0,012	0,007
Größe der Lüftungsöffnung	0,016	0,028	-0,004	-0,027	-0,070	-0,015	-0,022	0,006	-0,001	0,003	0,034	-0,051	0,008	-	0,006	0,063	-0,014	-0,002
Ug-Wert der Verglasung	0,034	-0,004	0,005	0,002	-0,062	-0,004	-0,010	-0,007	-0,007	0,013	0,032	-0,016	0,000	-	0,002	0,018	-0,006	0,000
g-Wert der Verglasung	-0,174	-0,027	0,002	0,011	-0,106	0,159	0,194	-0,024	0,024	0,012	-0,190	0,155	0,172	-	0,027	0,191	-0,012	0,024
T-Wert der Verglasung	-0,242	-0,070	-0,062	-0,106	-0,237	0,118	0,122	-0,025	-0,008	-0,022	-0,142	0,086	0,149	-	0,004	0,161	-0,017	-0,039
Lamellen vorhanden	0,066	-0,015	-0,004	0,159	0,118	-	-	-	0,006	-0,002	-	0,023	0,033	-	0,010	-0,222	0,019	0,008
Textiler Behang vorhanden	0,065	-0,022	-0,010	0,194	0,122	-	-	-	0,006	0,007	-	0,020	0,048	-	-0,003	-0,241	0,013	0,007
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	0,012	0,006	-0,007	-0,024	-0,025	-	-	-	0,005	-0,050	-	0,003	0,009	-	-	0,027	0,001	0,002
innenliegende Beschattung	0,012	-0,001	-0,007	0,024	-0,008	0,006	0,006	0,005	-	-0,014	-0,005	0,013	-0,004	-	0,003	-0,017	-0,004	0,003
Reflexionsgrad der Beschattung	0,005	0,003	0,013	0,012	-0,022	-0,002	0,007	-0,050	-0,014	-0,029	0,035	0,003	-0,007	-	0,009	-0,010	0,028	-0,011
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,027	0,034	0,032	-0,190	-0,142	-	-	-	-0,005	0,035	-0,264	0,010	-0,084	-	0,101	0,160	0,058	0,003
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,043	-0,051	-0,016	0,155	0,086	0,023	0,020	0,003	0,013	0,003	0,010	-	-	-	-	-0,175	0,025	0,003
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,081	0,008	0,000	0,172	0,149	0,033	0,048	0,009	-0,004	-0,007	-0,084	-	-	-	-	-0,263	0,023	0,004
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,007	0,006	0,002	0,027	0,004	0,010	-0,003	-	0,003	0,009	0,101	-	-	-	-	-0,025	-0,015	0,007
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,091	0,063	0,018	0,191	0,161	-0,222	-0,241	0,027	-0,017	-0,010	0,160	-0,175	-0,263	-	-0,025	0,131	-	0,009
Auskrugung als Verschattung vorhanden	0,012	-0,014	-0,006	-0,012	-0,017	0,019	0,013	0,001	-0,004	0,028	0,058	0,025	0,023	-	-0,015	-	-	-0,005
Querlüftungsmöglichkeit	0,007	-0,002	0,000	0,024	-0,039	0,008	0,007	0,002	0,003	-0,011	0,003	0,003	0,004	-	0,007	0,009	-0,005	-

Tabelle 80: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,703	0,009	0,254	-0,081	-0,108	0,019	0,012	0,005	-0,019	-0,012	-0,014	0,004	0,014	0,013	0,000	0,008	0,005	0,043
Größe der Lüftungsöffnung	0,009	0,006	-0,004	0,016	-0,014	-0,001	-0,001	-0,001	0,004	-0,003	0,001	0,000	-0,001	-0,002	0,002	-0,002	-0,002	0,001
Ug-Wert der Verglasung	0,254	-0,004	0,020	-0,053	0,012	0,006	0,007	0,001	0,004	0,006	0,004	-0,001	0,005	0,007	0,003	0,012	-0,002	-0,006
g-Wert der Verglasung	-0,081	0,016	-0,053	-0,003	-0,053	0,023	0,042	-0,001	-0,007	0,024	-0,029	-0,011	0,067	0,029	-0,021	0,047	0,017	-0,007
T-Wert der Verglasung	-0,108	-0,014	0,012	-0,053	-0,108	0,003	0,008	-0,006	-0,035	-0,004	-0,035	-0,037	0,047	0,026	-0,025	0,015	-0,013	-0,008
Lamellen vorhanden	0,019	-0,001	0,006	0,023	0,003	-	-	-	-0,007	-0,014	-	0,009	-0,003	0,007	0,006	-0,009	0,001	0,003
Textiler Behang vorhanden	0,012	-0,001	0,007	0,042	0,008	-	-	-	-0,012	0,002	-	-0,005	0,017	0,006	-0,006	-0,013	0,001	0,002
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	0,005	-0,001	0,001	-0,001	-0,006	-	-	-	-0,003	-0,013	-	0,007	-0,002	-	-	0,000	0,000	-0,001
innenliegende Beschattung	-0,019	0,004	0,004	-0,007	-0,035	-0,007	-0,012	-0,003	-	0,025	0,057	0,022	-0,046	-0,019	0,023	0,012	-0,002	-0,003
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,012	-0,003	0,006	0,024	-0,004	-0,014	0,002	-0,013	0,025	0,008	-0,010	-0,008	0,008	0,001	-0,013	-0,005	-0,002	0,000
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,014	0,001	0,004	-0,029	-0,035	-	-	-	0,057	-0,010	-0,026	0,047	-0,078	-0,023	0,040	0,020	-0,004	-0,001
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,004	0,000	-0,001	-0,011	-0,037	0,009	-0,005	0,007	0,022	-0,008	0,047	-	-	-	-	0,008	-0,002	-0,002
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,014	-0,001	0,005	0,067	0,047	-0,003	0,017	-0,002	-0,046	0,008	-0,078	-	-	-	-	-0,013	0,001	0,006
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	0,013	-0,002	0,007	0,029	0,026	0,007	0,006	-	-0,019	0,001	-0,023	-	-	-	-	-0,023	0,003	0,004
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,000	0,002	0,003	-0,021	-0,025	0,006	-0,006	-	0,023	-0,013	0,040	-	-	-	-	0,007	0,000	-0,002
Länge der Auskrragung als Verschattung	0,008	-0,002	0,012	0,047	0,015	-0,009	-0,013	0,000	0,012	-0,005	0,020	0,008	-0,013	-0,023	0,007	0,009	-	0,009
Auskrragung als Verschattung vorhanden	0,005	-0,002	-0,002	0,017	-0,013	0,001	0,001	0,000	-0,002	-0,002	-0,004	-0,002	0,001	0,003	0,000	-	-	-0,001
Querlüftungsmöglichkeit	0,043	0,001	-0,006	-0,007	-0,008	0,003	0,002	-0,001	-0,003	0,000	-0,001	-0,002	0,006	0,004	-0,002	0,009	-0,001	-

Tabelle 81: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage; Zielgröße: „Kühlenergie“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,286	-0,431	-0,053	0,151	0,166	-0,089	-0,069	-0,023	0,106	0,036	0,052	-0,014	-0,046	-0,059	-0,038	-0,036	-0,050	-0,011
Größe der Lüftungsöffnung	-0,431	0,254	0,028	-0,050	-0,110	0,019	0,062	0,030	-0,041	0,023	-0,107	-0,015	0,040	0,034	0,023	0,033	0,010	0,034
U _g -Wert der Verglasung	-0,053	0,028	0,008	-0,014	-0,001	0,006	0,020	0,007	-0,035	-0,001	0,003	0,007	0,010	0,009	0,000	0,009	0,005	0,011
g-Wert der Verglasung	0,151	-0,050	-0,014	0,060	0,121	-0,050	-0,135	0,019	0,108	-0,130	0,120	-0,089	-0,075	-0,017	-0,004	-0,108	-0,046	-0,011
T-Wert der Verglasung	0,166	-0,110	-0,001	0,121	0,182	-0,035	-0,081	0,003	0,122	-0,037	0,088	-0,035	-0,055	-0,022	-0,003	-0,043	0,006	-0,015
Lamellen vorhanden	-0,089	0,019	0,006	-0,050	-0,035	-	-	-	0,044	0,048	-	0,001	-0,023	-0,042	-0,025	0,031	0,023	0,002
Textiler Behang vorhanden	-0,069	0,062	0,020	-0,135	-0,081	-	-	-	0,063	-0,013	-	-0,015	-0,023	-0,018	-0,013	0,060	0,026	-0,005
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	-0,023	0,030	0,007	0,019	0,003	-	-	-	-0,016	0,026	-	-0,021	-0,002	-	-	-0,014	0,000	-0,006
innenliegende Beschattung	0,106	-0,041	-0,035	0,108	0,122	0,044	0,063	-0,016	-	-0,151	-0,271	0,054	0,046	0,010	-0,004	-0,081	-0,015	-0,005
Reflexionsgrad der Beschattung	0,036	0,023	-0,001	-0,130	-0,037	0,048	-0,013	0,026	-0,151	0,013	0,027	-0,008	-0,005	0,020	0,029	0,057	0,000	0,007
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,052	-0,107	0,003	0,120	0,088	-	-	-	-0,271	0,027	0,178	0,050	0,031	-0,014	-0,015	-0,073	-0,033	0,012
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	-0,014	-0,015	0,007	-0,089	-0,035	0,001	-0,015	-0,021	0,054	-0,008	0,050	-	-	-	-	0,022	0,015	0,006
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,046	0,040	0,010	-0,075	-0,055	-0,023	-0,023	-0,002	0,046	-0,005	0,031	-	-	-	-	0,039	0,005	-0,001
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-0,059	0,034	0,009	-0,017	-0,022	-0,042	-0,018	-	0,010	0,020	-0,014	-	-	-	-	0,029	0,017	-0,005
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,038	0,023	0,000	-0,004	-0,003	-0,025	-0,013	-	-0,004	0,029	-0,015	-	-	-	-	0,002	0,012	-0,003
Länge der Auskrragung als Verschattung	-0,036	0,033	0,009	-0,108	-0,043	0,031	0,060	-0,014	-0,081	0,057	-0,073	0,022	0,039	0,029	0,002	-0,029	-	0,006
Auskrragung als Verschattung vorhanden	-0,050	0,010	0,005	-0,046	0,006	0,023	0,026	0,000	-0,015	0,000	-0,033	0,015	0,005	0,017	0,012	-	-	0,004
Querlüftungsmöglichkeit	-0,011	0,034	0,011	-0,011	-0,015	0,002	-0,005	-0,006	-0,005	0,007	0,012	0,006	-0,001	-0,005	-0,003	0,006	0,004	-

Tabelle 82: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Worst Case“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,510	0,033	0,050	-0,156	-0,374	0,188	0,205	-0,011	0,030	0,033	-0,075	0,128	0,248	0,022	-0,005	0,171	0,053	0,036
Größe der Lüftungsöffnung	0,033	0,023	0,002	0,041	-0,137	-0,019	-0,024	0,008	0,000	-0,002	0,078	-0,067	0,014	0,001	0,009	0,062	-0,028	-0,003
Ug-Wert der Verglasung	0,050	0,002	-0,012	0,040	-0,103	0,013	0,015	-0,003	-0,004	-0,008	0,009	-0,010	0,017	0,019	0,003	0,009	-0,007	-0,006
g-Wert der Verglasung	-0,156	0,041	0,040	0,261	0,008	0,072	0,193	-0,011	0,030	-0,066	-0,303	0,127	0,059	0,002	0,078	0,160	-0,155	0,027
T-Wert der Verglasung	-0,374	-0,137	-0,103	0,008	-0,300	0,108	-0,009	-0,012	-0,055	-0,086	-0,409	0,009	0,168	-0,068	-0,011	0,167	-0,158	-0,057
Lamellen vorhanden	0,188	-0,019	0,013	0,072	0,108	-	-	-	0,021	-0,024	-	0,062	0,096	0,028	0,002	-0,222	0,068	-0,007
Textiler Behang vorhanden	0,205	-0,024	0,015	0,193	-0,009	-	-	-	0,009	0,057	-	0,066	0,152	-0,006	-0,007	-0,244	0,081	-0,008
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	-0,011	0,008	-0,003	-0,011	-0,012	-	-	-	-0,003	-0,068	-	-0,004	-0,007	-	-	0,011	0,001	0,002
innenliegende Beschattung	0,030	0,000	-0,004	0,030	-0,055	0,021	0,009	-0,003	-	-0,010	-0,013	0,020	-0,001	0,007	0,004	0,008	-0,024	-0,001
Reflexionsgrad der Beschattung	0,033	-0,002	-0,008	-0,066	-0,086	-0,024	0,057	-0,068	-0,010	-0,045	-0,013	-0,001	0,013	-0,024	0,045	0,044	0,019	0,005
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,075	0,078	0,009	-0,303	-0,409	-	-	-	-0,013	-0,013	-0,404	-0,059	-0,442	0,235	0,190	0,440	-0,061	0,019
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,128	-0,067	-0,010	0,127	0,009	0,062	0,066	-0,004	0,020	-0,001	-0,059	-	-	-	-	-0,154	0,071	-0,006
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,248	0,014	0,017	0,059	0,168	0,096	0,152	-0,007	-0,001	0,013	-0,442	-	-	-	-	-0,341	0,132	0,001
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	0,022	0,001	0,019	0,002	-0,068	0,028	-0,006	-	0,007	-0,024	0,235	-	-	-	-	0,109	-0,094	-0,010
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,005	0,009	0,003	0,078	-0,011	0,002	-0,007	-	0,004	0,045	0,190	-	-	-	-	-0,079	0,040	0,001
Länge der Auskrragung als Verschattung	0,171	0,062	0,009	0,160	0,167	-0,222	-0,244	0,011	0,008	0,044	0,440	-0,154	-0,341	0,109	-0,079	0,230	-	0,001
Auskrragung als Verschattung vorhanden	0,053	-0,028	-0,007	-0,155	-0,158	0,068	0,081	0,001	-0,024	0,019	-0,061	0,071	0,132	-0,094	0,040	-	-	0,000
Querlüftungsmöglichkeit	0,036	-0,003	-0,006	0,027	-0,057	-0,007	-0,008	0,002	-0,001	0,005	0,019	-0,006	0,001	-0,010	0,001	0,001	0,000	-

Tabelle 83: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Heizenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,047	0,003	0,033	-0,003	-0,011	0,003	0,000	0,001	-0,003	-0,003	-0,002	0,001	0,000	-	0,001	0,001	0,000	-0,035
Größe der Lüftungsöffnung	0,003	0,005	-0,003	0,006	0,001	-0,002	-0,001	-0,001	0,002	-0,001	0,000	0,002	-0,003	-	-0,002	-0,003	0,002	-0,001
Ug-Wert der Verglasung	0,033	-0,003	0,033	-0,036	-0,024	0,006	0,008	-0,001	-0,006	0,005	-0,015	-0,003	0,013	-	0,005	0,010	-0,002	0,012
g-Wert der Verglasung	-0,003	0,006	-0,036	0,011	0,003	0,004	0,006	-0,001	0,000	0,003	-0,006	0,002	0,000	-	0,008	-0,001	0,001	0,003
T-Wert der Verglasung	-0,011	0,001	-0,024	0,003	-0,007	0,000	0,002	-0,001	-0,005	0,000	-0,006	-0,008	0,004	-	0,006	-0,001	-0,001	-0,013
Lamellen vorhanden	0,003	-0,002	0,006	0,004	0,000	-	-	-	-0,001	-0,004	-	0,002	0,000	-	0,000	-0,001	0,000	0,000
Textiler Behang vorhanden	0,000	-0,001	0,008	0,006	0,002	-	-	-	-0,002	0,001	-	-0,001	0,000	-	0,000	0,000	-0,001	0,001
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-	-	-	0,001	0,000	-	0,001	-0,001	-	-	0,000	0,001	0,000
innenliegende Beschattung	-0,003	0,002	-0,006	0,000	-0,005	-0,001	-0,002	0,001	-	0,005	0,015	0,004	-0,003	-	-0,004	0,001	0,000	-0,001
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,003	-0,001	0,005	0,003	0,000	-0,004	0,001	0,000	0,005	-0,001	-0,008	-0,002	0,000	-	-0,001	-0,001	0,001	0,001
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	-0,002	0,000	-0,015	-0,006	-0,006	-	-	-	0,015	-0,008	-0,002	0,013	-0,005	-	-0,010	0,000	0,002	0,000
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,001	0,002	-0,003	0,002	-0,008	0,002	-0,001	0,001	0,004	-0,002	0,013	-	-	-	-	0,000	0,000	-0,001
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,000	-0,003	0,013	0,000	0,004	0,000	0,000	-0,001	-0,003	0,000	-0,005	-	-	-	-	-0,001	0,000	0,001
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,001	-0,002	0,005	0,008	0,006	0,000	0,000	-	-0,004	-0,001	-0,010	-	-	-	-	-0,001	0,000	0,000
Länge der Auskrragung als Verschattung	0,001	-0,003	0,010	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,000	0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-	-0,001	0,001	-	0,002
Auskrragung als Verschattung vorhanden	0,000	0,002	-0,002	0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	-	0,000	-	-	0,000
Querlüftungsmöglichkeit	-0,035	-0,001	0,012	0,003	-0,013	0,000	0,001	0,000	-0,001	0,001	0,000	-0,001	0,001	-	0,000	0,002	0,000	-

Tabelle 84: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: „Kühlenergie“



	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrragung als Verschattung	Auskrragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,189	-0,416	-0,031	0,093	0,115	-0,051	-0,050	-0,012	0,066	0,041	0,084	-0,011	-0,043	-	-0,047	-0,020	-0,030	0,014
Größe der Lüftungsöffnung	-0,416	0,246	0,019	-0,004	-0,126	0,026	0,053	0,033	-0,031	0,019	-0,079	-0,010	0,041	-	0,048	0,033	0,006	-0,002
Ug-Wert der Verglasung	-0,031	0,019	-0,011	0,010	0,029	0,005	0,016	0,006	-0,013	-0,019	-0,024	0,004	0,007	-	0,010	0,011	-0,008	-0,001
g-Wert der Verglasung	0,093	-0,004	0,010	0,016	0,066	-0,027	-0,104	0,008	0,078	-0,088	0,071	-0,049	-0,035	-	-0,047	-0,047	-0,047	-0,007
T-Wert der Verglasung	0,115	-0,126	0,029	0,066	0,119	-0,042	-0,052	0,006	0,078	-0,036	0,101	-0,018	-0,035	-	-0,040	-0,022	-0,014	0,021
Lamellen vorhanden	-0,051	0,026	0,005	-0,027	-0,042	-	-	-	0,023	0,044	-	-0,004	-0,023	-	-0,024	0,019	0,014	-0,002
Textiler Behang vorhanden	-0,050	0,053	0,016	-0,104	-0,052	-	-	-	0,043	-0,003	-	-0,007	-0,020	-	-0,023	0,015	0,033	-0,004
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	-0,012	0,033	0,006	0,008	0,006	-	-	-	-0,019	0,009	-	-0,019	0,007	-	-	-0,006	-0,007	-0,005
innenliegende Beschattung	0,066	-0,031	-0,013	0,078	0,078	0,023	0,043	-0,019	-	-0,106	-0,192	0,023	0,019	-	0,023	-0,044	-0,020	0,000
Reflexionsgrad der Beschattung	0,041	0,019	-0,019	-0,088	-0,036	0,044	-0,003	0,009	-0,106	-0,002	0,030	0,009	0,011	-	0,022	0,018	0,013	0,003
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,084	-0,079	-0,024	0,071	0,101	-	-	-	-0,192	0,030	0,074	0,034	0,025	-	0,025	-0,033	-0,053	0,001
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	-0,011	-0,010	0,004	-0,049	-0,018	-0,004	-0,007	-0,019	0,023	0,009	0,034	-	-	-	-	0,004	0,019	-0,002
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	-0,043	0,041	0,007	-0,035	-0,035	-0,023	-0,020	0,007	0,019	0,011	0,025	-	-	-	-	0,015	0,014	-0,001
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	-0,047	0,048	0,010	-0,047	-0,040	-0,024	-0,023	-	0,023	0,022	0,025	-	-	-	-	0,015	0,013	-0,002
Länge der Auskrragung als Verschattung	-0,020	0,033	0,011	-0,047	-0,022	0,019	0,015	-0,006	-0,044	0,018	-0,033	0,004	0,015	-	0,015	-0,015	-	-0,005
Auskrragung als Verschattung vorhanden	-0,030	0,006	-0,008	-0,047	-0,014	0,014	0,033	-0,007	-0,020	0,013	-0,053	0,019	0,014	-	0,013	-	-	0,002
Querlüftungsmöglichkeit	0,014	-0,002	-0,001	-0,007	0,021	-0,002	-0,004	-0,005	0,000	0,003	0,001	-0,002	-0,001	-	-0,002	-0,005	0,002	-

Tabelle 85: vollständige Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ mit Simulationsvariante mit Kühlanlage;
Zielgröße: Beleuchtungsenergie

	1	Größe der Lüftungsöffnung	U _g -Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskrugung als Verschattung	Auskrugung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,897	0,013	0,034	-0,172	-0,242	0,072	0,072	0,011	0,008	-0,004	0,040	0,041	0,054	-	0,049	0,101	0,012	0,010
Größe der Lüftungsöffnung	0,013	0,025	0,007	-0,019	-0,088	-0,014	-0,020	0,005	-0,004	0,003	0,037	-0,047	0,008	-	0,006	0,064	-0,012	0,000
U _g -Wert der Verglasung	0,034	0,007	-0,008	0,015	-0,050	-0,007	-0,009	0,000	0,002	0,006	0,020	-0,012	-0,003	-	-0,001	0,021	-0,014	0,001
g-Wert der Verglasung	-0,172	-0,019	0,015	0,016	-0,103	0,201	0,226	-0,044	0,033	0,008	-0,222	0,120	0,142	-	0,165	0,169	-0,015	0,022
T-Wert der Verglasung	-0,242	-0,088	-0,050	-0,103	-0,236	0,156	0,160	-0,029	-0,012	-0,010	-0,163	0,040	0,140	-	0,136	0,148	-0,019	-0,033
Lamellen vorhanden	0,072	-0,014	-0,007	0,201	0,156	-	-	-	0,006	-0,011	-	0,025	0,024	-	0,022	-0,282	0,037	0,004
Textiler Behang vorhanden	0,072	-0,020	-0,009	0,226	0,160	-	-	-	0,003	0,007	-	0,015	0,030	-	0,027	-0,303	0,036	0,001
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	0,011	0,005	0,000	-0,044	-0,029	-	-	-	0,003	-0,044	-	0,008	0,003	-	-	0,037	0,005	-0,003
innenliegende Beschattung	0,008	-0,004	0,002	0,033	-0,012	0,006	0,003	0,003	-	-0,014	0,013	0,008	-0,001	-	0,001	-0,022	0,001	0,000
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,004	0,003	0,006	0,008	-0,010	-0,011	0,007	-0,044	-0,014	-0,025	-0,001	-0,002	-0,005	-	0,003	-0,019	0,038	0,000
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	0,040	0,037	0,020	-0,222	-0,163	-	-	-	0,013	-0,001	-0,331	0,076	-0,021	-	-0,015	0,185	0,054	0,001
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	0,041	-0,047	-0,012	0,120	0,040	0,025	0,015	0,008	0,008	-0,002	0,076	-	-	-	-	-0,126	0,014	0,001
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,054	0,008	-0,003	0,142	0,140	0,024	0,030	0,003	-0,001	-0,005	-0,021	-	-	-	-	-0,228	0,028	0,003
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,049	0,006	-0,001	0,165	0,136	0,022	0,027	-	0,001	0,003	-0,015	-	-	-	-	-0,231	0,031	0,000
Länge der Auskrugung als Verschattung	0,101	0,064	0,021	0,169	0,148	-0,282	-0,303	0,037	-0,022	-0,019	0,185	-0,126	-0,228	-	-0,231	0,146	-	-0,003
Auskrugung als Verschattung vorhanden	0,012	-0,012	-0,014	-0,015	-0,019	0,037	0,036	0,005	0,001	0,038	0,054	0,014	0,028	-	0,031	-	-	0,000
Querlüftungsmöglichkeit	0,010	0,000	0,001	0,022	-0,033	0,004	0,001	-0,003	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	-	0,000	-0,003	0,000	-

9.4. Merkblatt

Abrufbar unter: https://www.holzforschung.at/fileadmin/user_upload/Downloads/Broschueren/gratisdownloads/HFA-Merkblatt-Cooler-Fenster-2022.pdf

- 
- 
- Lüftungsverhalten an Außentemperatur anpassen**

Für eine kühlwirksame Lüftung sollten die Fenster nur geöffnet werden, wenn die Außentemperatur die Innentemperatur unterschreitet und auch geöffnet bleiben, wenn die Innentemperatur sich an die Außentemperatur angeglichen hat (Abfuhr von in den umgrenzenden Bauteilen gespeicherter Wärme).
Beschattungssysteme, die den Lüftungsquerschnitt einschränken, sollten nach Möglichkeit nicht abgesenkt werden, wenn die Bedingung zum Lüften gegeben und diese auch erwünscht ist, um einen uneingeschränkten Luftwechsel zu ermöglichen.
 - Nachtlüftung vorsehen**



Jedenfalls ist eine Nachtlüftung vorzusehen, um die über den Tag eingebrachte Wärme wieder abführen zu können. Im Idealfall werden die Fenster erst geöffnet, wenn die Außentemperatur unter der Innentemperatur liegt (= Kühlwirkung/Luftwechsel). Tagsüber sollten die Fenster an heißen Tagen jedenfalls geschlossen bleiben.
Wenn durch äußere Umstände eine Nachtlüftung nicht möglich ist (z.B. hoher Umgebungslärmpegel), sollte durch eine Lüftungsanlage in der Nacht ein möglichst hoher Kühlwirkung/Luftwechsel bereitgestellt werden.
 - Auch bei Auskrägung zusätzliche Beschattung notwendig**

Auch bei Auskrägungen (z.B. Balkon, Vordach) ist eine zusätzliche außenliegende bewegliche Beschattung notwendig, selbst bei größeren Bautiefen (2 m) wird der Kühlbedarf durch die Auskrägung nur wenig gesenkt.
Bei der Planung sollte berücksichtigt werden, dass bereits Auskrägungen ab 1 m Tiefe eine merkbare zirkuläre Auswirkung auf das Tageslichtangebot haben.
 - Fenstergröße**

Großzügige Verglasungen wirken sich positiv auf die Tageslichtverfügbarkeit aus, setzen aber für die Sommerauglichkeit eine gut geplante und richtig genutzte außenliegende Beschattung voraus.
 - Windbeständigkeit der Beschattung – Standort beachten**

Die Sonnenschutzfunktion wird durch die windabhängige Beschattungssteuerung nicht wesentlich eingeschränkt, wenn ein für den Standort und die Einbausituation geeignetes Produkt ausgewählt wird. Für den Standort Wien bedeutet das beispielsweise, dass bis zu 96 % der Zeit eine Beschattung der Windwiderstandsklasse 2 (ca. 40 km/h) verwendet werden kann.
- Hinweis:**
Farbe der Beschattung
Die Auswahl der Farbe der Beschattung sollte nicht nur aus optischen Gründen getroffen werden, weil sie auch die Tageslichtversorgung und den Blendschutz beeinflusst.
Dunkle Beschattung = weniger Licht im Raum, besserer Blendschutz
Helle Beschattung = mehr Licht im Raum, weniger Blendschutz
- Steuerung des Coolen Fensters**
Eine effiziente Steuerung des Coolen Fensters (manuell oder automatisch) kann die positive Auswirkung einer Beschattungseinrichtung hinsichtlich Energieverbrauch, Überhitzung und Tageslichtversorgung deutlich erhöhen.
- Impressum: Plakform Fenster Österreich, Bundesverband Sonnenschutztechnik Österreich
Für den Inhalt verantwortlich: HFA, TU Graz

2/2

- 
- 
- ### Fenster und Beschattung gemeinsam optimal gestalten im Kontext des Klimawandels
- Die Ergebnisse aus dem F&E Projekt **Cooler Fenster¹⁾** im Programm Stadt der Zukunft des BMK lassen durch die von der Holzforschung Austria und der TU-Graz durchgeführten Simulationen an ca. 12.000 unterschiedlichen Ausführungsvarianten im Hinblick auf
- Heizenergie/Energieeinsparung,
 - Kühlenergie/Sommerliche Überwärmung der Innenräume und
 - Beleuchtungsenergie/Tageslichtnutzung.
- folgende allgemeinen gültige Aussagen für das Haustechnikelement Cooler Fenster zu:
- ### Cooler Fenster für coole Räume – 10 goldene Regeln
- Außenliegende Beschattung viel besser als innenliegende, innenliegende Beschattung besser als keine Beschattung**

Eine außenliegende Beschattung ist lediglich vorzuziehen und bringt die geringsten Innenraumtemperaturerhöhungen im Sommer und die beste Verbesserung des Kühlenergiebedarfs. Energieeinsparung von ca. € 250,- bis € 450,- pro Jahr (Basis 07/2022) für eine durchschnittliche Wohnung bei richtiger Anwendung. Somit ist eine Amortisation des Sonnenschutzes in ca. 5 – 7 Jahren möglich.
Wenn eine Außenbeschattung nicht möglich ist (z.B. aufgrund von Denkmalschutz) ist eine helle Beschattung innenliegend aber besser als gar keine Beschattung, insbesondere wenn eine hohe Einstrahlung vorliegt (z.B. große Fenster mit hohem g-Wert und keiner baulichen Verschattung).
 - Beschattung in allen Himmelsrichtungen, auch im Norden, notwendig**

Einstrahlungsenergie im Norden ist beispielsweise in den Monaten Mai bis September noch ca. 60% vom Süden! Damit ist die Gefahr einer sommerlichen Überhitzung bei fehlender Beschattung auch in nordsüdigen Räumen gegeben.
 - U_f-Wert $\leq 1,0$ W/m²K**

Der U_f-Wert der Außenfenster sollte jedenfalls $1,0$ W/m²K nicht überschreiten und so niedrig wie möglich sein.
 - Solarer Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung $\geq 0,5$**

Ein g-Wert der Verglasung unter 0,5 sollte aufgrund der Verschlechterung der Tageslichtausnutzung und des Verlustes an solaren Gewinnen in der Heizperiode vermieden werden. Sonnenschutzvergglasungen werden somit nicht empfohlen.
 - Öffentbarer Anteil Fenster mind. 50 %**

Um eine ausreichende (Nacht-)Lüftung gewährleisten zu können, sollten bei der Planung mindestens 50 % der Fensterflächen offenbar vorgesehen werden. Die Querlüftung ist die effizienteste Art der Fensterlüftung, weil dadurch die Raumluft am schnellsten ausgetauscht wird.
- ¹⁾ C. Leh, V. Stieglar, R. Wolfhard, S. Vavrik-Kirschsteiger, J. Bachingner, H. Fak, P. Schöber, B. Nussar: Cooler Fenster – Fenster mit Beschattung im Spannungsfeld sommerlicher Überwärmung / Tageslicht / winterlicher Wärmeschutz in der Klimakrise. Endbericht „Stadt der Zukunft“ - 11/2022

1/2

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at