



HOCHSCHULE ANSBACH

Angewandte Ingenieurwissenschaften

Studienarbeit **Virtuelle Gebäudemodellierung**

vorgelegt von:

Kevin Settler

Matrikel-Nr.: 00154418

E-Mail-Adresse: kevin.settler@hs-ansbach.de

Studiengang:

AIW - NGT

6. Fachsemester

Betreuer:

Dipl.-Ing. Christoph Matschi, M.Sc.

Abgabedatum:

18.08.2021

Erklärung

1. Ich versichere, dass ich die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

2. Mir ist ferner bekannt, dass die Hochschule Ansbach aufgrund der prüfungsrechtlichen Vorschriften einen Anspruch auf das Original der Arbeit hat. Dieser Anspruch bezieht sich jedoch nur auf das körperliche Eigentum an der Arbeit als solches und auf deren Verwendung zu den in der Studien- und Prüfungsordnung festgelegten Zwecken.

Ansbach, 18. August 2021

Kevin, Settler

Erklärung

Nutzungsrecht und Geheimhaltung

In Ergänzung zu anderen Erklärungen im Rahmen der Arbeit erkläre ich Folgendes:

Es entspricht meinem ausdrücklichen Wunsch, dass ich vom betreuenden Hochschullehrer der Hochschule Ansbach (im Folgenden Hochschule genannt) die als Prüfungsleistung zu erbringende Arbeit zur Bearbeitung erhalte, für die die nachfolgenden Bedingungen gelten. Ich wurde darauf hingewiesen, dass ich auch ein anderes Thema hätte erhalten können, für das diese Bedingungen nicht gelten würden. Ich erkläre mich mit folgenden Punkten einverstanden:

1. Ich räume der Hochschule Ansbach für Zwecke der Forschung und Lehre ein einfaches, kostenloses, zeitlich und örtlich unbeschränktes Nutzungsrecht an den Arbeitsergebnissen einschließlich etwaiger Schutzrechte und Urheberrechte ein. Das Nutzungsrecht der Hochschule umfasst die Befugnis zur Weitergabe der Arbeit an Dritte zur Nutzung in Forschung und Lehre.
2. Wegen des Praxisbezugs meiner Arbeit werde ich Informationen erhalten und Einblick in Unterlagen nehmen, die vertraulich zu behandeln sind. Da die Ergebnisse meiner Arbeit auf den vorgenannten Informationen bzw. Unterlagen beruhen werden, werde ich meine Arbeit nur mit Zustimmung des betreuenden Hochschullehrers Dritten zugänglich machen bzw. veröffentlichen.

Ansbach, 18. August 2021

Kevin, Settler

Kurzzusammenfassung

Es soll ein Wohngebäude nach gegebenen Entwurfsplan weiter geplant werden. Wunsch des Bauherren ist es, ein möglichst nachhaltiges Einfamilienhaus im Großraum Nürnberg errichten zu lassen. Konkret verlangt der Kunde den Standard des KfW-Effizienzhauses 40, welcher zwingend zu erreichen ist.

Es sollen Variationen hinsichtlich der

- Orientierung des Gebäudes,
- der optimalen Fensterart und des Sonnenschutzes,
- dem optimalen Wand-, Dach- und Bodenplattenaufbau und
- dem optimalen Heizungsübergabesystem

getroffen werden.

Jegliche Aspekte sollen die thermische Behaglichkeit aus den aktuellen Fassungen der Normenwerke DIN 4108, DIN 7730 und DIN 15251 einhalten.

Um das gegebene Ziel ausreichend zu erfüllen ist die Schaffung einer ausführlichen Grundlage notwendig. Hierauf wird sich in der Auswertung der unterschiedlichen Varianten bezogen, um eine absolute Vergleichbarkeit, und nicht nur eine relative-, untereinander zu erreichen.

Nach der Auswahl verschiedener Variationsmaßnahmen werden diese in jeglicher Kombinationsmöglichkeit miteinander simuliert. Die hieraus entstandenen Varianten werden miteinander verglichen, um jene Maßnahmen bestimmen zu können, die für die bestmögliche Behaglichkeit, unter hinnehmbaren Bedingungen, sorgen.

Infolgedessen wird diese konkrete Variante näher beschrieben und mit dem Ausgangsfall des Referenzgebäudes verglichen. So kann aufgezeigt werden, was sich durch die Optimierungen verbessert hat.

Es hat sich die Variante 5 als am sinnvollsten herausgestellt.

Inhalt

1	Schaffung einer Grundlage.....	9
1.1	Festlegung der Parameter des Referenzgebäudes	9
1.2	Auswertung der Ergebnisse des Referenzgebäudes und Detektion von Schwachstellen.....	13
2	Bestimmung von Maßnahmen zur Optimierung des Gebäudes und Findung von Varianten	23
2.1	Auswertung und Bewertung der Varianten	28
3	Vorschlag zur auszuführenden Variante	29
3.1	Analyse und Vergleich mit dem Referenzgebäude	30
3.2	Nachweise der optimalen Variante	38
4	Literaturverzeichnis.....	40

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1-1: Objektgeometrie in EG und OG.....	10
Abb. 1.2-1: Gesamtheiz- und Kühlleistung_Referenzgebäude	15
Abb. 1.2-2: Temperaturen - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Referenzgebäude	16
Abb. 1.2-3: Temperaturen_Häufigkeitsverteilung - EG_Wohnen-Kochen- Essen_Referenzgebäude.....	16
Abb. 1.2-4: Fangers Komfortindex - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Referenzgebäude...	17
Abb. 1.2-5: Raumlufthqualität - EG_Gast-Arbeiten_Referenzgebäude.....	18
Abb. 1.2-6: Fangers Komfortindex - EG_Gast-Arbeiten_Referenzgebäude	18
Abb. 1.2-7: Temperaturen - EG_Technik_Referenzgebäude.....	19
Abb. 1.2-8: Raumlufthqualität_Häufigkeitsverteilung - EG_Ankleide_Referenzgebäude.	20
Abb. 1.2-9: Raumlufthqualität - EG_Schlafen_Referenzgebäude.....	20
Abb. 1.2-10: Raumlufthqualität - OG_Treppe_Referenzgebäude	21
Abb. 1.2-11: Raumlufthqualität - OG_Nähen-Musik_Referenzgebäude	21
Abb. 1.2-12: Personenunzufriedenheitsstunden_Referenzgebäude.....	22
Abb. 1.2-1: Wärme- und Kälteerzeuger des Wohnhauses.....	27
Abb. 3.1-1: Geamtheiz- und Kühlleistung_Empfehlung	30
Abb. 3.1-2: Fangers Komfortindex - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Empfehlung	31
Abb. 3.1-3: Raumlufthqualität - EG_Gast-Arbeiten_Empfehlung	32
Abb. 3.1-4: Fangers Komfortindex - EG_Gast-Arbeiten_Empfehlung.....	32
Abb. 3.1-5: Temperaturen - EG_Technik_Empfehlung.....	33
Abb. 3.1-6: Raumlufthqualität_Häufigkeitsverteilung - EG_Ankleide_Empfehlung	33
Abb. 3.1-7: Raumlufthqualität - EG_Schlafen_Empfehlung	34
Abb. 3.1-8: Raumlufthqualität - OG_Treppe_Empfehlung	35
Abb. 3.1-9: Raumlufthqualität - OG_Nähen-Musik_Empfehlung.....	35
Abb. 3.1-10: Rersonenunzufriedenheitsstunden_Empfehlung.....	37
Abb. 3.2-1: Vergleich der Soll-Werte für ein KfW-Effizienzhaus 40	38
Abb. 3.2-2: Tilgungszuschuss der KfW für Effizienzhäuser,	39

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1-1: Konstruktionen_Referenzgebäude	13
Tab. 1.2-1: Endenergieergebnisse der Konditionierung_Referenzgebäude	14
Tab. 1.2-1: Energiedaten der ausgewählten Gebäudehülle und Orientierung	25
Tab. 2.1-1: max. PPD in % der Zonen im Vergleich zwischen den Varianten.....	28

Begriffe

CO ₂	=	Kohlenstoffdioxid
EG	=	Erdgeschoss
EnEV	=	Energieeinsparverordnung
FBH	=	Fußbodenheizung
g	=	Gesamtenergiedurchlasswert
GEG	=	Gebäudeenergiegesetz
IDA ICE	=	IDA Indoor Climate and Energy
KfW	=	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LFT	=	Lüftung
OG	=	Obergeschoss
PI	=	proportional-integral
PMV	=	predicted mean vote
PPD	=	Predicted percentage of dissatisfied
ppm	=	parts per million
RLT-Anlage	=	raumluftechnische Anlage
SoSchu.	=	Sonnenschutz
U-Wert	=	Wärmedurchgangskoeffizient
VVS	=	variable Volumenstromregelung
WP	=	Wärmepumpe

1 Schaffung einer Grundlage

Um die späteren Ergebnisse der Optimierungen durch die verwendete Software besser einordnen zu können wird ein Referenzfall als Grundlage gebildet. Der Begriff des Referenzgebäudes ist bereits aus vergangenen Normen bekannt und wird auch weiterhin im aktuell gültigen GEG verwendet. Die spezifischen Vorgaben haben sich seit der „Energieeinsparverordnung 2013“ nicht wesentlich geändert. Mit der Ablösung der EnEV 2016 durch das GEG gab es für das Referenzgebäude die Neuerung, dass für Wohnhäuser und Nichtwohngebäude mit einer Raumhöhe von bis zu vier Meter keine Öl-Brennwertkessel mehr zur Verfügung stehen. Diese wurden für die Zukunft mit Erdgas-Brennwertkessel substituiert. Aufgrund der sonstigen Gleichheit wird zur besseren Übersicht die Tabelle der Anlage 1 der EnEV 2016 für die Erstellung einer fundierten Grundlage verwendet (enev-online.com, 2013).

1.1 Festlegung der Parameter des Referenzgebäudes

Betrachtet wird ein Zwei-Personen-Haushalt mit zwei Erwachsenen.

Da in den nachfolgenden Passagen auf die einzelnen Räume verwiesen wird, um die lokalen Schwachstellen des Gebäudes ausfindig zu machen und die entsprechenden Optimierungen treffen zu können, soll die Gebäudegeometrie in der Abb. 1.1-1 dargestellt werden. Die Geometrie und Gebäudenutzflächen sowie die Anordnungen der Räume werden in den finalen Ausarbeitungen überwiegend denen des Referenzgebäudes entsprechen. Gegebenenfalls werden die Fenstergrößen in den entsprechenden Himmelsrichtungen angepasst, um den direkten solaren Eintrag zu beeinflussen. Aus gleichem Grund sollen die Auswirkungen von verschiedenen Ausrichtungen des Gebäudes untersucht werden. Beim Referenzgebäude, wie es anhand der Normen zu verstehen ist sind die obigen genannten Parameter zwingend identisch mit dem nachzuweisenden Gebäude, um den maximal zulässigen Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung zu ermitteln. Deshalb ist dringend zu erwähnen, dass der hier verwendeten Ausdruck des Referenzgebäudes sich in seiner Sinnhaftigkeit von dem ursprünglich gegebenen Nutzens unterscheidet. Für diese Studienarbeit soll es reichen, eine spezifische Grundlage zu schaffen, um anschließend einen Anhaltspunkt für Vergleiche zu erlangen.

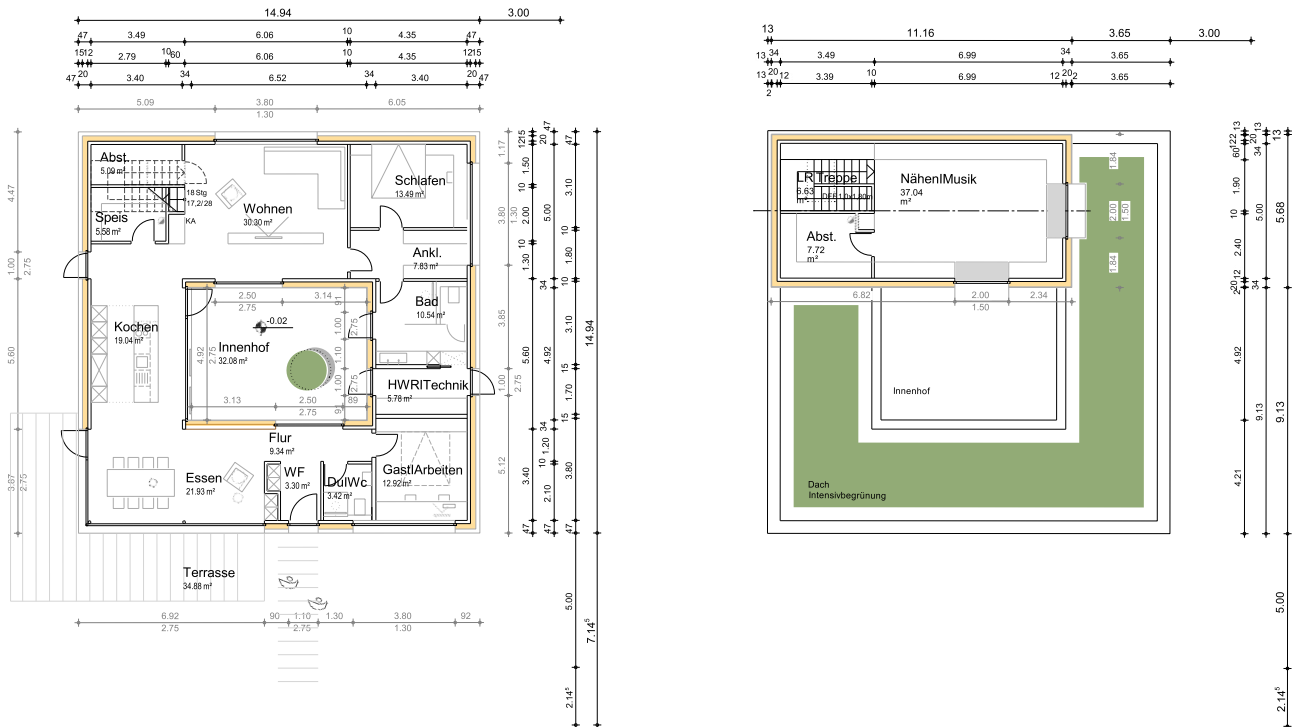


Abb. 1.1-1: Objektgeometrie in EG und OG

Die oben gezeigte Geometrie wurde in das Programm IDA ICE, welches zur Simulation der Gebäudeleistung verwendet wird, eingepflegt. Die Simulationsanwendung wird zu den multizonalen und dynamischen Untersuchungen von Raumklimaphänomenen sowie des Energieverbrauchs herangezogen und ist somit vielen, bisher üblichen, statischen Verfahren überlegen.

Für die zentrale Gebäudetechnik werden jeweils das vorgeschlagene Lüftungsgerät und die Wärme- und Kälteerzeuger verwendet. Jedoch wurde ein Lüftungsgerät für das Referenzgebäude noch nicht verbaut, da es nach den Simulationen der Software über die gesamte Zeit des Jahres zu keinen Übergradstunden kommen sollte. Eine Übergradstunde gibt an, dass die Temperatur im Innenraum den Schwellenwert von 26,5 °C für eine Stunde um ein Kelvin überschreitet.

Mit einer guten Wärmerückgewinnung aus der Abluft könnte man mittels einer Lüftungsanlage viel Energie einsparen, die über die natürliche Fensterlüftung verloren geht. Jedoch wird in diesem Fall noch darauf verzichtet, um so mit weniger Technik auskommen zu können. Stattdessen wird die Belüftung der Innenräume durch die stetige Temperaturregelung mit PI-Regler und einem Zeitplan veranlasst. Da die thermische Hülle

nach den aktuellen Vorgaben gedämmt ist, und somit kein sehr hoher Vorlauf für die Übergabesysteme der Heizung notwendig ist, sind die absoluten Verluste durch den Luftaustausch des Innenraumes überschaubar. Als Wärme- und Kälteerzeuger sind jeweils die vorgegebenen idealen Heiz- und Kühlelemente in folgenden Räumen installiert:

EG:

- *Wohnen-Kochen-Essen*
- *Dusche-WC*
- *Gast-Arbeiten*
- *Bad*
- *Ankleide*
- *Schlafen*

OG:

- *Nähen-Musik*

Die übrigen Räume, sowie der Innenhof, sind bisher nicht temperiert.

Bislang ist die Gebäudeseite, auf welcher sich der Essensbereich und die Terrasse befinden, gen Süden ausgerichtet. Grund hierfür ist der erhöhte passive solare Eintrag auf der größten verglasten Außenwandfläche, wodurch man eine höhere operative Temperatur im Wohnraum erreichen kann und daher vor allem in den Übergangszeiträumen weniger heizen muss.

Die Verglasung eines jeden Fensters stellt eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,55 und einem U-Wert von $1,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ zuzüglich des Rahmens dar.

An der Außenseite sind fensterintegrierte Jalousien als SoSchu. angebracht, welche durch die eintreffende Solarstrahlung reagieren und somit automatisch betätigt werden können. Diese solaren Wärmegewinne sind unter „Systemparameter“ auf $200 \frac{W}{m^2}$ reduziert worden, damit die Verdunkelung einsetzt, bevor zu viel Wärmeeintrag stattgefunden hat. Abgesehen davon wurden keine weiteren Abweichungen von den Standardeinstellungen vorgenommen.

Um realistisch simulieren zu können, sind Zeitpläne für verschiedene Parameter festzulegen, sodass 15 min-genau feststeht, zu welcher Zeit und wie lange an welchen Tagen bspw. welches Gerät in welchem Raum eingeschaltet ist. Die Zeitpläne für den Personenaufenthalt, der Gerätenutzung und des Kunstlichts sowie der Fensterlüftung sind im Anhang zu finden. Die Zeitpläne werden nicht mehr geändert, sind also für alle folgenden Varianten, die zur Optimierung des Gebäudes vorgeschlagen werden, dieselben. Aufgrund der ähnlichen Nutzung liegen teilweise für unterschiedliche Räume die gleichen Zeitpläne (+ deren Name) vor. Dezimalangaben bezüglich der Anzahl von Geräten oder Personen sollen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Raum nicht jede Woche in der gewählten Weise genutzt wird, berücksichtigen.

Innerhalb des Bereiches der „Vorgabewerte“ wurde sich für das Referenzgebäude für die in der Tab. 1.1-1 ersichtlichen Konstruktionen mit den dazugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten entschieden. Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit durch die Fläche eines Quadratmeters eines Bauteiles bei einem Temperaturunterschied eines Kelvins hindurchgeht. Er wird in der Einheit $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ angegeben. Es ist zu erkennen, dass manche Werte höher oder niedriger als die Schwellenwerte der zuletzt geltenden EnEV sind. Insgesamt wurde darauf geachtet, jeweils die Konstruktion für das Referenzgebäude auszuwählen, welche am nächsten an diesen herankommt. Schließlich scheinen sich die Schwankungen überwiegend zu kompensieren.

Tab. 1.1-1: Konstruktionen_Referenzgebäude

Bauteil	Name	U-Wert in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Außenwände	Außenwand-Standard	0,2644
Innenwände	Innenwand ohne Isolierung (Beispiel)	1,707
Zwischendecken	Dachboden gedämmt Standard	0,2096
Dach	Dach mit Aufsparrendämmung	0,1659
Flachdach	Begrüntes Flachdach ¹	0,1109
Bodenplatte	Kellersohle gedämmt 1	0,3194
Kellerwand gegen Erdreich	Ziegel-/Betonwand mit Dämmung (Beispiel)	0,3721
Bodenplatte gegen Erdreich	Kellersohle gedämmt 1	0,3194
Verglasung + Rahmen	Pilkington Optitherm S3	1,1
Türen	Entrance door	1,085

1.2 Auswertung der Ergebnisse des Referenzgebäudes und Detektion von Schwachstellen

Die eingegebenen Parameter entsprechen dem Stand der Technik. Das Zusammenwirken der gewählten Konstruktionen und der technischen Gebäudeausrüstungen ist hinreichend, um den Vorgaben des GEG für einen Neubau gerecht zu werden.

Um aussagekräftige Schlüsse zu der entworfenen Basis für die anstehenden Modellierungen treffen zu können, wird die Simulation durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tab. 1.2-1 dargestellt.

¹ Siehe Anhang

Tab. 1.2-1: Endenergieergebnisse der Konditionierung_Referenzgebäude

Kategorie	Maximal erf. Leistung in kW	ges. Endenergiebedarf in $\frac{kWh}{a}$	ges. Endenergiebedarf in $\frac{kWh}{m^2 \cdot a}$
Kühlen	11,0	3.885,1	16,5
Heizung	5,851	16.104,1	68,3
Total ²		27.224,9	115,4

Bei der Tab. 1.2-1 der Endenergieergebnisse fällt auf, dass die maximal erforderliche Leistung eines Kühlelements deutlich höher (in etwa das 2,7-fache) ausgelegt sein muss als die des entsprechenden Heizelements. Jedoch ist der Endenergiebedarf für die Heizung um das 3,7-fache höher als der für die Kühlung. Begründen lässt sich diese Erscheinung mit der Abb. 1.2-1, welche die Auslastung über den gesamten Bilanzierungszeitraum von einem Jahr aufgetragen zeigt. Es wird ersichtlich, dass die Kühlung in den Sommermonaten eine deutlich höhere Leistung benötigt, um auf die gewünschte Innenraumtemperatur von 25 °C zu gelangen. Gründe hierfür sind die mäßig effektive Belüftung der Räume, die geringe Luftwechselrate von $0,2 \frac{1}{h}$ und vor allem der sehr hohe passive Solareintrag. Die außenliegenden Jalousien verdunkeln zwar bei einer verhältnismäßig geringen Einstrahlung von $200 \frac{W}{m^2}$, jedoch findet an den umliegenden Bauteilen ausreichend viel Erwärmung statt, sodass Wärmestrahlung durch die standardmäßige Erwärmung der Wände ausreicht, um eine unverhältnismäßig hohe Kühllast zu fordern. Infolge der hohen erforderlichen Leistung überkompensiert die Kühlaufgabe die wenigen Tage, in welchen es in den Innenräumen einer Herabsenkung der Temperatur bedarf.

Dieselben Dämmmaßnahmen fordern eine geringere Zufuhr an Wärme in den kälteren Jahreszeiten. Ein entscheidender Grund hierfür ist, dass der Sollwert für das Heizen lediglich auf 21 °C eingestellt ist.

Um insgesamt Energie am effektivsten sparen zu können gilt es insbesondere die Spitze bei der erforderlichen Kühllast und die Dauer der zu heizenden Tage zu reduzieren.

²Summe aus: Electric cooling, HVAC aux, Electric heating, Fuel heating, Equipment, tenant, PV production, CHP electricity.

Gesamtheiz- und kühlleistung

Von 01.01.2021 bis 31.12.2021

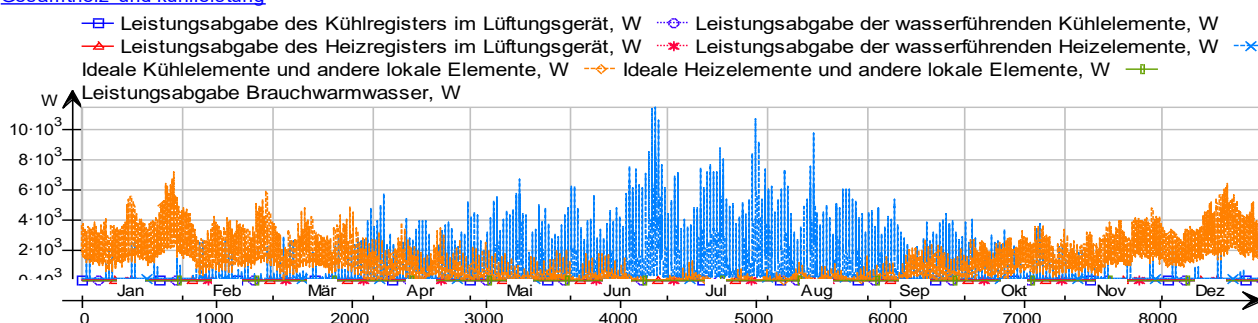


Abb. 1.2-1: Gesamtheiz- und Kühlleistung_Referenzgebäude

Im Folgenden werden die raumspezifischen Diagramme der „Temperaturen – Schlüsselwerte“, „Raumluftqualität“ und des „Fangers Komfortindex“, welcher den PPD- und PMV-Wert veranschaulicht, betrachtet. Der nach der durchgeführten Simulation entstehende Graph veranschaulicht die ausgewerteten Messwerte über ein gesamtes Jahr, beginnend am 01. Januar. Für den nachfolgenden Absatz sind die beiden Begriffe PPD und PMV zu erläutern. Der PPD lautet ausgeschrieben *predicted percentage of dissatisfied* und beschreibt somit den prozentualen Anteil der, aufgrund des Raumklimas, unzufrieden gestellten Leute. Er sollte unter zehn Prozent liegen. Der PMV-Wert beschreibt die erwartete durchschnittliche Empfindung und heißt ausgeschrieben *predicted mean vote*. Seine Skala geht von -3 bis $+3$, wobei eine negative Wertung für „zu kalt“ steht, eine positive für „zu warm“. Laut Norm sollte der Wert zwischen $-0,5$ und $+0,5$ liegen.

Folgend wird nur auf Besonderheiten in den verschiedenen Zonen aufmerksam gemacht.

Die operative Temperatur beschreibt die empfundene Temperatur für einen Gebäudenutzer. Sie ist das Zusammenwirken der tatsächlichen Temperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen. In dem Beispiel der Zone *Wohnen-Kochen-Essen* bewegt sie sich ganzjährig zwischen $20,31$ und $25,89$ °C. Durch die Temperierung schwankt die Lufttemperatur kaum um die vorgegebenen Sollwerte. Bei der operativen Temperatur ist ein geringer Anstieg festzumachen. Dieser lässt sich anhand der erhöhten Strahlungswärme erklären.

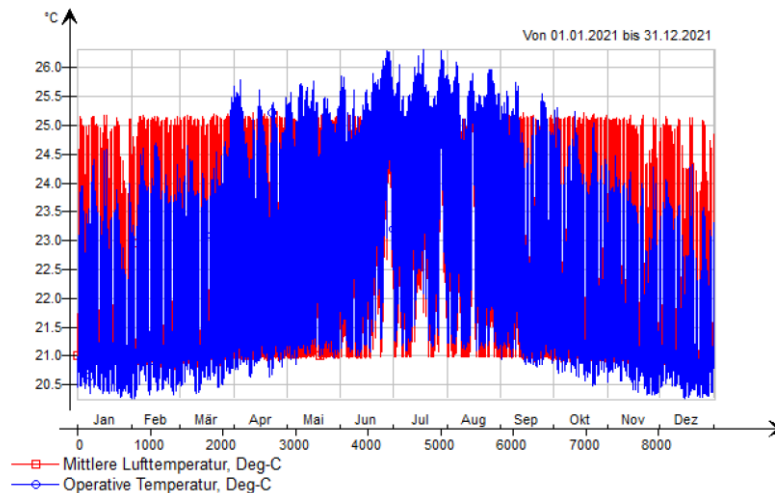


Abb. 1.2-2: Temperaturen - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Referenzgebäude

Noch eindrücklicher ist die Darstellung der Häufigkeitsverteilung (Abb. 1.2-3) aller auftretenden Temperaturen innerhalb eines Raumes in besagter Zone. Hier sind die eingestellten Sollwerte der Heizung und Kühlung deutlich als Terrassenpunkte des Graphen herauszulesen. Der Anstieg der beiden Temperaturen ist mit der Übergangszeit zu erklären, wenn es allmählich zu warm wird, sodass die Fensterlüftung nicht mehr ausreicht, um die Innenraumlufttemperatur auf 21 °C zu halten, die 25 °C jedoch noch nicht überschritten sind, weshalb die Kühlung noch ausgeschaltet ist. Es sind für den Graphen einige wenige Temperaturen zu erkennen, die vom behaglichen Sollwert abweichen.

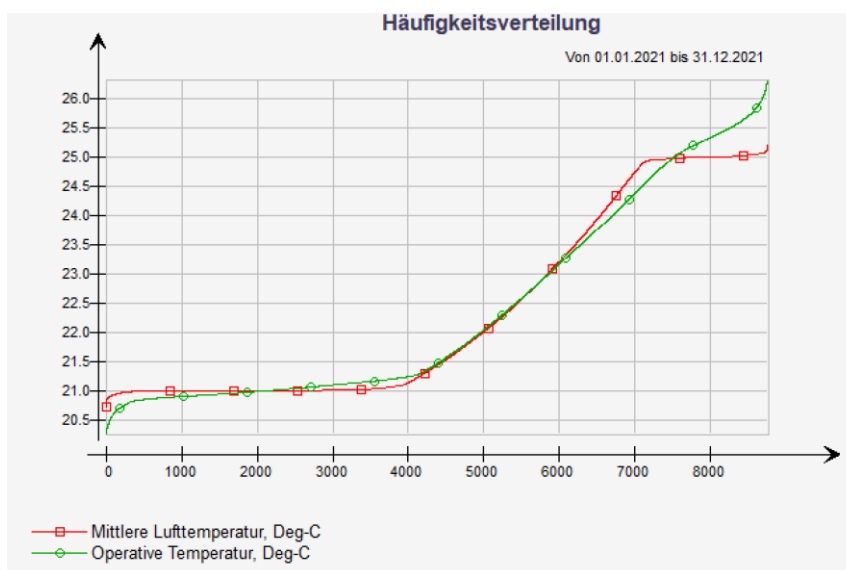


Abb. 1.2-3: Temperaturen_Häufigkeitsverteilung - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Referenzgebäude

Mit Sicht auf die Abb. 1.2-4 bestätigt sich der obige Eindruck. Der PPD-Wert ist in seinem Maximum 8,96 Prozentpunkte über dem Schwellenwert von zehn Prozent an unzufriedener Gebäudenutzer. Der PMV erklärt, dass in den kälteren Jahreszeiten ein Teil der Personen etwas zu kalt sein wird.

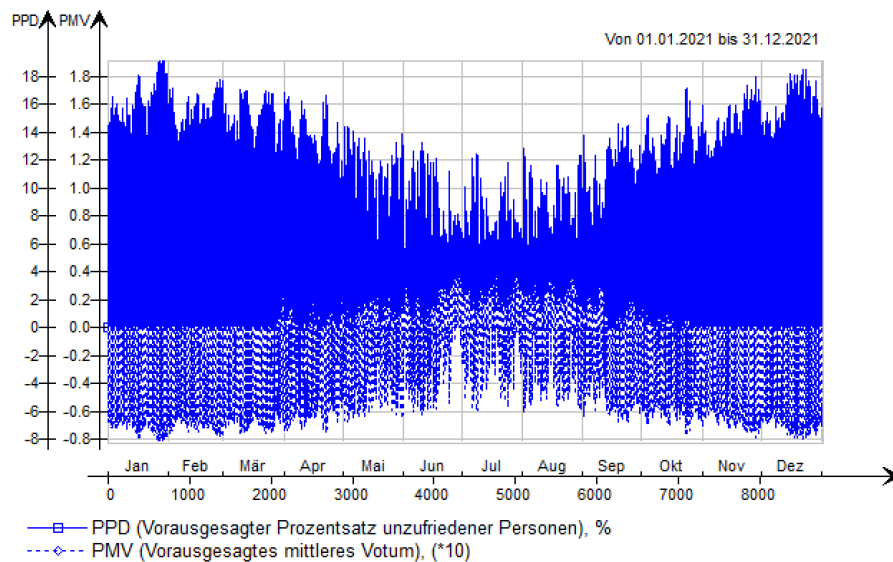


Abb. 1.2-4: Fangers Komfortindex - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Referenzgebäude

Im Raum *Gast-Arbeiten* kommt es das ganze Jahr über des Öffneren zu einem erhöhten Luftalter, wie in der Abb. 1.2-5 zu sehen ist. Dies könnte vor allem an der geringen Öffnung der Türen und somit der moderaten Lüftung liegen. Weitere Maßnahmen werden im weiteren Verlauf untersucht. Der PPD ist in den warmen Sommermonaten in der Spitze um etwa zwölf Prozentpunkte (von 18 % auf sechs Prozent) niedriger. Anhand des PMVs in der Abb. 1.2-6 lässt sich der Rückschluss darauf ziehen, dass die operative Temperatur im Winter, trotz erreichter Sollwerte, als etwas zu gering empfunden wird.

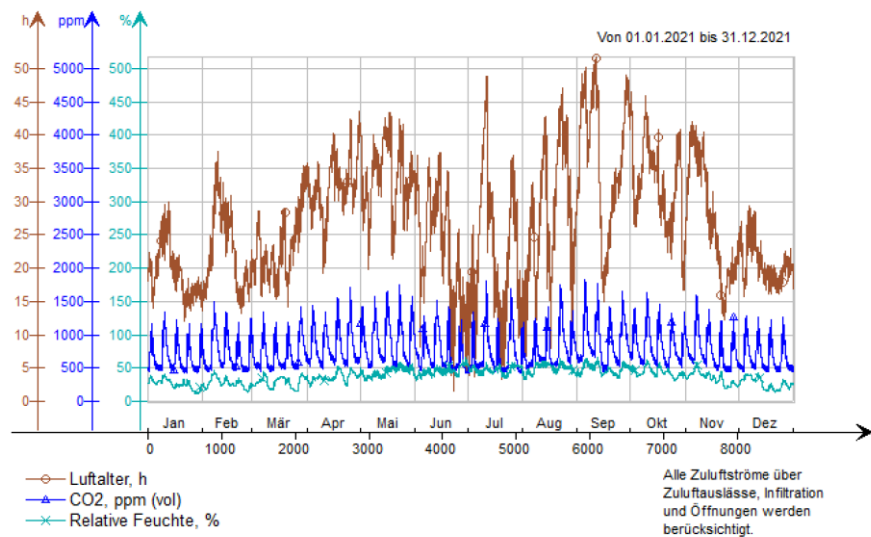


Abb. 1.2-5: Raumlufthaltigkeit - EG_Gast-Arbeiten_Referenzgebäude

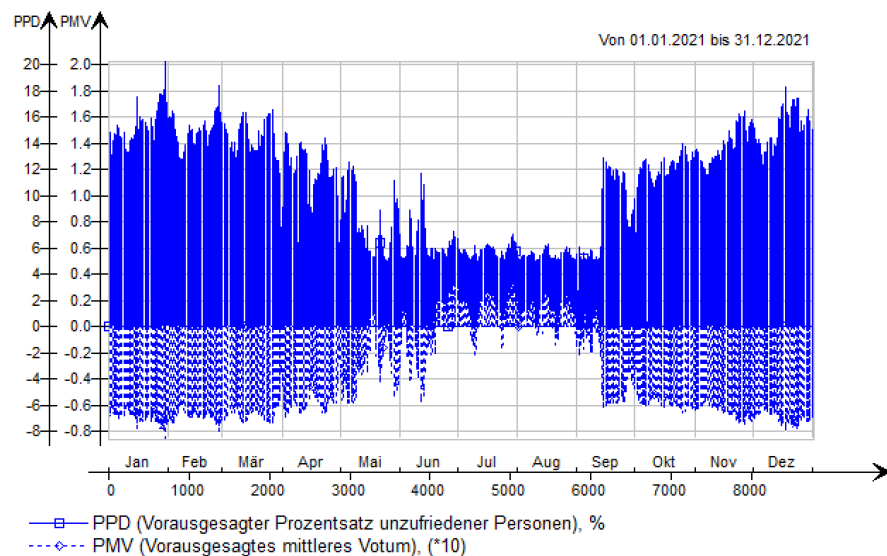


Abb. 1.2-6: Fangers Komfortindex - EG_Gast-Arbeiten_Referenzgebäude

Die Temperaturkurven des *Technikraumes* im Erdgeschoss weisen große Differenzen innerhalb des Bilanzierungszeitraumes auf. Zum einen liegt das daran, dass in dem Raum kein Fenster eingebaut ist. Die Lüftung fungiert bislang ausschließlich über die PI-geregelte Fensteröffnung. Zum anderen kommt auf den kleinen Raum von 15,9 m³ die interne Wärmelast von 200 W Abwärme der Heizungsanlage. Das Zusammenspiel dieser beiden Komponenten führt zu einer Überhitzung in den Sommermonaten, was in der Abb. 1.2-7 zu sehen ist.

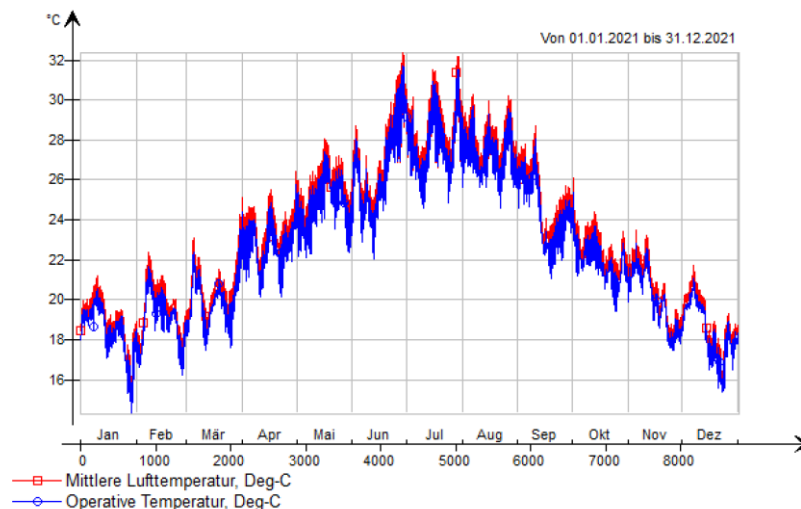


Abb. 1.2-7: Temperaturen - EG_Technik_Referenzgebäude

In der *Ankleide* kommt es zu einer zu hohen Konzentration an CO₂, welche im angestrebten Optimierungskonzept zu vermeiden ist. In diesem Fall wurde die Häufigkeitsverteilung der Raumluftqualität (Abb. 1.2-8) verwendet, um die Anzahl der Spitzen realistisch einschätzen zu können. Nach Ablesen der Überschreitung des Schwellenwertes von 1.000 ppm der Dauerlinie bei 6.930 h ergeben sich insgesamt 1.830 h, in welchen die Luftqualität als hygienisch bedenklich gilt. Gegenmaßnahmen sind hiermit zwingend zu ergreifen. Die Sichtung der chronologisch korrekten Ganglinie lässt die genannte Erscheinung eher den kälteren Monaten zuordnen.

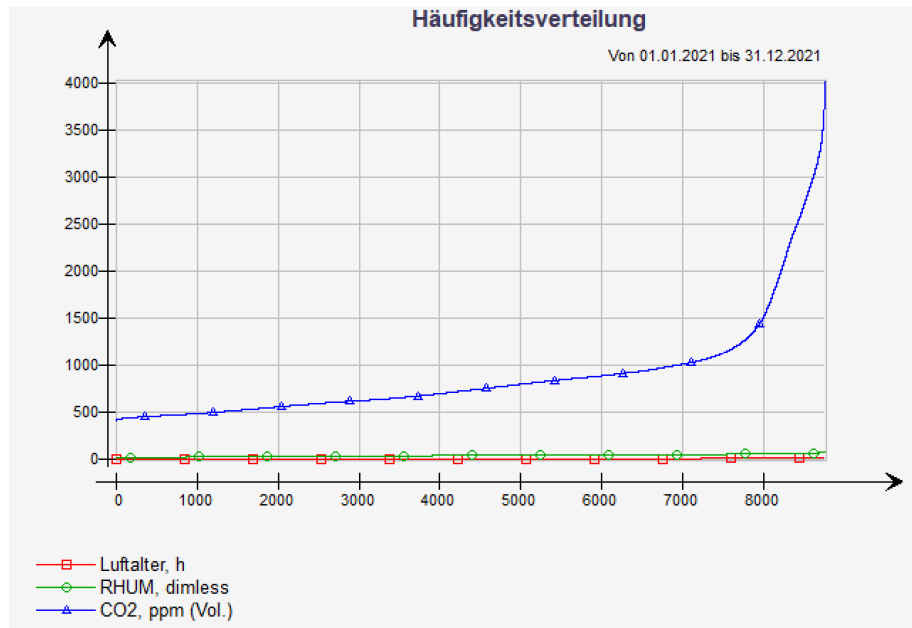


Abb. 1.2-8: Raumluftqualität_Häufigkeitsverteilung - EG_Ankleide_Referenzgebäude

Aufgrund der langen Aufenthaltsdauer von zwei Personen sollte die Luftwechselrate in der Zone *Schlafen* erhöht werden. In der Abb. 1.2-9 fällt auf, dass die CO₂-Konzentration und das Luftalter in dem Raum fast stetig zu hoch sind. Überschreitet die Konzentration 1.000 ppm in der Rauminnenluft, dann wird der Zustand als hygienisch bedenklich bezeichnet und erfordert Gegenmaßnahmen. Die Mittelwerte liegen zwar nur bei 14,06 h und 2.355,6 ppm, sollten aber dennoch unbedingt verringert werden, da es sonst zu gesundheitlichen Gefährdungen kommen wird.

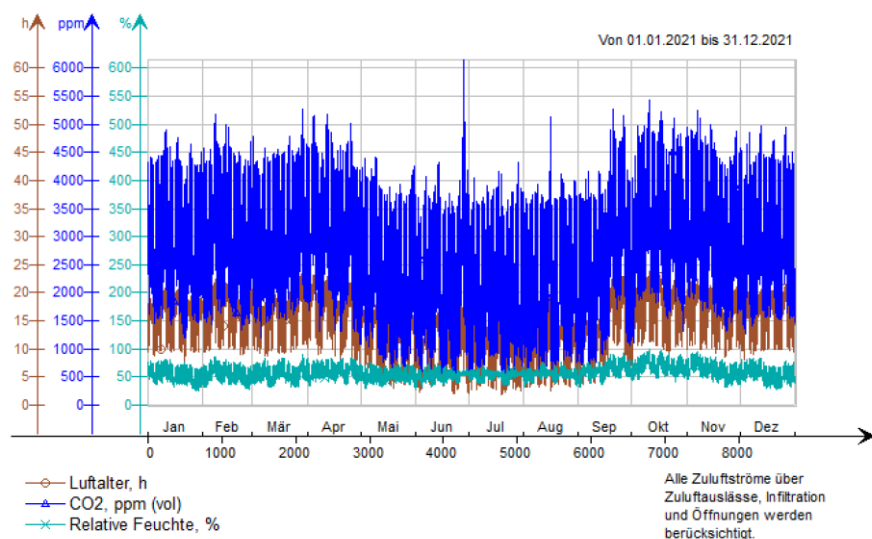


Abb. 1.2-9: Raumluftqualität - EG_Schlafen_Referenzgebäude

Aufgrund der geringen zeitlichen Nutzung der Verkehrsfläche *OG_Treppe* steigt das Luftalter zu sehr an, wie in der Abb. 1.2-10 illustriert ist. Dadurch, dass keine Personen in dem Zeitplan der selten genutzten Zone eingepflegt wurden, sondern nur die Innentüre für die entsprechenden Zeitpunkte kurz geöffnet ist, steigt die CO₂-Konzentration nicht direkt proportional mit dem Luftalter an.

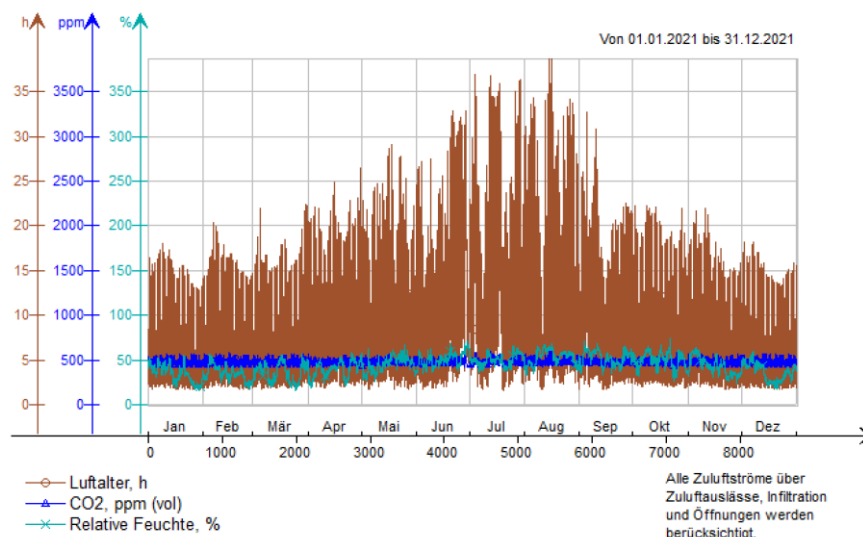


Abb. 1.2-10: Raumlufthqualität - OG_Treppe_Referenzgebäude

Im *OG_Nähen-Musik* kommt es ebenfalls zu einem auffallend hohen Luftalter, wie in der Abb. 1.2-11 zu sehen ist. Der Mittelwert beträgt 24,47 h. Der CO₂-Gehalt steigt auch hier nicht außerordentlich hoch, da der Raum weniger intensiv besucht wird.

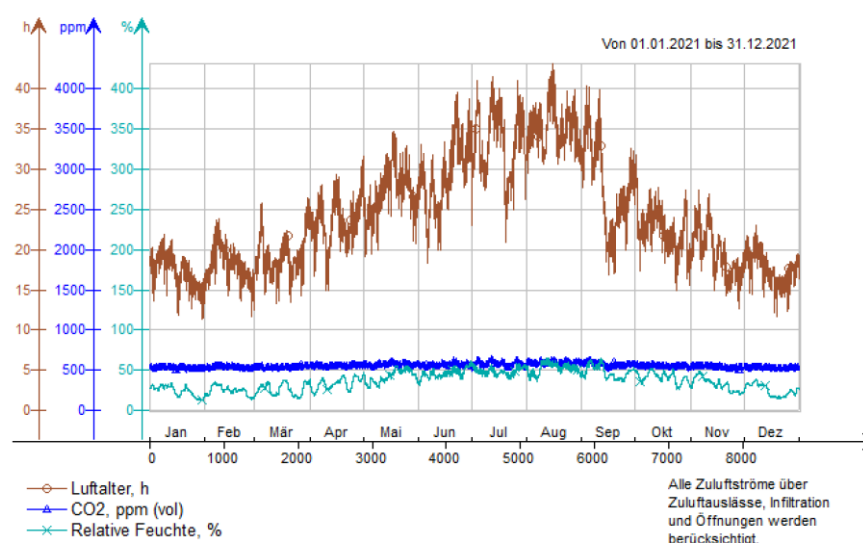


Abb. 1.2-11: Raumlufthqualität - OG_Nähen-Musik_Referenzgebäude

Abschließend sind in der Abb. 1.2-12 die Stunden für jede Zone aufsummiert, in welchen die Personennutzer nicht ausreichend zufrieden mit den räumlichen Konditionierungen sind. Diese Stunden gilt es, wenn möglich mit sinnvollen und verhältnismäßigen Maßnahmen, zu reduzieren.

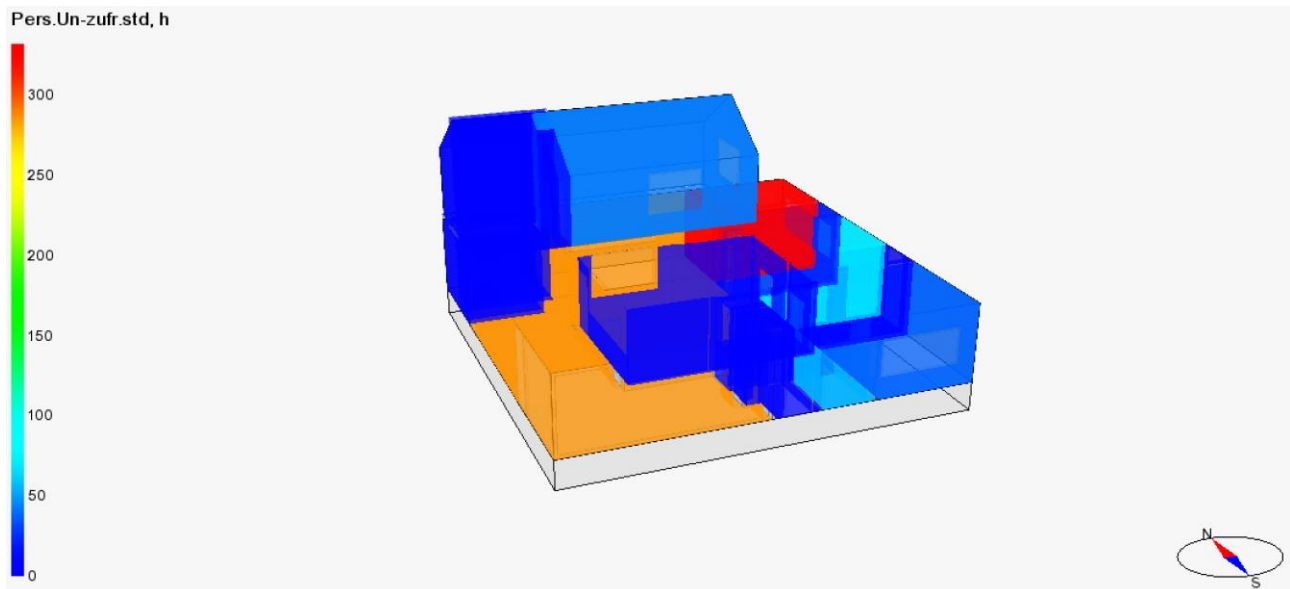


Abb. 1.2-12: Personenunzufriedenheitsstunden_Referenzgebäude

2 Bestimmung von Maßnahmen zur Optimierung des Gebäudes und Findung von Varianten

Mit der zur Verfügung stehenden Ausrüstung ist eine vollständige Variation aller Möglichkeiten nicht durchsetzbar.

Die **Ausrichtung** hat vier- (Nord, Ost, Süd, West),

der **integrierte SoSchu.** hat drei- (kein integrierter SoSchu., Jalousie (außen) und Jalousie (innen)),

die **Steuerung des SoSchu.** hat drei- (immer geschlossen, Zeitplan, Solarstrahlung + Zeitplan),

der **Zeitplan für integrierten SoSchu.** hat drei- (immer geschlossen, nie geschlossen, Zeitplan 07-19_SoSchu.)

und die **Steuerung der Fensteröffnung** hat zwei Optionen (nie geöffnet, stetige Temperaturregelung (PI) + Zeitplan).

Das Programm berechnet jede Option mit wiederum jeder Möglichkeit aller implementierten Maßnahmen. Allein für ein Fenster würde dies in diesem Fall 78 Berechnungen und Simulationen bedeuten. Aus diesem Grund werden die Fenster und die dazu gehörigen Vorrichtungen für das komplette Gebäude mit den effektivsten / sinnvollsten Maßnahmen ausgerüstet und fortan nicht weiter variiert:

- Integrierter SoSchu.: **Jalousie (außen)**
- Steuerung des SoSchu.: **Solarstrahlung + Zeitplan**
- Zeitplan für integrierten SoSchu.: **Zeitplan 07-19_SoSchu.**
- Steuerung der Fensteröffnung: **stetige Temperaturregelung (PI) + Zeitplan**

Die Ausrichtung wird mit den übrigen Maßnahmen simuliert.

Bislang sind die Türen immer dann geöffnet, wenn das Licht in den entsprechenden Räumen eingeschalten ist. Für die nachfolgenden Simulationen wird kein weiteres Konzept angesteuert. Gegebenenfalls soll mit einer realistischen Daueröffnung in entsprechenden Räumen nachgesteuert werden.

Es werden mehrere parametric runs durchgeführt. Entscheidender Unterschied dabei wird die Gebäudetechnik sein, welche sich von Modell zu Modell ganzheitlich unterscheiden wird, um Variationen zu vermeiden, in denen verschiedene Räume innerhalb eines Modells unterschiedliche Übergabesysteme für bspw. die Heizung haben.

Die Ausgabeparameter bleiben konstant:

- Maximal erforderliche Kühlleistung
- Maximal erforderliche Heizleistung
- Durch das Kühlen benötigte jährliche Energie
- Durch das Heizen benötigte jährliche Energie
- Insgesamt benötigte Endenergie
- Maximal auftretende PPD in allen Aufenthaltsräumen

Eingabeparameter:

Parametric run 1 – FBH:


- Dach
- Außenwände
- Kellerwände gegen Erdreich
- Bodenplatte gegen Erdreich
- Ausrichtung

Bei der Auswahl der Konstruktionen für die Gebäudehülle wurde darauf geachtet, dass sich der U-Wert an den Vorgaben für ein KfW-Effizienzhaus 40 orientiert.

In diesem Modell wurde als Übergabesystem das wassergeführte Heizen-/Kühlen Bauteil in den Boden der beheizten Zonen eingesetzt, um die idealen Heiz- und Kühlelemente zu ersetzen.

Aufgrund des beachtlichen Rechenaufwandes wird sich nach erfolgreicher Beendigung der Simulationen des parametric runs auf das effizienteste- und behaglichste Modell festgelegt. Für die weiteren Variationen bleiben die thermische Gebäudehülle und die Ausrichtung des Gebäudes gleich. Es werden nur noch das Übergabesystem der Wärme und Kälte, die Lüftungsanlage und die Zeitpläne für das Öffnen von Türen und Fenster abgeändert.

Aus den Ergebnissen des ersten parametric runs konnten Erkenntnisse über die optimale Wahl der Konstruktionen der Gebäudehülle und der Ausrichtung getroffen werden. Sie sieht wie folgt aus:

- Dach: 40_begrüntes Flachdach2
- Außenwände: 40_Außenwand
- Kellerwände gegen Erdreich: 40_Ref_Ziegel-/Betonwand mit Dämmung (Beispiel 1)
- Bodenplatte gegen Erdreich: 40_Bodenplatte gedämmt1
- Ausrichtung: 0,0 ()

Es wurde sich vor allem aufgrund der energetischen Vorzüge für diese Gebäudehülle und Ausrichtung entschieden. Diese sind in der Tab. 1.2-1 aufgetragen

Tab. 1.2-1: Energiedaten der ausgewählten Gebäudehülle und Orientierung

Max. Kühlleistung	Max. Heizleistung	Energieverbrauch Kühlen	Energieverbrauch Heizen	Ges. Verbrauch	Endenergie-
4,943 kW	4,345 kW	2.093,3 $\frac{kWh}{a}$	7.835,6 $\frac{kWh}{a}$	21.229,2 $\frac{kWh}{a}$	90,02 $\frac{kWh}{m^2*a}$

Parametric run 2 – FBH + LFT:

- FBH wie bei Variante 1,
- Die Fenster bleiben nun dauerhaft verschlossen und
- Eine zentrale Wohnraumlüftungsanlage wurde in folgenden Räumen installiert:
 - o Wohnen – Essen – Kochen (VVS, temp. + CO₂ geregelt),
 - o Dusche – WC (VVS, feuchtegeregelt),
 - o Gast – Arbeiten (VVS, temp. + CO₂ geregelt),
 - o Technik (VVS, temp. geregelt),
 - o Bad (VVS, feuchtegeregelt),
 - o Ankleide (VVS, temp. + CO₂ geregelt) und
 - o Schlafen (VVS, temp. + CO₂ geregelt).

Parametric run 3 – Radiatoren + Kühlelement:

- Wasserführende Radiatoren - wenn möglich - unterhalb der Fenster,
- Kühlelemente in Räumen mit Tendenz zur Überhitzung und
- Fensterlüftung: stetige Temperaturregler (PI) + Zeitplan.

Parametric run 4 – Deckensegel + LFT:

- In abgehängten Decken Heizen-/Kühlen Bauteil,
- Die Fenster bleiben nun dauerhaft verschlossen und
- Zentrale Wohnraumlüftungsanlage in folgenden Räumen:
 - o Wohnen – Essen – Kochen (VVS, temp. + CO₂ geregelt),
 - o Dusche – WC (VVS, feuchtegeregelt),
 - o Gast – Arbeiten (VVS, temp. + CO₂ geregelt),
 - o Technik (VVS, temp. geregelt),
 - o Bad (VVS, feuchtegeregelt),
 - o Ankleide (VVS, temp. + CO₂ geregelt) und
 - o Schlafen (VVS, temp. + CO₂ geregelt).

Parametric run 5 – FBH + Türen:

- FBH wie bei Variante 1,
- Fensterlüftung: stetige Temperaturregler (PI) + Zeitplan und
- Türen zu beheizten Räumen sind immer geöffnet.

Die Wärme- und Kälteerzeuger sind stets gleich und ändern sich innerhalb der verschiedenen Varianten nicht. Die Erzeuger der Anlagentechnik (Abb. 1.2-1) sind wie folgt aufgebaut:

- Heizen: Solarthermie (8 m²), Sole-Wasser-WP (Erde), Fernwärme, Pufferspeicher (1.000 l),
- Kühlen: Kältemaschine (COP Kälte: 3) und
- Strom: Photovoltaik (10 m²), auf dem begrünten Flachdach aufgeständert.

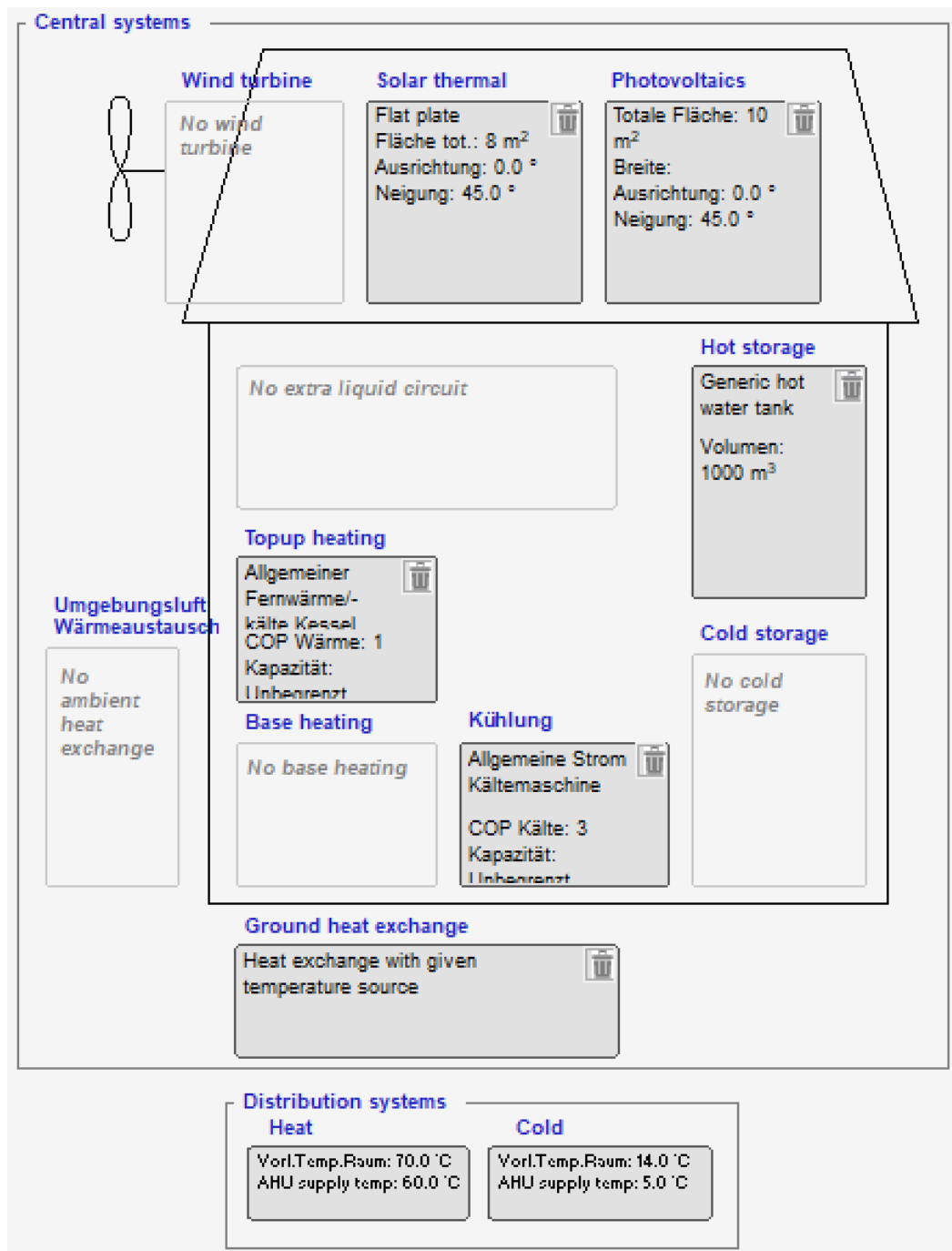


Abb. 1.2-1: Wärme- und Kälteerzeuger des Wohnhauses

2.1 Auswertung und Bewertung der Varianten

Um eine konkrete Empfehlung ausarbeiten zu können, werden die fünf Konzepte hinsichtlich der zu erwartenden Unzufriedenheit der Gebäudenutzer in den Aufenthaltsräumen verglichen. Jene Variante, die am besten abschneidet, wird anschließend aufbereitet, um den Mehrwert gegenüber des Referenzgebäudes aus Absatz 1.2 deutlich zu machen.

Die PPD-Werte aus den Ausgabewerten der fünf parametric runs wurden in der Tab. 2.1-1 zusammengetragen. Den Zeilen entlang sind alle Zonen aufgetragen, in welchen sich Personen aufhalten. Die zu empfehlende Variante wird ausgewählt, indem pro Zone der beste PPD-Wert farblich markiert wird. Die Variante mit den meisten grün hervorgehobenen Feldern soll zum Vergleich mit dem Ausgangsfall des Referenzgebäudes konkretisiert und erneut vollständig simuliert werden.

Tab. 2.1-1: max. PPD in % der Zonen im Vergleich zwischen den Varianten

par. run	Wohnen-Kochen-Essen	Dusche-WC	Gast-Arbeiten	Bad	Ankleide	Schlafen	Nähen-Musik
1	35,63	14,93	15,52	15,20	14,72	15,28	15,88
2	39,51	14,91	15,67	15,26	15,52	15,20	15,76
3	42,27	15,35	16,14	15,15	16,39	16,27	15,34
4	64,89	15,01	15,78	14,93	15,17	15,23	15,73
5	34,06	14,03	15,42	14,67	14,86	16,79	13,83

Die Auswertung der Tab. 2.1-1 ergibt, dass die Variante 5 die wenigsten Gebäudenutzer in den wenigsten Zonen unzufrieden stimmt.

Infolgedessen wird die im Absatz 2 beschriebene Ausführung nochmals genauer simuliert.

Merkmale des fünften parametric runs waren:

- Wassergeführte Heizen-/Kühlen Bauteil im Boden der beheizten Zonen,
- Fensterlüftung: stetige Temperaturregler (PI) + Zeitplan und
- Türen zu beheizten Räumen sind immer geöffnet.

3 Vorschlag zur auszuführenden Variante

Es wird die Variante vorgeschlagen, welche sich als der fünfte parametric run am energieeffizientesten und beim Vergleich untereinander als behaglichsten herauskristallisiert hat. Als Übergabesystem für Wärme und Kälte sind im Boden wasserführende Flächensysteme integriert.

Eine RLT ist nicht verbaut. Der Luftaustausch mit der Außenluft findet über PI-geregelte Fensteröffnungen und einem zusätzlichen Zeitplan statt. Zusätzliche Luftverteilung wird dadurch erzielt, dass die Türen in den beheizten Räumen ständig geöffnet sind.

In den Nasszellen des Gebäudes und dem Arbeitsraum sind die Türen dann geschlossen, wenn der entsprechende Zeitplan eine Nutzung vorsieht. Dies soll zum einen die besonderen Ansprüche durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit auf die dafür ausgelegten Zonen beschränken und zum anderen den Raumnutzer des Arbeitsraumes geräuschtechnisch vom Rest der Aufenthaltsräume entkoppeln.

Nach einer ersten Simulation der Variante fünf waren die Zone *Schlafen* und *Nähen-Musik* noch nicht optimal. In Beiden waren vereinzelt zu hohe Konzentrationen an Kohlenstoffdioxid in der Luft. Um diese potenzielle Gefahr zu beseitigen und die Behaglichkeit der beiden Räume auf dasselbe Niveau wie im restlichen Wohngebäude zu steigern, ist es ratsam für die betroffenen Bereiche eine RLT-Anlage nachzurüsten. Die Lüftungsanlage soll mit einem PI-Regler und dem bekannten Zeitplan gesteuert werden. Um den technischen Aufwand gering zu halten, werden keine weiteren Räume lufttechnisch behandelt.

3.1 Analyse und Vergleich mit dem Referenzgebäude

In der Abb. 3.1-1 ist die Gesamtheiz- und Kühllast der empfohlenen Modellvariante aufgetragen. Vergleicht man diese mit der Abb. 1.2-1 stellt man fest, dass das erklärte Ziel, die großen Lastspitzen der Kühlung abzuflachen, erfüllt worden ist. Die maximal erforderliche Leistung sinkt von 11,0 kW auf 4,943 kW. Durch die Reduzierung von mehr als 50 % sind deutlich geringere Investitionskosten im Gewerk der Kühlung zu leisten.

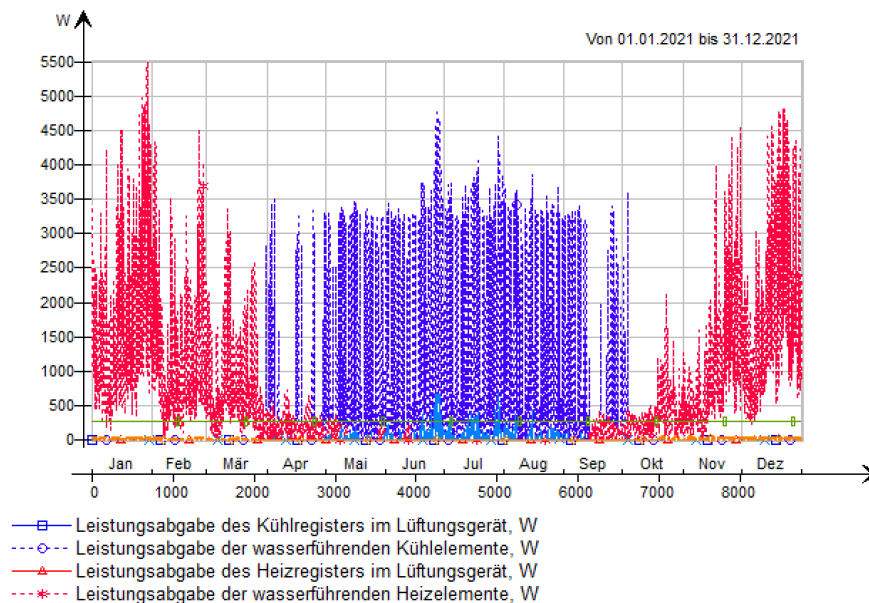


Abb. 3.1-1: Geamtheiz- und Kühlleistung_Empfehlung

In der Abb. 1.2-4 wurde der PPD-Wert der Zone *Wohnen-Kochen-Essen*, zusammen mit dem PMV, über das Jahr verteilt angegeben. In der Abb. 3.1-2 ist das gleiche Diagramm für die Empfehlung aufgetragen. Auffallend sind hier die vermeintlich großen Spitzen im Hochsommer auf bis zu 34,06 %. Jedoch ist zu erwähnen, dass dies der geringste PPD-Wert in den fünf vorgestellten Varianten ist. Darüber hinaus beträgt der jahresbezogene Mittelwert nur noch 5,461 % und ist somit nur knapp die Hälfte des erlaubten Schwellenwertes nach Norm.

Die Unbehaglichkeit im Sommer kommt von den bis zu 627,6 Übergradstunden, die in dieser Zone auftreten. Insgesamt kommt es zu 659,2 Übergradstunden in dem Gebäude. Für das gesamte Gebäude sind, bei Normbedingungen (DIN 4108-2, 2002), 1.200 Übergradstunden erlaubt. Die erhöhten Temperaturen entstehen durch die besseren Dämmungen der gesamten Gebäudehülle, wodurch weniger Wärme durch Transmission verloren geht. Die Wärme bleibt also länger im Innenraum. Der PMV beträgt in seinem absoluten Extremum (Mittelwert von Juli) 0,2348. Es bewegen sich also beide Werte innerhalb der Norm.

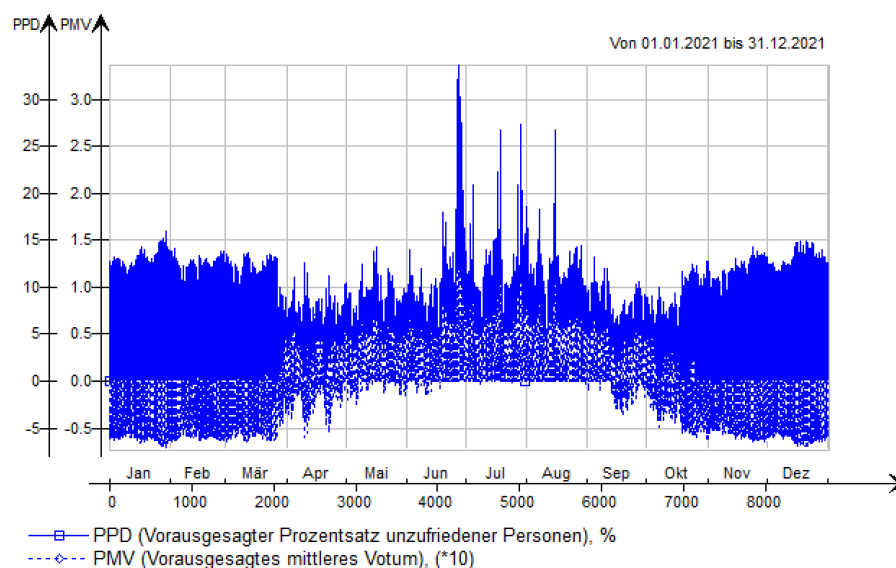


Abb. 3.1-2: Fangers Komfortindex - EG_Wohnen-Kochen-Essen_Empfehlung

In den Abb. 1.2-5 und Abb. 1.2-6 wurden die Schwächen der Zone *Gast-Arbeiten* deutlich. Mit der regelmäßigen Öffnung der Tür konnte das Luftalter erheblich reduziert werden. Dieses beträgt im Mittel nun nur noch 8,365 h. Zudem war es möglich die aufkommende CO₂-Konzentration zu vermindern, wie in der Abb. 3.1-3 zu sehen ist. Das absolute Extremum liegt bei knapp 1.300 ppm. Der Mittelwert beträgt lediglich noch 743,7 ppm.

Auch der PPD konnte deutlich verbessert werden. Dieser wurde auf maximal 14,2 % verringert und liegt somit knapp vier Prozentpunkte unter dem Ausgangsfall des Referenzgebäudes. Der Mittelwert beträgt 2,362 %.

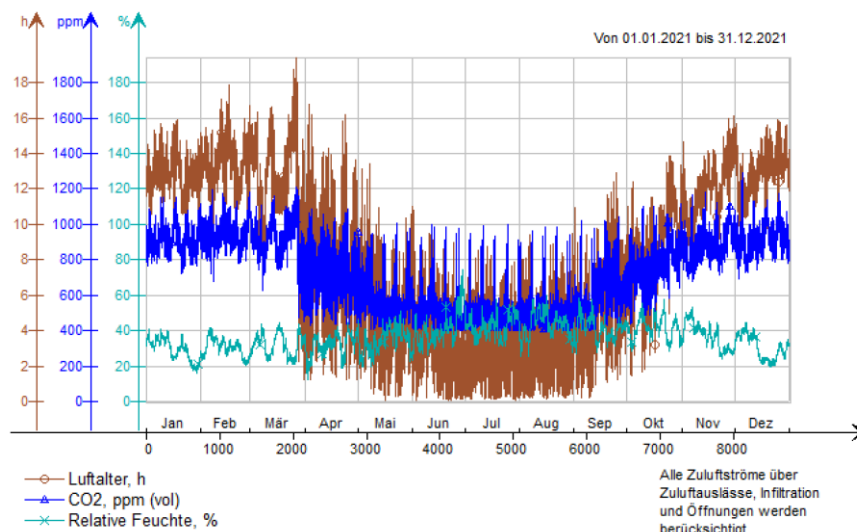


Abb. 3.1-3: Raumlufthqualität - EG_Gast-Arbeiten_Empfehlung

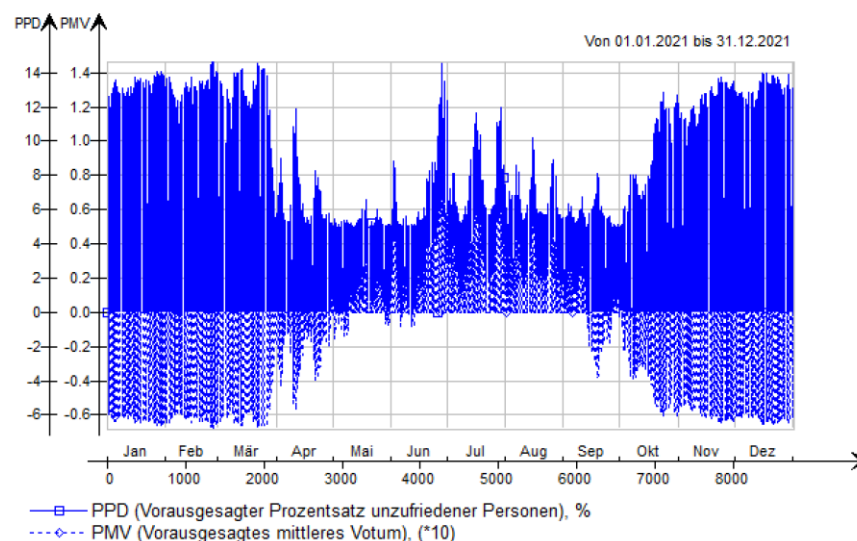


Abb. 3.1-4: Fangers Komfortindex - EG_Gast-Arbeiten_Empfehlung

Im Vergleich zur Abb. 1.2-7 sind in der Abb. 3.1-5 deutlich geringere Temperaturen im *Technikraum* zu verzeichnen. Der Höchstwert der operativen Temperatur beträgt im Juli (absolutes Extremum) in etwa 28 °C. Dies liegt daran, dass die Innentür hin zur Zone Gast-Arbeiten oft geöffnet ist. Die Türe zum Bad ist immer geschlossen.

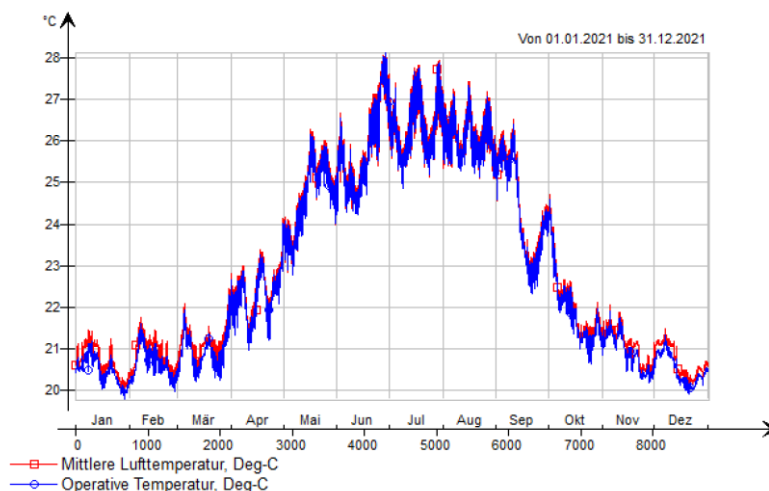


Abb. 3.1-5: Temperaturen - EG_Technik_Empfehlung

Obwohl, die Ankleide ein stark eingebauter Raum ist, konnte die optimale Raumluftqualität stundengenau einwandfrei nachgewiesen werden, wie in der Abb. 3.1-6 zu sehen ist. Im Vergleich zum Referenzgebäude (siehe Abb. 1.2-8) konnte das absolute Extremum erfolgreich um 3.550 – auf 990 – ppm CO₂ in der Innenluft reduziert werden. Der jährliche Mittelwert stellt sich auf 689,5 ppm ein. In der Häufigkeitsverteilung ist zu sehen, dass die Raumluft gar nicht mehr „hygienisch bedenklich“ wird.

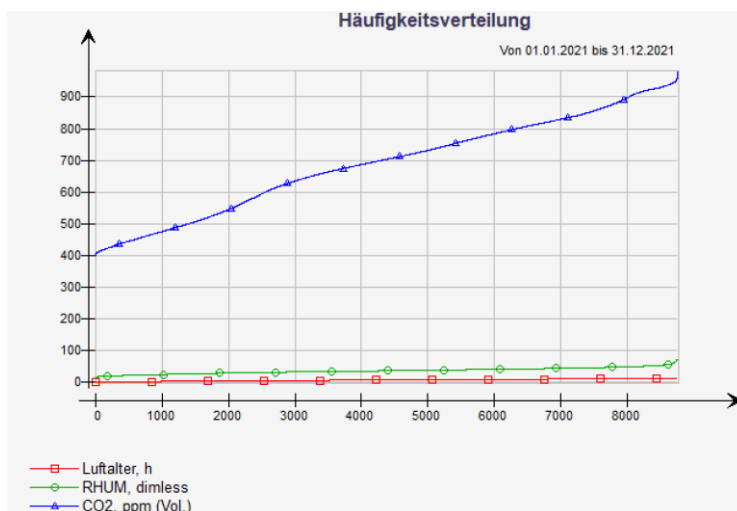


Abb. 3.1-6: Raumluftqualität_Häufigkeitsverteilung - EG_Ankleide_Empfehlung

Wie oberhalb der Abb. 1.2-9 geschildert, war in der Zone *Schlafen* die zu hohe CO₂-Konzentration ein großes Problem. Durch ein sinnvolles Lüftungskonzept über geregelte Fensteröffnungen und dem Einsatz einer RLT-Anlage, konnte der absolute Höchstwert auf 1.100 ppm gesenkt werden. Das bedeutet eine Reduktion um mehr als die Hälfte. Der jährliche Mittelwert beträgt nun 725,9 ppm und steigt auch monatsgenau nicht über 846,7 ppm (Februar). Somit ist der Luftzustand dieses Raumes nicht mehr hygienisch bedenklich.

Das Luftalter beträgt durch die ergriffenen Maßnahmen 5,252 h. Die Resultate sind in der Abb. 3.1-7 festgehalten.

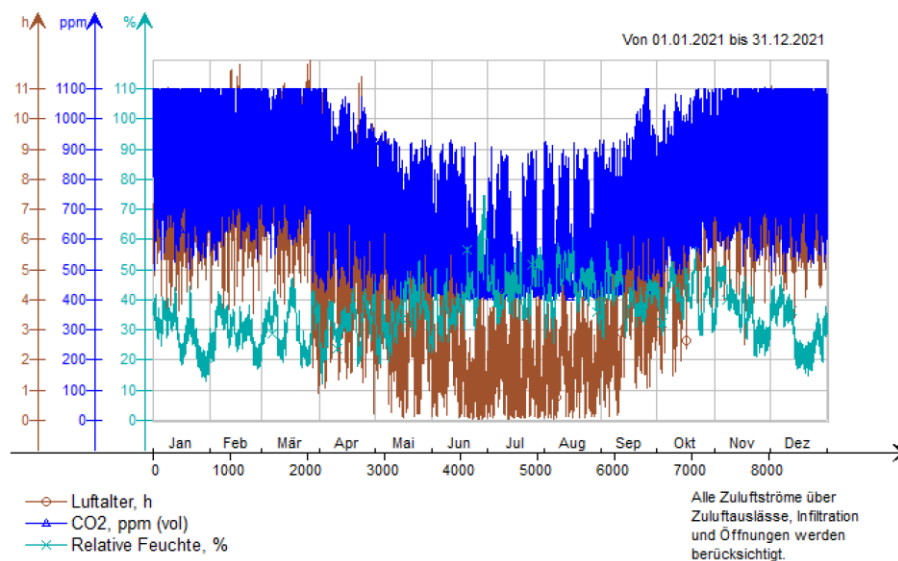


Abb. 3.1-7: Raumluftqualität - EG_Schlafen_Empfehlung

Das Luftalter der Zone *OG_Treppe* verringert sich durch die gewählten Maßnahmen auf einen Mittelwert von 9,355 h. Das absolute Extremum ist im November mit einem Wert von 13,09 h und liegt somit deutlich unterhalb dem des Referenzgebäudes (siehe Abb. 1.2-10) mit Werten bis knapp an die 40 h. Die Grafik ist als Abb. 3.1-8 folgend aufgeführt.

Die CO₂-Konzentration steigt minimal an, da die beiden Innentüren zu den entsprechenden Zonen im EG und OG öfters geöffnet sind. Der Mittelwert stellt sich innerhalb der Verkehrsfläche auf 628,5 ppm ein.

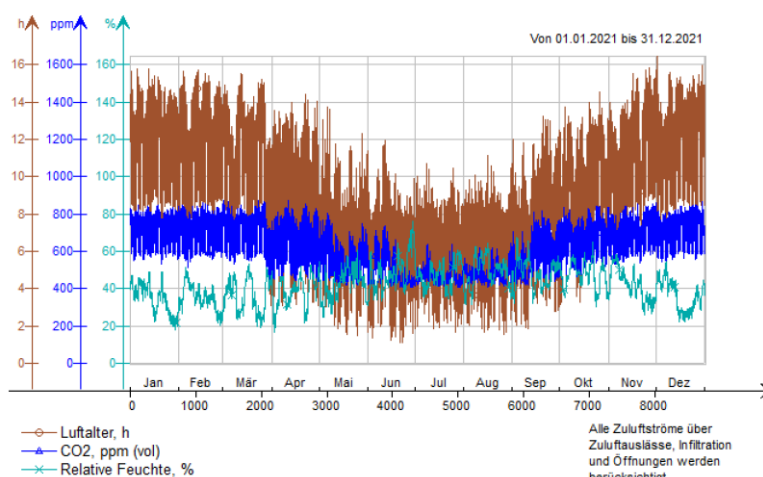


Abb. 3.1-8: Raumluftqualität - OG_Treppe_Empfehlung

Im Raum OG_Nähen-Musik war, wie in der Abb. 1.2-11 zu sehen ist, ein sehr hohes Luftalter das Problem. Durch die nutzungsoptimierte Öffnung der Türen und die Lüftungsanlage in der benachbarten Zone konnte das durchschnittliche Luftalter auf 4,881 h gesenkt werden.

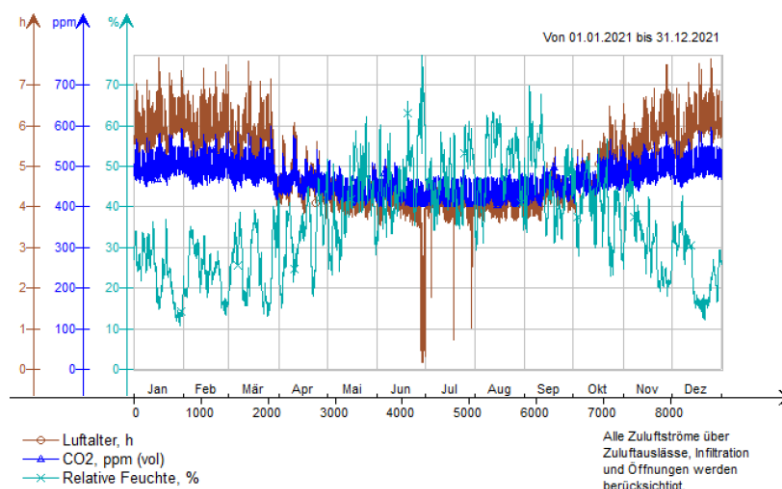


Abb. 3.1-9: Raumluftqualität - OG_Nähen-Musik_Empfehlung

Durch den Verzicht einer RLT-Anlage für eine komplette Wohnraumlüftung spart sich der Gebäudenutzer vor allem die elektrische Hilfsenergie ein, wodurch sich ein geringerer Endenergiebedarf für das gesamte Gebäude ergibt. Wenn also durch durchdachte Lüftungskonzepte der Einsatz eines elektrischen Geräts verhindert, oder zumindest auf das Nötigste beschränkt, werden kann, dann dient das der Energieeinsparung und gilt somit als nachhaltiges Handeln.

Jedoch ist zu erwähnen, dass der Einsatz einer Lüftungsanlage in zwei problematischen Zonen einen erheblichen Effekt in den umliegenden Räumen mit sich geführt hat. Aus diesem Grund kann das Einplanen einer Lüftungsanlage, wenn man sie auf das Minimum reduziert, durchaus eine gute Möglichkeit sein, um die Behaglichkeit in einem Wohngebäude erheblich zu verbessern. Wenn hierbei bedacht vorgegangen wird, dann kollidiert dieser Ansatz nicht mit einem der Leitfäden der Nachhaltigkeit:

„So viel wie nötig, so wenig wie möglich“ (Greenpeace, 2019).

Anhand der hochdämmenden Konstruktionen wird dem Neubau ein Wärmebrückenzuschlag von $0,03 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ gewährt.

In der Abb. 3.1-10 sind abermals die Personenunzufriedenheitsstunden der empfohlenen Variante illustriert worden. Man erkennt, beim Vergleich mit der Abb. 1.2-12, dass die meisten Zonen dunkler eingefärbt sind.

Schlafen, welche immer noch die unbehaglichste Zone ist, hat insgesamt 269,1 Personenunzufriedenheitsstunden und ist damit knapp vor der orangenen Färbung. Die Skala verleitet etwas dazu, diese Zone als „schlecht“ zu erachten. Allerdings ist das nur ein sehr geringer Anteil im Jahr. In drei Prozent aller Tage im Jahr finden es mehr als zehn Prozent der Gebäudenutzer für eine Stunde lang unbehaglich. Die Skala wurde aber bewusst so eingeteilt, weil sonst die Unterschiede zwischen den Zonen zu gering wären und man die farblichen Unterschiede anhand des angehobenen Maßstabs schlechter erkennen könnte.

Die Intention, die Behaglichkeit für die Gebäudenutzer unter Verwendung möglichst nachhaltiger Vorgehensweise zu verbessern, ist erfüllt.

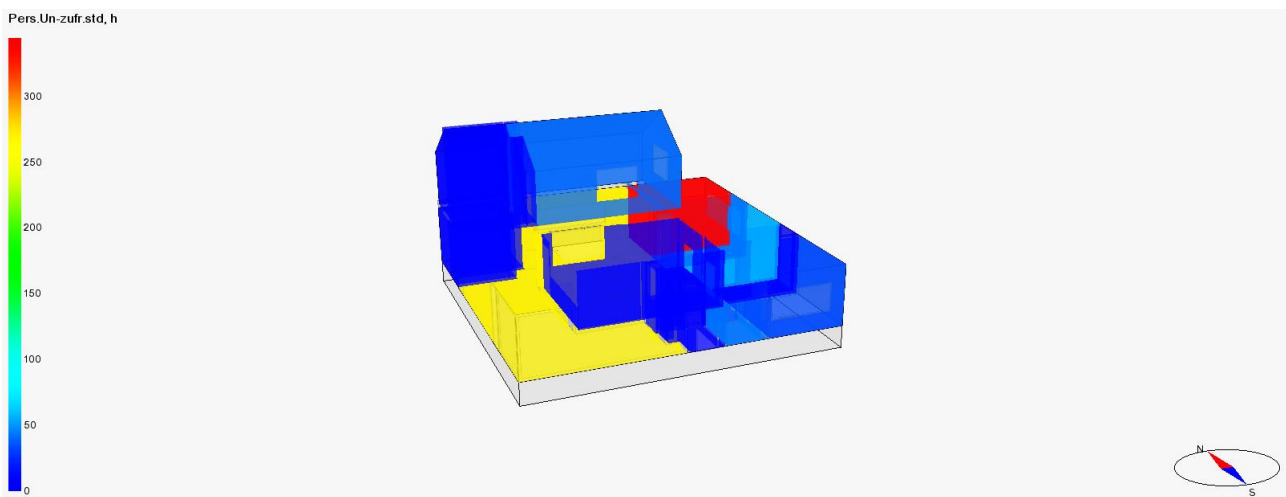


Abb. 3.1-10: Personenunzufriedenheitsstunden_Empfehlung

3.2 Nachweise der optimalen Variante

Ein Kriterium für ein gut geplantes Wohngebäude ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2. Wie bereits im Abschnitt 0 erwähnt, überschreitet das modulierte Gebäude an lediglich 659,2 Stunden die Vorgaben der Norm und ist damit erheblich unter dem Schwellenwert von 1.200 h.

Jedoch wird der Wert für die Normbedingungen gefordert, weshalb die Überführung in ein DIN 4108-2 Modell über IDA ICE durchgeführt wird. Hierfür werden genormte Personen, deren Nutzung (sowohl Geräte als auch Aufenthaltsdauer) und Gebäudetechniken verwendet. Die einzelnen Übergradstunden des entstandenen Modells werden aufsummiert. Es errechnet sich ein Wert von 478,4 h, wodurch der sommerliche Wärmeschutz erfüllt ist.

Ein festgelegtes Ziel für die optimierte Variante ist es den Standard des KfW Effizienzhauses 40 zu erreichen. Nachgewiesen wird dies über die Anwendung ZUB Helena Ultra[®]. Diese Software ist eigens für die Ausstellung der Energieausweise für solche Gebäude entwickelt worden und eignet sich daher besonders gut für die Validierung des Standards.

Es ist eine Schnittstelle der beiden Programme implementiert, sodass ein Export von IDA ICE zu ZUB Helena[®] Ultra durchgeführt werden konnte, wodurch kein großer Aufwand betrieben werden musste, um das exakt selbe Gebäude in der Zielsoftware zu erhalten.

Für den Nachweis des Effizienzhauses 40 darf der Transmissionsverlust der Gebäudehülle maximal 55 % von dem des in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) betragen. Zudem muss der spezifische Primärenergiebedarf des gesamten Objektes lediglich 40 % der Referenzvariante sein.

Wie in der Abb. 3.2-1 zu sehen, sind beide Vorgaben durch die vorgeschlagene Variante erfüllt worden.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für BEG-Programm "Effizienzhaus 40"
HT* bzgl. Referenzgebäude [W/(m²K)]	0,193	0,361	53 % (zulässig)	55 %
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	5,4	76,0	7 % (zulässig)	40 %

Die Effizienzhaus-Stufe "Effizienzhaus 40" wurde erreicht.

Die EE-Klasse wurde nicht erreicht (29,4 %)

Abb. 3.2-1: Vergleich der Soll-Werte für ein KfW-Effizienzhaus 40

Durch das Erreichen diese Standards werden dem Bauherrn 20 % der förderfähigen Kosten eines bei der KfW beantragten Kredites erstattet.

Dieser Anteil beschränkt sich auf 24.000 € pro Wohneinheit (siehe Abb. 3.2-2).


Effizienzhaus	(Tilgungs-)zuschuss in % je Wohneinheit 	Betrag je Wohneinheit 
Effizienzhaus 40 Plus	25 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 37.500 Euro
Effizienzhaus 40	20 % von maximal 120.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 24.000 Euro
Effizienzhaus 40 Erneuerbare-Energien-Klasse  oder Nachhaltigkeits-Klasse 	22,5 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 33.750 Euro
Effizienzhaus 55	15 % von maximal 120.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 18.000 Euro
Effizienzhaus 55 Erneuerbare-Energien-Klasse  oder Nachhaltigkeits-Klasse 	17,5 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 26.250 Euro

Abb. 3.2-2: Tilgungszuschuss der KfW für Effizienzhäuser, Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) | KfW

Der Zuschlag um weitere fünf Prozentpunkte für die Erneuerbare Energien – Klasse bleibt durch das vorgestellte Konzept verwehrt.

4 Literaturverzeichnis

DIN 4108-2. (20. 12 2002). Von Mindestanforderungen an den Wärmeschutz:

https://www.umwelt-online.de/recht/bau/din/4108_2ges.htm abgerufen

enev-online.com. (01. 07 2013). Von [https://enev-](https://enev-online.com/enev_2014_volltext/enev_2014_anlage_01_anforderungen_wohngebaeude.pdf)

[online.com/enev_2014_volltext/enev_2014_anlage_01_anforderungen_wohngebaeude.pdf](https://enev-online.com/enev_2014_volltext/enev_2014_anlage_01_anforderungen_wohngebaeude.pdf) abgerufen

Greenpeace. (13.. Februar 2019). *Greenpeace*. Von

<https://www.greenpeace.ch/de/hintergrund/44217/so-viel-wie-noetig-so-wenig-wie-moeglich/> abgerufen