

DIPLOMARBEIT Master Thesis

Analyse von Rechenverfahren zur Bestimmung des Heiz- und Kühlbedarfs von hocheffizienten Bürohochhäusern

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar
und
Manuel Ziegler, BSc MSc

E 206

Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Zsuzsanna Forrai
Matr.Nr.: 1228019
Antonsplatz 13/13
1100 Wien

Wien, im April 2015

Danksagung

Außerordentlicher Dank gebührt Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar und Manuel Ziegler BSc MSc, welche durch Ihre sehr gute und zeitaufwendige Betreuung, Ihre kritischen Anmerkungen zum Entstehen der vorliegenden Arbeit maßgeblich beigetragen haben.

Besonderer Dank gebührt meiner Schwester, Katalin Forrai Hüber, die viel Zeit und Mühe in die sprachliche Korrektur meiner Arbeit investiert hat. Dank ihrer Hilfe wurden inkorrekte Satzstellungen und Rechtschreibfehler vermieden.

Dank gebührt meinem Freund, Gergely Németh, der mir immer zur Seite stand. Für die Hilfe bei der englischen Übersetzung der Kurzfassung bin ich ihm zu großem Dank verpflichtet.

Daneben gilt mein Dank Matthias Wallig, welcher viele Stunden mit dem Durchlesen meiner Arbeit aus der Sicht eines Muttersprachlers verbracht hat.

Nicht zuletzt gebührt meinen Eltern Dank. Ohne Ihre Unterstützung hätte ich nicht die Möglichkeit besessen um ein akademisches Studium anstreben und beenden zu können.

Kurzfassung

Analyse von Rechenverfahren zur Bestimmung des Heiz- und Kühlbedarfs von hocheffizienten Bürohochhäusern

Heutzutage werden große Akzente auf die Energieeinsparung bei den Gebäuden gelegt. Immer mehr Projekte setzen sich das „energieeffiziente Bauen“ zum Ziel. Eine sichere Zukunft kann man nur auf Basis der Nachhaltigkeit bauen, infolge dessen werden Projekte ohne entsprechenden Nachweis über ihre Energieeffizienz auf dem Markt nicht honoriert. Die Validierung der Berechnungsverfahren der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden spielt sowohl wegen der Gewährleistung der Planungssicherheit für Nachhaltigkeit als auch wegen der Ausstellung eines objektiven Energieeffizienznachweises eine wichtige Rolle.

Ziel dieser Arbeit war die Beurteilung der Anwendbarkeit und die Überprüfung des vereinfachten Verfahrens für die Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung für effiziente Gebäude. Dazu wurde das Monats-Bilanzverfahren im Vergleich zu der dynamischen Simulation validiert. Das Monats-Bilanzverfahren wurde anhand ÖNORM EN ISO 13790 durchgeführt. Zur Realisierung der Zielsetzung wurden verschiedene Testmodelle erstellt. In dieser Arbeit wurde eine Software „BuildOpt-VIE“ für alle angeführten Berechnungen anhand des Monats-Bilanzverfahrens im Kontext des Heizwärme- und Kühlbedarfs verwendet.

Anhand verschiedener Fälle der Heizwärmebedarfsberechnung für hocheffiziente Bürohochhäuser konnten in dieser Arbeit gezeigt werden, dass bei einem realistischen Modell mit der Präsenz von geringen Wärmeeinträgen in einer Einzonenbilanz des Monats-Bilanzverfahrens ausreichend genaue Ergebnisse geliefert werden können. Mit diesem vereinfachten Verfahren konnten bei der Kühlbedarfsberechnung für hocheffiziente Bürohochhäuser ebenso aufgrund eines realistischen Modells keine ausreichend genauen Ergebnisse realisiert werden. Um annehmbare Ergebnisse erreichen zu können, wird die Anwendung der dynamischen Simulation empfohlen.

Abstract

Analysis of calculation methods for the determination of the heating and cooling demand of highly efficient office buildings

Nowadays the theme of energy saving of buildings is strongly emphasized. More and more projects set the goal to build Energy-efficient buildings. To create a brighter future sustainability must be kept in mind. Consequently those projects, which do not own the Energy Efficiency Certificate, will not be rewarded by the market. The validation of calculation methods of energy performance of buildings plays an important role with regard to the warranty of planning security for sustainability and because of the Energy Efficiency Certificate.

The aim of this work was to assess the applicability and the review of the simplified calculation method for the heating and cooling demand calculation for efficient buildings. For this purpose the accuracy of the calculation of the month-balance method has been validated in comparison to the dynamic simulation. The month-balance method was carried out using standard ÖNORM EN ISO 13790. To realize the objective of this work different test models were created. In this work the software "BuildOpt-VIE" was used for all the cited calculations based on the month-balance method in the context of the heating and cooling demand.

Based on various cases of the heating demand calculation has been shown in this work for highly efficient office towers, that in a realistic model and with the presence of low heat inputs in a one-zone-balance of month-balance method sufficiently accurate results can be provided. The month-balance method – based on a realistic model – could not deliver sufficiently accurate results in the calculation of cooling demand for highly efficient office towers. In order to achieve acceptable results in the cooling demand calculation the application of the dynamic simulation is recommended.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Theoretische Grundlagen.....	5
2.1.	Monats-Bilanzverfahren nach ÖNORM EN ISO 13790.....	6
2.1.1.	Klimadaten	6
2.1.2.	Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung ...	7
2.1.3.	Der Gesamtwärmetransfer durch Transmission.....	9
2.1.4.	Der Wärmetransfer durch Lüftung.....	13
2.1.5.	Interne Wärmeeinträge	15
2.1.6.	Solare Wärmeeinträge	16
2.1.7.	Dynamische Parameter.....	22
2.1.8.	Zonierung.....	26
2.2.	Die dynamische Gebäudesimulation.....	28
2.2.1.	Klimadaten	29
2.2.2.	Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung – Das Raumknotenmodell	30
2.2.3.	Der Gesamtwärmetransfer durch Transmission.....	31
2.2.4.	Der Wärmetransfer durch Lüftung.....	36
2.2.5.	Interne Wärmeeinträge	39
2.2.6.	Solare Wärmeeinträge	39
3.	Untersuchungsmethodik.....	44
3.1.	Beschreibung von Testmodellen.....	47
3.1.1.	Das Dreizonenmodell.....	48
3.1.2.	Das „dreistöckige Gebäude“	50
3.1.3.	Das „zweistöckige Gebäude“	53
3.1.4.	Gründerzeithaus	54

3.2.	Klimadaten	59
3.3.	Interne Wärmeeinträge	60
4.	Ergebnisse der Rechenverfahren.....	62
4.1.	Heizwärmebedarf	62
4.1.1.	Fall 1 – Gewinne der Testmodelle	63
4.1.2.	Fall 2 – Geänderte innere Lasten.....	66
4.1.3.	Fall 3 – Heizwärmebedarf der Testmodelle.....	68
4.1.4.	Fall 4 – Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren	70
4.2.	Kühlbedarf.....	73
4.2.1.	Fall 1 – Verschiedene Wärmerückgewinnungen.....	74
4.2.2.	Fall 2 – Verschiedene Temperaturen.....	77
4.2.3.	Fall 3 – Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren – Nicht effiziente und effiziente Gebäude	79
5.	Zusammenfassende Schlussfolgerungen	85
6.	Anhang.....	87
6.1.	Abbildungsverzeichnis	87
6.2.	Tabellenverzeichnis	88
7.	Literatur.....	91

1. Einleitung

Im Fokus dieser Arbeit stand es, die Anwendbarkeit eines vereinfachten Verfahrens – im Vergleich zu einer dynamischen Simulation – bezüglich der Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung für effiziente Gebäude zu überprüfen. Zum Wählen dieser Aufgabenstellung führten fachliche Motivationszüge. Die zu analysierenden Verfahren spielen bei der Ausführung hocheffizienter Gebäuden eine grundlegende Rolle.

Eine sichere Zukunft kann man nur auf Basis der „Nachhaltigkeit“ bauen, die ein grundlegendes Charakteristikum der energieeffizienten Gebäude darstellt. Projekte ohne entsprechenden Nachweis über ihre Energieeffizienz, als Kennzeichen der „Nachhaltigkeit“, werden auf dem Markt nicht honoriert. [IMM14] „Auf Gebäude entfallen 40 % des Gesamtenergieverbrauchs der Union. Der Sektor expandiert, wodurch sich sein Energieverbrauch weiter erhöhen wird“ [REU10], wie es in der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates formuliert wurde. Deshalb gehört die Reduzierung des „Energieverbrauchs und die Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ [REU10] in dem Gebäudesektor zu den wesentlichen Maßnahmen im Hinblick auf die Energieeffizienz. Diese war auch die Hauptursache dafür, dass die Kommission der Europäischen Union die Mitgliedsstaaten dazu verpflichten, Energieausweise für alle Gebäude, sowohl für bestehende Gebäuden als auch für Neubauten, zu erstellen. Internationale Übereinkommen wurden auch getroffen, zum Beispiel das *Kyoto Protokoll zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen* (das am 16. Februar 2005 in Kraft getreten ist), in dem es festgestellt wurde, dass die CO₂-Emission, sowie die Reduzierung des Energieverbrauchs eine wichtige Aufgabe bezüglich der „nachhaltigen Entwicklung“ ist. Im Artikel 6 in [REU10] wird auch angegeben, dass in der Europäischen Union „ab dem Jahr 2021 [...] alle Neubauten im Niedrigstenergiegebäudestandard errichtet werden“ müssen. Die Mitgliedstaaten sollen auch die erforderlichen Maßnahmen ergreifen, „um sicherzustellen, dass die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, oder [die] der renovierten Gebäudeteile erhöht wird“, um die gemäß Artikel 7 in [REU10] festgelegten Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz zu erfüllen.

Heutzutage gibt es immer mehr Projekte, die das Ziel Nachhaltigkeit, Energieeffizienz zum Ziel setzen. Einen solchen zukünftigen Zweck hat sich auch das Projekt *Plusenergiebürogebäude TU Wien* gesetzt, das als Musterbeispiel der hocheffizienten Gebäude in der vorliegenden Arbeit gilt. Im Fokus des Projektkonzeptes steht primärenergetisch mehr Energie pro Jahr am Standort zu generieren als die Menge der über den Gebäudebetrieb und Büronutzung verbrachten Energie. [HAU15]

Infolge der vorher formulierten Gedanken spielen die Berechnungsverfahren der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bei der Erreichung eines geringeren Energieverbrauches, bei einer verstärkten Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und nicht zuletzt wegen der Gewährleistung der Planungssicherheit für Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle. Grundsätzlich stehen drei Möglichkeiten zur Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs eines Gebäudes zur Verfügung: eine „dynamische Gebäudesimulation“; ein vereinfachtes quasi-stationäres Verfahren, das sogenannte „Monats-Bilanzverfahren“ und ein „stationäres Verfahren“. Diese drei Verfahren unterscheiden sich voneinander durch ihre Genauigkeit und durch ihre pragmatischen Anwendungen.

Das eine der zwei zu analysierenden Berechnungsverfahren, die dynamische Gebäudesimulation ermöglicht das zeitabhängige thermische Verhalten des Gebäudes – auf der Basis von stündlichen Werten – mit hoher Genauigkeit, also mit hoher Realitätsnähe zu ermitteln. Aufgrund dieses Wesenszuges können die künftig anzustrebenden thermischen Qualitäten von Gebäuden realisiert werden. Es gibt aber einige pragmatische Probleme bei diesem Verfahren. Wegen des hohen Zeitaufwands für die Eingabe der Daten, wegen des fehlenden detaillierten Wissens über die Simulationsparameter und wegen der langen Testreferenzjahre mit stündlichen Klimadaten für den Gebäudestandort ist der Aufwand bei der Anwendung dieser Methode am größten (im Vergleich zu den zwei anderen erwähnten Verfahren). In der Praxis funktionieren die Gebäudesimulationsinstrumente als „Blackbox“: „Selbst für erfahrene Nutzer ist es sehr schwierig oder sogar unmöglich zu erfolgen, was innerhalb des Berechnungskerns vonstatten geht.“ [ONO08a]

Die zweite, zu untersuchende Berechnungsmethode, das „vereinfachte“, quasi-stationäre Monatsbilanzverfahren und das dritte mögliche Verfahren, das stationäre Heizperioden-Bilanzverfahren sind bezüglich ihrer Anwendbarkeit benutzerfreundlicher, als das vorher erwähnte dynamische Verfahren. Der Aufwand ist bei diesen Methoden niedriger als bei der dynamischen Simulation aus dem Grunde, da bei diesen Verfahren keine Testreferenzjahre nötig sind. Das quasi-stationäre Berechnungsverfahren basiert auf Monatsmittelwerten (zum Beispiel auf standortspezifischen Monatsmittelwerten bezüglich der Außenlufttemperatur und der solaren Einstrahlung) und das stationäre Berechnungsverfahren beruht auf einer konstant angenommenen Heizperiode.

Die Genauigkeit der Ergebnisse dieser Methoden ist nicht so hoch. Das quasi-stationäre Monats-bilanzverfahren bilanziert alle Gewinne und Verluste des Gebäudes monatlich und wie der Name des Verfahrens vermuten lässt, wurden bei der Aufstellung des vereinfachten Rechenverfahrens bestimmte „vereinfachende“ Annahmen und Annäherungen getroffen. Eine Folge davon ist es zum Beispiel, dass „für kompliziertere Nutzungen von Gebäuden und für verschiedene Kopplungseigenschaften die Abweichung der vereinfachten Rechenverfahren weitaus größer ist, als derzeit angegeben.“ [SOF09] Wegen dieser Rechenungenauigkeiten und der Verschärfung der europäischen Vorgaben ist es notwendig, die Rechenverfahren zu überprüfen. Da in dieser Arbeit effiziente Bürogebäude betrachtet werden, ist es besonders erforderlich, das vereinfachte quasi-stationäre Rechenverfahren gegenüber der detaillierten Simulation zu validieren.

Die früher genannte „stationäre“ Berechnungsmethode hat die gleichen Rechenungenauigkeiten, da bei ihr wegen der Heranziehung einer konstant angenommenen Heizperiode eine unzureichende, ungenaue Abbildung der thermischen Qualität eines Gebäudes realisiert wird [PÖH07], die einen wesentlichen Nachteil dieses Verfahrens bildet. Wegen der einfachen Anwendbarkeit des stationären Verfahrens und wegen seiner hohen Ungenauigkeit „hat man sich in Österreich dazu entschlossen, als künftiges Mindestniveau das quasi-stationäre Verfahren vorzuschreiben“ [PÖH07]. Eben deshalb wird also dieses Monats-Bilanzverfahren – anstatt der (ungenaueren) stationären Berechnung – neben der dynamischen Simulation in dieser Arbeit analysiert.

Wie es schon früher formuliert wurde, ist das grundlegende Ziel dieser Masterarbeit, zwei Berechnungsmethoden bezüglich des Heiz- und Kühlbedarfs für effiziente Bürogebäude miteinander zu vergleichen. Demnach wird die Rechengenauigkeit des vereinfachten Bilanzverfahrens anhand ÖNORM EN ISO 13790 [ONO08a] durch den Vergleich mit der dynamischen Simulation (mithilfe des Simulationsprogramms „BuildOpt-VIE“) validiert. Um die zwei Berechnungsmethoden, nebeneinanderstellen zu können, werden Testmodelle mit verschiedenen Grundrissen, Zonierungen und mit verschiedenen thermischen und bautechnischen Eigenschaften erstellt.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt also auf den zwei erwähnten Rechenverfahren. Diese werden in dem nächsten Kapitel bezüglich ihrer theoretischen Grundlagen ausführlicher behandelt.

2. Theoretische Grundlagen

Es gibt viele Methoden zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden. Das Ziel all dieser Verfahren ist, die Wärmeströme des Gebäudes zu erfassen und den Energiebedarf für Heizen und Kühlen abzubilden. In diesem Hauptkapitel werden die schon benannten zwei Berechnungsmethoden, das quasi-stationäre Verfahren und die dynamische Gebäudesimulation zur Bestimmung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung beschrieben.

Das quasi-stationäre Verfahren (Monats-Bilanzverfahren)

Als Bilanzierungsverfahren wurde in dieser Arbeit das in Österreich standardisierte monatsbezogene Verfahren gemäß der ÖNORM EN ISO 13790 [ONO08a] herangezogen. Dieses Verfahren wird für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs in den nachstehenden Kapiteln verwendet.

Bei dem Monats-Bilanzverfahren wird der Wärmehaushalt des Gebäudes für die Dauer eines Monats bilanziert und anschließend auf das ganze Jahr summiert. Der Einfluss der Wärmespeicherung der betrachteten Gebäudezonen wird durch die Einführung von Korrelationskoeffizienten (zum Beispiel dimensionsloser Ausnutzungsgrad) erreicht. [GRA11]

Das dynamische Verfahren (Gebäudesimulation)

Die dynamische Gebäudesimulation ist das gebräuchlichste Instrument um komplexere Gebäude zu modellieren und rechnerisch abzubilden. Die Modellierung von realen Gebäuden benötigt einige Vereinfachungen, besonders mathematische, und somit verschiedene Modellansätze für die Lösung der zu bestimmenden Parameter. [SOF09]

Der Heizwärme- und Kühlbedarf ist das Zeitintegral über die Heiz- und Kühlleistung. Bei der dynamischen Gebäudesimulation werden die stündlichen Werte von den Heiz- und Kühllasten auf das ganze Jahr summiert. Die Berücksichtigung der Speichermassen und somit des dynamischen Verhaltens geschieht auf Basis der realen physikalischen Vorgänge. In Berechnungsschritten von einer Stunde oder kürzeren Zeitperioden werden Einzelwerte berechnet. [GRA11]

In den folgenden Unterkapiteln werden der vereinfachte Nachweis (quasi-stationäre Verfahren) und die dynamische Simulation bezüglich ihrer grundlegenden Analyse-Kategorien, also des Heiz- und Kühlbedarfs detailliert

behandelt. Zur Berechnung dieser zwei Bedarfswerte müssen unter anderen die Klimadaten, der Gesamtwärmetransfer durch Transmission, der Wärmetransfer durch Lüftung, die innere Lasten und die solaren Wärmeeinträge berücksichtigt werden, auf die in den nächsten Kapiteln näher eingegangen wird.

2.1. Monats-Bilanzverfahren nach ÖNORM EN ISO 13790

„Diese Internationale Norm [...] enthält einen Satz zusammenhängender, jedoch unterschiedlich ausführlicher Berechnungsverfahren zum Energiebedarf für die Raumheizung und -kühlung eines Gebäudes und zum Einfluss der rückgewinnbaren thermischen Verluste technischer Gebäudeausrüstungen, wie z. B. der Heiz- und Kühlanlagen.“ (ÖNORM EN ISO 13790: 2008)

Die ÖNORM EN ISO 13790 bildet die Basis für die Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs eines Gebäudes, wie darauf schon früher hingewiesen wurde. Die wichtigsten Inhalte dieser Norm bilden die kompletten Beschreibungen des vereinfachten Stundenverfahrens und des quasi-stationären Monatsverfahrens.

In dieser Arbeit wurde die Software „BuildOpt-VIE“ für alle angeführten Berechnungen anhand des Monat-Bilanzverfahrens im Kontext des Heizwärme- und Kühlbedarfs verwendet. Dieses Simulationsprogramm wurde auf dem Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz an der Technischen Universität Wien entwickelt.

2.1.1. Klimadaten

Im Folgenden wird auf die Analyse-Kategorie „Klimadaten“ näher eingegangen. In dem Unterkapitel „Klimadaten“ werden als wichtige Ausgangsdaten die Temperatur und die Globalstrahlung diskutiert.

2.1.1.1. Temperatur

Das quasi-stationäre Verfahren

Bei dem Monats-Bilanzverfahren werden die Monatsmittelwerte der Außentemperatur anhand [ONO03] zu Grunde gelegt. In dieser Norm wird die Fläche von Österreich durch die Klimatographie in sieben Klimaregionen mit entsprechendem mittlerem, vertikalem Temperaturgradienten geteilt. Die

mittlere monatliche Lufttemperatur wird hauptsächlich über die Seehöhe bestimmt.

2.1.1.2. Globalstrahlung

Die Berechnung der mittleren Monatssummen der Globalstrahlung auf horizontale Fläche erfolgt bei dem quasi-stationären Verfahren gemäß nachfolgender Regressionsformel und die Umrechnung der mittleren Monatssummen der Globalstrahlung auf beliebig geneigte und orientierte Fläche geschieht durch die Transpositionsfaktoren $f_{O,N}$. [ONO11]

$$I_s = a_2 * \left(\frac{H}{100}\right)^2 + a_1 * \frac{H}{100} + a_0 \quad (1)$$

$$I_s = \left[a_2 * \left(\frac{H}{100}\right)^2 + a_1 * \frac{H}{100} + a_0 \right] * f_{O,N} \quad (2)$$

I_s mittlere Monatssummen der Globalstrahlung in kWh/(m²*M)

a_2, a_1, a_0 Koeffizienten gemäß Anhang D in [ONO11]

H Seehöhe in m

$f_{O,N}$ Transpositionsfaktor gemäß Tabelle E.1 bis E.7 in [ONO11]

2.1.2. Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung

Im Folgenden werden die wichtigsten Grundformeln der Berechnung des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs kurz diskutiert.

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf ist die Wärmemenge, die im Laufe eines Jahres dem Gebäude zugeführt werden muss, um eine minimale Raumtemperatur einzuhalten [RIC10].

Der Heizwärmebedarf $Q_{H,nd}$ errechnet sich wie folgt [ONO08a]:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} * Q_{H,gn} \quad (3)$$

wobei $Q_{H,nd,cont} \geq 0$ gilt.

Dabei ist für jede Gebäudezone

$Q_{H,nd,cont}$ der Heizwärmebedarf des Gebäudes bei kontinuierlichem Heizen in MJ

$Q_{H,ht}$ der Gesamtwärmetransfer für den Heizbetrieb in MJ

$Q_{H,gn}$ die Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Heizbetrieb in MJ

$\eta_{H,gn}$ der dimensionslose Ausnutzungsgrad für die Einträge.

Kühlbedarf

Der Kühlbedarf ist die Wärmemenge, die im Laufe eines Jahres einem Gebäude entzogen werden muss, um eine maximale Raumtemperatur einzuhalten [RIC10].

Der Kühlbedarf $Q_{C,nd}$ wird nach der folgenden Formel berechnet [ONO08a]:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = (1 - \eta_{C,gn}) * Q_{C,gn} \quad (4)$$

wobei $Q_{C,nd,cont} \geq 0$ gilt.

$Q_{C,nd,cont}$ der Kühlbedarf des Gebäudes bei kontinuierlichem Kühlen in MJ

$Q_{C,gn}$ die Gesamtheit der Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb in MJ

$\eta_{C,gn}$ der dimensionslose Ausnutzungsgrad der Wärmeverluste

Der Gesamtwärmetransfer und die Gesamtheit der Wärmeeinträge

Der wesentliche Unterschied bei der Bestimmung des Gesamtwärmetransfers und der Gesamtheit der Wärmeeinträge liegt zwischen den zwei untersuchten Berechnungsverfahren darin, dass der Gesamtwärmetransfer durch Transmission und die solaren Wärmeeinträge bei dem Monatsbilanzverfahren getrennt sind. Im Gegensatz zu diesem Bilanzverfahren sind sie bei der dynamischen Simulation miteinander vermischt.

Bei den Monatsbilanzverfahren ergibt sich der Gesamtwärmetransfer für jede Gebäudezone und für jeden Berechnungsschritt als der Summe der Gesamtwärmetransfer durch Transmission und durch Lüftung.

Die Formel nach [ONO08a] lautet:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (5)$$

Q_{ht} der Gesamtwärmetransfer für jede Gebäudezone und jedem Berechnungsschritt in MJ

Q_{tr} der Gesamtwärmetransfer durch Transmission in MJ

Q_{ve} der Gesamtwärmetransfer durch Lüftung in MJ.

Die Gesamtheit der Wärmeeinträge Q_{gn} der Gebäudezone für einen bestimmten Berechnungsschritt wird wie folgt nach [ONO08a] berechnet.

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (6)$$

Q_{gn} die Gesamtheit der Wärmeeinträge für einen gegebenen Zeitraum in MJ

Q_{int} die Summe der inneren Wärmeeinträge für einen gegebenen Zeitraum in MJ

Q_{sol} die Summe der solaren Wärmeeinträge für einen gegebenen Zeitraum in MJ

2.1.3. Der Gesamtwärmetransfer durch Transmission

Der Transmissionswärmetransfer wird durch die Bauteilaufbauten, durch die Geometrie und durch das Temperatur- und Strömungsverhältnis in den angrenzenden Räumen bestimmt. Er wird für jeden Berechnungsschritt und für jede Zone durch ihren Gesamt-Transmissionswärmetransferkoeffizienten, durch die Solltemperatur der Gebäudezone und durch die Zeitdauer des betrachteten Zeitraums berechnet. Diese Beziehungen für das Heizen und Kühlen stellen sich wie folgt nach [ONO08a] dar.

Für das Heizen:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} * (\theta_{int,set,H} - \theta_e) * t \quad (7)$$

Für das Kühlen:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} * (\theta_{int,set,C} - \theta_e) * t \quad (8)$$

$H_{tr,adj}$	der Gesamt-Transmissionswärmeflusskoeffizient der Zone, angepasst an die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur in W/K
$\theta_{int,set,H}$	die Solltemperatur der Gebäudezone für das Heizen in Grad Celsius
$\theta_{int,set,C}$	die Solltemperatur der Gebäudezone für das Kühlen in Grad Celsius
θ_e	Temperatur der Außenumgebung in Grad Celsius
t	die Dauer des Berechnungsschrittes in Megasekunden

2.1.3.1. Spezifischer Transmissionswärmedurchgangskoeffizient

Die Transmissionswärme, die an die Umgebung einer Zone abgegeben wird oder die in eine Zone eindringt, ist von der Umgebung die die Gebäudezone umschließt und von der Bauteilbeschaffenheit der Zone abhängig [SOF09]. Der Gesamt- Transmissionswärmeflusskoeffizient $H_{tr,adj}$ muss nach ÖNORM EN ISO 13789 unter Anwendung der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad (9)$$

H_D	der Transmissionswärmeflusskoeffizient für die direkte Wärmeflussmission an die Außenumgebung in W/K
H_g	der Transmissionswärmeflusskoeffizient für die stationäre Wärmeflussmission an das Erdreich in W/K
H_U	der Transmissionswärmeflusskoeffizient für die Wärmeflussmission durch nicht konditionierte Räume in W/K
H_A	der Transmissionswärmeflusskoeffizient für die Wärmeflussmission an das angrenzende Gebäude in W/K.

Direkte Transmission zwischen Innenraum und Außenumgebung

Der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch die Bauteile, die den konditionierten Raum und die Außenluft voneinander trennen, ist eine klimaunabhängige, baukonstruktive Größe, die die Wärmedämmung des Gebäudes charakterisiert und lässt sich aus dem Produkt aus U-Wert mal der (Außen-) Fläche des jeweiligen Bauteils ermitteln. Außerdem ist im Zuge dieser Berechnung auch der Einfluss des Wärmeverlustes durch allfällig vorhandene längenbezogene und durch punktbezogene Wärmebrücken oder bei besonders hohen Genauigkeitsansprüchen zu beachten. [KRE04] Der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient wird nach [ONO08b] nach der folgenden Formel berechnet:

$$H_D = \sum_i A_i * U_i + \sum_k l_k * \psi_k + \sum_j \chi_j \quad (10)$$

A_i	die Fläche des Bauteils i der Gebäudehülle in m^2
U_i	der Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i der Gebäudehülle in $W / m^2 K$, bestimmt nach ISO 6946
l_k	die Länge der linienförmigen Wärmebrücke k in m
ψ_k	der lineare Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke k in $W/m K$
χ_j	der punktförmige Wärmedurchgangskoeffizient der punktförmigen Wärmebrücke j in W/K .

Der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch unkonditionierte Räume

Der Koeffizient H_U zwischen einem konditionierten Raum und der Außenumgebung durch unkonditionierte Räume wird mit den folgenden Formeln ermittelt:

$$H_u = H_{iu} * b \quad \text{in } W/k \quad \text{wobei} \quad b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (11)$$

H_{iu}	der direkte Wärmedurchgangskoeffizient zwischen konditioniertem und unkonditioniertem Raum in W/K
----------	---

H_{ue} der spezifische Wärmedurchgangskoeffizient zwischen konditioniertem und unkonditioniertem Raum in W/K

Die Wärmedurchgangskoeffizienten H_{iu} und H_{ue} beachten den Transmissions- und den Lüftungswärmedurchgang. Diese Werte werden mit diesen Gleichungen berechnet:

$$H_{iu} = H_{T,iu} + H_{V,iu} \quad \text{und} \quad H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue} \quad (12)$$

Die Transmissionskoeffizienten $H_{T,iu}$ und $H_{T,ue}$ werden ebenso wie die direkte Transmission berechnet. Die Lüftungswärmedurchgangskoeffizienten $H_{V,iu}$ und $H_{V,ue}$ werden mit diesen Formeln eruiert:

$$H_{V,iu} = \rho_{cp} * \dot{V}_{iu} \quad \text{und} \quad H_{V,ue} = \rho_{cp} * \dot{V}_{ue} \quad (13)$$

ρ die Dichte der Luft in kg/m^3

c_p die spezifische Wärmekapazität der Luft in $\text{Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

$\dot{V}_{iu}$ der Luftvolumenstrom zwischen konditioniertem und unkonditioniertem Raum in m^3/h

$\dot{V}_{ue}$ der Luftvolumenstrom zwischen unkonditioniertem und Außenumgebung in m^3/h

Die Wärmeübertragung zu den angrenzenden Gebäuden

Wenn die Wärmeübertragung zu einem angrenzenden Gebäude (welches eine andere Temperatur als das betrachtende Objekt hat) berücksichtigt werden soll, wird der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen den beiden Gebäuden mit dieser Gleichung eruiert:

$$H_A = H_{ia} * b \quad \text{in W/k} \quad \text{wobei} \quad b = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} \quad (14)$$

H_{ia} der direkte Wärmedurchgangskoeffizient zwischen dem konditionierten Raum und dem angrenzenden Gebäude

θ_i die Innentemperatur des betrachteten Gebäudes

θ_a die Innentemperatur des angrenzenden Gebäudes

θ_e die Außentemperatur

2.1.4. Der Wärmetransfer durch Lüftung

Bei einem Luftwechsel zwischen der Innen- und Außenseite eines Gebäudes führt zu einem Wärmeverlust, da warme Raumluft durch kalte Außenluft getauscht wird. Der Gesamtwärmetransfer durch Lüftung ergibt sich für das Heizen und das Kühlen, für jeden Monat, für jede Gebäudezone aus den folgenden Gleichungen.

Für das Heizen:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} * (\Theta_{int,set,H,z} - \Theta_e) * t \quad (15)$$

Für das Kühlen:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} * (\Theta_{int,set,C,z} - \Theta_e) * t \quad (16)$$

Q_{ve} der Gesamtwärmetransfer durch Lüftung in MJ

$H_{ve,adj}$ der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient, angepasst an die Differenzen zwischen Innen- und Außentemperatur in W/K

$\Theta_{int,set,H,z}$ die Solltemperatur der Gebäudezone für das Heizen in Grad Celsius

$\Theta_{int,set,C,z}$ die Solltemperatur der Gebäudezone für das Kühlen in Grad Celsius

Θ_e die Temperatur der Außenumgebung in Grad Celsius

t die Dauer des Berechnungsschrittes in Megasekunden

2.1.4.1. Der Lüftungswärmedurchgangskoeffizient

Der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient wird aus der volumenbezogenen Wärmespeicherfähigkeit der Luft und aus dem Volumenstrom für die betrachtete Zone ermittelt. Darum dass die Zulufttemperatur nicht unbedingt mit der Außentemperatur identisch sein muss, muss noch der Luftvolumenstrom mit einem Temperaturfaktor multipliziert werden zum Beispiel bei Vorheizung, Vorkühlung oder Wärmerückgewinnung. Der Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizient berechnet sich laut [ONO08a] nach:

$$H_{ve,adj} = \rho_a * c_a * (\sum_k b_{ve,k} * q_{ve,k,mn}) \quad (17)$$

$\rho_a * c_a$	die volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit der Luft in J/m ³ K
$q_{ve,k,mn}$	der zeitlich gemittelte Luftvolumenstrom von Luftvolumenstromelement k in m ³ /s
$b_{ve,k}$	der Temperaturanpassungsfaktor für Luftvolumenstromelement k .
k	jedes der relevanten Luftvolumenstromelemente, wie zum Beispiel Infiltration, freie Lüftung, maschinelle Lüftung durch ein natürliches Nachtlüftungskonzept für den Kühlfall. Der Wert ist in der [ONO08a] im Abschnitt 9.3.3. definiert.

Die volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit der Luft wird als konstanter Wert angewendet, die sich zu 1200 J/m³K ergibt. Der zeitlich gemittelte Luftvolumenstrom setzt sich aus dem Luftvolumenstrom und dem zeitlichen Anteil des Betriebes vom Luftvolumenstromelement k zusammen. Der zeitlich gemittelte Luftvolumenstrom des Luftvolumenstromelements wird mit der folgenden Gleichung bestimmt:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} * q_{ve,k} \quad (18)$$

$q_{ve,k}$	der Luftvolumenstrom des Luftvolumenstromelements k in m ³ /s (bestimmt nach der im Anhang A angegebenen entsprechenden Norm [ONO08a])
$f_{ve,t,k}$	zeitlicher Anteil des Betriebs des Luftvolumenstromelements k berechnet als Anteil der Stundenanzahl je Tag (Vollzeit: $f_{ve,t,k} = 1$), ermittelt aus derselben Quelle wie $q_{ve,k}$).

2.1.5. Interne Wärmeeinträge

Mit dem Begriff der internen Wärmegewinne werden all jene Gewinne zusammengefasst, die durch Wärmequellen innerhalb des in der Wärmebilanz betrachteten Raumes oder Gebäudes anfallen und zur Aufheizung der Raumluft beitragen. Sie sind von der Nutzung des Objekts als Wohnung, Büro oder Produktionsstätte abhängig. [KRE04]

Laut [ONO08a] setzen sich die Quellen wie folgt zusammen:

- Stoffwechselwärme der Nutzer
- Verlustwärme der Geräte
- Verlustwärme der Beleuchtungseinrichtungen
- Durch Warm- und Kaltwasser- sowie Abwassersysteme abgegebene oder aufgenommene Wärme
- Durch Heiz-, Kühl- und Lüftungsanlagen abgegebene oder aufgenommene Wärme
- Wärme aus oder für Prozesse und Güter

Die inneren Wärmequellen werden mit der folgenden Gleichung bestimmt:

$$Q_{\text{int}} = \left(\sum_k \Phi_{\text{int,mn},k} \right) * t + \left(\sum_l (1 - b_{\text{tr},l}) * \Phi_{\text{int,mn},u,l} \right) * t \quad (19)$$

Dabei ist

Q_{int}	Gesamtheit der inneren Wärmeeinträge in MJ
$b_{\text{tr},l}$	der Abminderungsfaktor für den angrenzenden nicht konditionierten Raum mit der inneren Wärmequelle l , festgelegt in [ONO08a]
$\Phi_{\text{int,mn},k}$	der zeitlich gemittelte Wärmestrom der inneren Wärmequelle k in W, bestimmt nach [ONO08a] im Abschnitt 10.3
$\Phi_{\text{int,mn},u,l}$	der zeitlich gemittelte Wärmestrom der inneren Wärmequelle l im angrenzenden, nicht konditionierten Raum in W, bestimmt nach [ONO08a] im Abschnitt 10.3
t	die Dauer des Berechnungszeitraums in Megasekunden

2.1.6. Solare Wärmeeinträge

Wärmeeinträge aus solaren Wärmequellen ergeben sich aus der Sonnenstrahlung, die üblicherweise am betrachteten Standort vorliegt. Für das Monatsbilanzverfahren sind Monatsmittelwerte für die solare Einstrahlung in [ONO11] angegeben. Die solaren Gewinne werden auch von ständigen und beweglichen Verschattungseinrichtungen, von dem solaren Durchlassgrad, von der Absorption, sowie von den Wärmetransfereigenschaften der Kollektorflächen beeinflusst. Berechnet werden die solaren Wärmequellen wie folgt:

$$Q_{\text{sol}} = \left(\sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right) * t + \left(\sum_l (1 - b_{\text{tr,l}}) * \Phi_{\text{sol,mn,u,l}} \right) * t \quad (20)$$

Q_{sol} Gesamtheit der solaren Wärmeeinträge in MJ

$b_{\text{tr,l}}$ der Abminderungsfaktor für den angrenzenden nicht konditionierten Raum mit der solaren Wärmequelle /

$\Phi_{\text{sol,mn,k}}$ der zeitlich gemittelte Wärmestrom der solaren Wärmequelle k in W

$\Phi_{\text{sol,mn,u,l}}$ der zeitlich gemittelte Wärmestrom der solaren Wärmequelle l im angrenzenden, nicht konditionierten Raum in W

t die Dauer des Berechnungszeitraums in Megasekunden

2.1.6.1. Elemente solarer Wärmeeinträge

In diesem Abschnitt geht es um den Wärmestrom durch solare Einträge, basierend auf den wirksamen Kollektorflächen der jeweiligen Bauteile und auf den Korrekturen für Verschattung durch außen liegende Hindernisse. Neben diesen stellt er eine Korrektur für die Wärmestrahlung an den Himmel bereit. [ONO08a]

Der Wärmestrom durch solare Einträge durch Bauteil k , $\Phi_{\text{sol,k}}$ kann wie folgt anhand [ONO08a] berechnet werden.

$$\Phi_{\text{sol,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} * A_{\text{sol,k}} * I_{\text{sol,k}} - F_{\text{r,k}} * \Phi_{\text{r,k}} \quad (21)$$

$\Phi_{\text{sol,k}}$ der Wärmestrom durch solare Einträge durch ein Bauteil k in W

$F_{\text{sh,ob,k}}$ der Verschattungsfaktor durch außen liegende Hindernisse für die wirksame solare Kollektorfläche der Oberfläche k , dimensionslos,

bestimmt nach 11.4.4. in [ONO08a]

$A_{sol,k}$	die wirksame Kollektorfläche der Oberfläche k mit einer bestimmten Ausrichtung und mit einem bestimmten Neigungswinkel in der betrachteten Zone oder in dem betrachteten Raum in m^2
$I_{sol,k}$	die solare Bestrahlungsstärke, d. h. die mittlere Energie der solaren Bestrahlung über den Berechnungszeitschritt, je Quadratmeter Kollektorfläche der Oberfläche k mit einer bestimmten Ausrichtung und mit einem bestimmten Neigungswinkel in W/m^2 , ermittelt nach Anhang F in [ONO08a]
$F_{r,k}$	der Sichtfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel, dimensionslos, bestimmt nach 11.4.6. in [ONO08a]
$\Phi_{r,k}$	der zusätzliche Wärmestrom aufgrund der von Bauteil k ausgehenden Wärmestrahlung an den Himmel in W

Die wirksame solare Kollektorfläche $A_{sol,k}$ ist gleich der Fläche eines schwarzen Körpers mit dem gleichen solaren Wärmeeintrag wie die betrachtete Oberfläche.

2.1.6.1.1. Wirksame solare Kollektorfläche von verglasten Bauteilen

Die wirksame solare Kollektorfläche eines verglasten Bauteils der Gebäudehülle A_{sol} ist wie folgt bestimmt:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} * g_{gl} * (1 - F_F) * A_{w,p} \quad (22)$$

$F_{sh,gl}$	der Verschattungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtung, dimensionslos
g_{gl}	der solare Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Teiles des Bauteils
F_F	der Rahmenflächenanteil, d.h. das Verhältnis von projizierter Rahmenfläche zur gesamten Projektionsfläche des verglasten Bauteils, bestimmt nach 11.4.5. in [ONO08a]
$A_{w,p}$	die gesamte Projektionsfläche des verglasten Bauteils in m^2

2.1.6.1.2. Wirksame solare Kollektorfläche von opaken Bauteilen

Die wirksame Kollektorfläche eines opaken Bauteils der Gebäudehülle A_{sol} ist wie folgt bestimmt.

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} * R_{se} * U_c * A_c \quad (23)$$

$\alpha_{S,c}$ der dimensionslose Absorptionskoeffizient für die Sonneneinstrahlung auf den opaken Teil, aus geeigneten nationalen Quellen

R_{se} der Oberflächenwärme-Durchlasswiderstand des opaken Teils nach ISO 6946 in m^2K/W

U_c der Wärmedurchgangskoeffizient des opaken Bauteils nach ISO 6946 in W/m^2K

A_c die Projektionsfläche des opaken Teils in m^2

2.1.6.1.3. Wärmestrahlung an den Himmel

Der zusätzliche Wärmestrom aufgrund der Wärmestrahlung an den Himmel für ein bestimmtes Bauteil der Gebäudehülle Φ_r errechnet sich wie folgt:

$$\Phi_r = R_{se} * U_c * A_c * h_r * \Delta\Phi_{cr} \quad (24)$$

R_{se} der Wärmeübergangswiderstand an der Außenoberfläche des Bauteils, bestimmt ISO 6946 in W/m^2K

U_c der Wärmedurchgangskoeffizient des opaken Bauteils nach ISO 6946 in W/m^2K

A_c die Projektionsfläche des opaken Teils in m^2

h_r der äußere Strahlungswärmetransferkoeffizient, bestimmt nach 11.4.6. in [ONO08a] in W/m^2K

$\Delta\Phi_{cr}$ die mittlere Differenz zwischen der Außenlufttemperatur und der scheinbaren Temperatur des Himmels, bestimmt nach 11.4.6. in [ONO08a] in Grad Celsius

Auf nationaler Ebene darf es entschieden werden, ob den zusätzlichen Wärmestrom aufgrund der Wärmestrahlung an den Himmel je nach Anwendung als einen zusätzlichen Transmissionswärmetransfer zu betrachten

ist, wobei anstelle der Lufttemperatur eine Betriebsaußentemperatur verwendet wird. [ONO08a]

2.1.6.1.4. Der solare Energiedurchlassgrad von verglasten Bauteilen

Der solare Gesamtenergiedurchlassgrad g_{gl} ist das zeitlich gemittelte Verhältnis zwischen der durch ein transparentes Bauteil gehenden Energie und der auf das Bauteil auffallenden Energie.

Für Fenster oder für sonstige verglaste Bauteile der Gebäudehülle mit nicht streuender Verglasung ist der solare Energiedurchlassgrad g_n für eine senkrecht, zur Verglasung verlaufende Strahlung nach [ONO08a] in Anhang A zu ermitteln.

Da der Wert des zeitlich gemittelten solaren Energiedurchlassgrades etwas geringer ist als $g_{gl,n}$, wird ein Korrekturfaktor F_w angewendet.

$$g_{gl} = F_w * g_{gl,n} \quad (25)$$

F_w Korrektur für nicht streuende Verglasung, dimensionslos

Sind auf nationaler Ebene keine Werte festgelegt, gilt für den Korrekturfaktor

$$F_w = 0.9$$

Bei verglasten Bauteilen der Gebäudehülle mit streuender Verglasung oder Sonnenschutzeinrichtungen kann der solare Energiedurchlassgrad für eine senkrecht, zur Verglasung verlaufende Strahlung (bei normalem Strahlungseinfall) g_n zu einer wesentlichen Unterschätzung des zeitlich gemittelten solaren Durchlassgrades führen.

Der zeitlich gemittelte solare Gesamtenergiedurchlassgrad wird entsprechend der gewichteten Summe nach folgender Gleichung berechnet:

$$g_{gl} = a_{gl} * g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) * g_{gl,dif} \quad (26)$$

a_{gl} ein Gewichtungsfaktor, der für die Position (Ausrichtung, Neigung) des Fensters, für das Klima steht

$g_{gl,alt}$ der solare Energiedurchlassgrad für die Sonnenstrahlung aus einem Höhenwinkel der für die Position (Ausrichtung, Neigung) des Fensters, für das Klima steht

$g_{gl,dif}$ der solare Energiedurchlassgrad für isotrope, diffuse
Sonnenstrahlung

Sind auf nationaler Ebene keine Werte festgelegt, müssen folgende Werte angesetzt werden. Für a_{gl} kann 0.75, für alt_{gl} kann 45° eingesetzt werden.

2.1.6.1.5. Bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen (Verschattungseinrichtungen)

Für das Monats-Bilanzverfahren ist der Verschattungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen $F_{sh,gl}$ anhand [ONO08a] nach der Gleichung (27) abzuleiten:

$$F_{sh,gl} = \frac{((1-f_{sh,with}) * g_{gl} + f_{sh,with} * g_{gl+sh})}{g_{gl}} \quad (27)$$

g_{gl} der solare Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters, wenn die Sonnenschutzeinrichtung nicht in Gebrauch ist

g_{gl+sh} der solare Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters, wenn die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist

$f_{sh,with}$ der gewichtete Anteil der Zeit, während der die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist (als Funktion der Intensität der einfallenden Sonneneinstrahlung)

2.1.6.1.6. Der äußere Verschattungsfaktor

Der äußere Verschattungsfaktor $F_{sh,o}$ kann im Bereich zwischen Null und Eins liegen. Er stellt die Verringerung der einfallenden Sonnenstrahlung durch dauerhafte Verschattung der betreffenden Oberfläche dar, die sich aus den folgenden Parametern ergeben kann:

- Gebäude
- Topographie
- Überhänge
- weitere Bauteile desselben Gebäudes
- der äußere Teil der Wand, in der das verglaste Bauteil eingebaut ist.

Der Verschattungsfaktor $F_{sh,o}$ kann wie folgt berechnet werden:

$$F_{sh,o} = \frac{I_{sol,ps,mean}}{I_{sol,mean}} \quad (28)$$

$I_{sol,ps,mean}$ die mittlere solare Bestrahlung, die tatsächlich auf die Kollektorebene auftritt, die während der betrachteten Heiz- bzw. Kühlperiode durch ein äußeres Hindernis verschattet wird in W/m^2

$I_{sol,mean}$ die mittlere solare Bestrahlung, die auf die Kollektorebene ohne Verschattung auftritt in W/m^2

2.1.6.1.7. Zusätzlicher Wärmetransfer durch Wärmestrahlung an den Himmel

Die Werte des Formfaktors für die Strahlung zwischen dem Bauteil und dem Himmel sind:

$F_r = 1$ für ein horizontales Dach ohne Verschattung

$F_r = 0,5$ für eine vertikales Dach ohne Verschattung

Der externe Strahlungswärmetransferkoeffizient h_r kann wie folgt bestimmt werden.

$$h_r = 4 * \varepsilon * \sigma * (\Phi_{ss} + 273)^3 \quad (29)$$

ε der Emissionsgrad der Wärmestrahlung der äußeren Oberfläche

σ die Stefan-Boltzmann-Konstante: $\sigma = 5,67 * 10^{-8}$ in $W/(m^2K^4)$

Φ_{ss} das arithmetische Mittel der Oberflächentemperatur und der Temperatur des Himmels in Grad Celsius

2.1.7. Dynamische Parameter

Bei dem Monats-Bilanzverfahren werden die dynamischen Auswirkungen mithilfe eines Korrelationskoeffizienten berücksichtigt. Der Einfluss der Wärmespeicherung der betrachteten Gebäudezone wird – anders als bei dynamischen Modellen – durch die Einführung von einem dimensionslosen Ausnutzungsgrad erreicht.

2.1.7.1. Der Ausnutzungsgrad der Einträge für den Heizbetrieb

Der Ausnutzungsgrad der Einträge für das Heizen $\eta_{H,gn}$ ist eine Funktion des Wärmebilanzverhältnisses γ_H und eines numerischen Parameters a_H , der von der Gebäudetragheit des Gebäudes abhängig ist. Es gelten anhand [ONO08a] die folgenden Gleichungen:

$$\text{wenn } \gamma_H > 0 \text{ und } \gamma_H \neq 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad (30)$$

$$\text{wenn } \gamma_H = 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (31)$$

$$\text{wenn } \gamma_H < 0: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (32)$$

Das Wärmebilanzverhältnis errechnet sich wie folgt:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (33)$$

γ_H das dimensionslose Wärmebilanzverhältnis für den Heizbetrieb

$Q_{H,gn}$ der Gesamtwärmetransfer für den Heizbetrieb in MJ

$Q_{H,ht}$ die gesamten Wärmeeinträge für den Heizbetrieb in MJ

a_H ein dimensionsloser numerischer Parameter

$$a_H = a_{H,0} \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (34)$$

$a_{H,0}$ ein dimensionsloser numerischer Bezugsparameter

τ die Zeitkonstante der Gebäudezone

$\tau_{H,0}$ Bezugszeitkonstante

Die Parameterwerte sind empirische Werte und dürfen auf nationaler Ebene festgelegt werden. Wenn auf nationaler Ebene keine Werte festgesetzt werden, dürfen die angegebenen tabellarischen Werte (Tabelle 1) verwendet werden.

Tabelle 1: Werte für den numerischen Parameter $a_{H,0}$ und die Bezugszeitkonstante $\tau_{H,0}$ [ONO08a]

Verfahrensart	$a_{H,0}$ [-]	$\tau_{H,0}$ [h]
Monats-Berechnungsverfahren	1,0	15
Heiz-/Kühlperioden-Berechnungsverfahren	0,8	30

Eine wichtige Anmerkung ist in [ONO08a], dass „der Ausnutzungsgrad der Einträge [...] unabhängig von den Eigenschaften der Heizanlage festgelegt wird, „wobei eine ideale Temperaturregelung und eine unbegrenzte Flexibilität angenommen werden. Eine langsam reagierende Heizanlage und eine nicht ideal arbeitende Regeleinrichtung können die Ausnutzung der Wärmeeinträge stark beeinträchtigen.“

2.1.7.2. Ausnutzungsgrad der Verluste für den Kühlbetrieb

Der Ausnutzungsgrad der Verluste für das Kühlen $\eta_{C,ls}$ ist eine Funktion des Wärmebilanzverhältnisses γ_C und eines numerischen Parameters a_C , der von der Gebäudeträgheit des Gebäudes abhängig ist. Es gelten anhand [ONO08a] die folgenden Formeln:

$$\text{wenn } \gamma_C > 0 \text{ und } \gamma_C \neq 1: \quad \eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}} \quad (35)$$

$$\text{wenn } \gamma_C = 1: \quad \eta_{C,ls} = \frac{a_C}{a_C + 1} \quad (36)$$

$$\text{wenn } \gamma_C < 0: \quad \eta_{C,ls} = 1 \quad (37)$$

Das Wärmebilanzverhältnis wird wie folgt berechnet:

$$\gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}} \quad (38)$$

γ_C das dimensionslose Wärmebilanzverhältnis für den Kühlbetrieb

$Q_{C,gn}$ der Gesamtwärmetransfer für den Kühlbetrieb in MJ

$Q_{C,ht}$ die gesamten Wärmeeinträge für den Kühlbetrieb in MJ

a_C ein dimensionsloser numerischer Parameter .

$$a_C = a_{C,0} \frac{\tau}{\tau_{C,0}} \quad (39)$$

$a_{C,0}$ ein dimensionsloser numerischer Bezugsparameter

τ die Zeitkonstante der Gebäudezone

$\tau_{C,0}$ Bezugszeitkonstante

Die Parameterwerte sind auf nationaler Ebene festgesetzte empirische Werte. Falls auf nationaler Ebene keine Werte festgelegt werden, dürfen die angegebenen tabellarischen Werte (Tabelle 2) verwendet werden.

Tabelle 2: Werte für den numerischen Parameter $a_{C,0}$ und für die Bezugszeitkonstante $\tau_{C,0}$ [ONO08a]

Verfahrensart	$a_{C,0}$ [-]	$\tau_{C,0}$ [h]
Monats-Berechnungsverfahren	1,0	15
Heiz-/Kühlperioden-Berechnungsverfahren	0,8	30

Das Verhältnis des Ausnutzungsgrades zu dem Gewinn-/Verlustverhältnis stellt anhand [ONO08a] die folgende Abbildung dar.

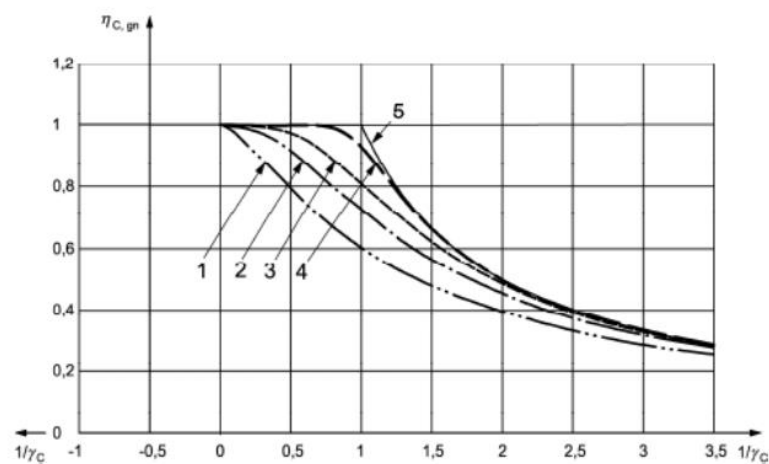


Abbildung 1: Die Ausnutzungsgrade der Verluste für das Monats-Berechnungsverfahren und für verschiedene Zeitkonstanten [ONO08a]

2.1.7.3. Zeitkonstante des Gebäudes

Die Zeitkonstante einer Gebäudezone wird in Stunden angegeben. Sie charakterisiert die innere Wärmeträgheit der konditionierten Zone während des Heiz- und/oder des Kühlbetriebs. Die Gleichung für die Zeitkonstante ergibt sich wie folgt:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad (40)$$

C_m die innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes oder der Gebäudezone

$H_{tr,adj}$ ein repräsentativer Wert des Gesamt-Transmissionswärmetransferkoeffizienten, angepasst an die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur, berechnet nach 8.3 in [ONO08a], angegeben in W/K

$H_{ve,adj}$ ein repräsentativer Wert des Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizienten, angepasst an die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur, berechnet nach 9.3 in [ONO08a], angegeben in W/K.

„Repräsentative Werte für $H_{tr,adj}$ und $H_{ve,adj}$ sind die Werte, die für die vorherrschende (Heiz- oder Kühl-) Periode repräsentativ sind.“ Sie sind nach den national gültigen Verfahren zu ermitteln. [ONO08a]

2.1.7.4. Die innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes

Die innere Wärmespeicherfähigkeit einer Gebäudezone wird als C_m angegeben. Sie wird durch Addition der Wärmespeicherfähigkeit aller Bauteile berechnet, die sich mit der Innenluft in der betrachteten Zone in direktem Kontakt befinden. Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Formel.

$$C_m = \sum k_j * A_j \quad (41)$$

k_j die innere Wärmespeicherfähigkeit je Flächeneinheit des Bauteils j mit einer maximalen wirksamen Dicke angegeben in J/m²K

A_j die Fläche des Bauteils j in m²

Die für die innere Wärmespeicherfähigkeit zu berücksichtigenden maximalen Dicke, bei einem Variationszeitraum von einem Tag, ist 0,1 Meter.

Es gibt keine Werte auf nationaler Ebene, deshalb dürfen die in der Tabelle 3 vorgegebenen Werte verwendet werden.

Tabelle 3: Standardwerte für dynamische Parameter [ONO08a]

Klasse	Monatsverfahren
	$C_m[\text{J/K}^b]$
Sehr leicht	$80.000 \cdot A_f$
Leicht	$110.000 \cdot A_f$
Mittel	$165.000 \cdot A_f$
Schwer	$260.000 \cdot A_f$
Sehr schwer	$370.000 \cdot A_f$

2.1.8. Zonierung

Bei der Berechnung ist es nützlich, ein Gebäude in verschiedene Zonen zu unterteilen, wobei die Berechnung des Heiz- und Kühlbedarfs für jede Zone separat erfolgt. Ein wichtiges Kennzeichen einer Zone ist die gleiche Konditionierung und die gleiche Nutzung der Räume. Laut [ONO08a] können drei Berechnungsarten bezüglich der Berechnung unterschieden werden.

- Das gesamte Gebäude wird als einzelne Zone modelliert (Einzonenmodell).
- Das Gebäude wird in verschiedene Zonen unterteilt (Mehrzonenberechnung), wobei die Wärmekopplung zwischen den Zonen berücksichtigt wird.
- Das Gebäude wird in verschiedene Zonen unterteilt (Mehrzonenberechnung), wobei die Wärmekopplung zwischen den Zonen nicht berücksichtigt wird.

Das Unterteilen eines Gebäudes in verschiedene Zonen ist laut [ONO08a] nur dann erforderlich, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen bezüglich der Räume innerhalb des Gebäudes erfüllt werden.

- Die Solltemperaturen für das Heizen der Räume weichen um mehr als 4 K ab.
- Die Räume werden maschinell gekühlt und die Solltemperaturen für das Kühlen der Räume weichen um mehr als 4 K ab.
- Die konditionierten Räume werden von verschiedenen Heiz- oder Kühlanlagen versorgt.
- Die konditionierten Räume werden von verschiedenen Lüftungsanlagen versorgt und höchstens 80 % der Nutzfläche der Räume werden durch diese Lüftungsanlagen versorgt.
- Der Betrag des Luftaustausches in den Räumen, in m^3 je m^2 Nutzfläche je Sekunde, weicht um mehr als einen Faktor von vier ab.

Die Mehrzonenberechnung – Keine Wärmekopplung zwischen den Zonen

In dieser Arbeit spielt die „Wärmekopplung“ zwischen den Zonen eine wichtige Rolle bei der Genauigkeit des Berechnungsverfahrens. Bei der Mehrzonenberechnung ohne Wärmekopplung zwischen den Zonen wird (laut [ONO08a] Anhang B) kein Wärmetransfer durch Wärmetransmission oder Luftbewegung zwischen den Zonen berücksichtigt. Wird das Gebäude in verschiedene Zonen unterteilt, darf es entschieden werden, ob die Berechnung jeder Zone unabhängig von den anderen unter Anwendung des Einzonenverfahrens und unter der Annahme adiabatischer Grenzen zwischen den Zonen erlaubt ist.

Die Mehrzonenberechnung – Wärmekopplung zwischen den Zonen

Bei einer Mehrzonenberechnung mit Wärmekopplung zwischen den Zonen wird (laut [ONO08a] Anhang B) der gesamte Wärmetransfer, durch Transmission oder Luftbewegung berücksichtigt. Um die Bauvorschriften einzuhalten, sollte darauf aufgepasst werden, dass eine Mehrzonenberechnung mit Wechselwirkungen zwischen den Zonen bedeutend mehr und teilweise willkürliche Eingangsdaten und die Einhaltung der in den Bauvorschriften enthaltenen Beschränkungen, die den Regeln für die Unterteilung in Zonen erfordert.

2.2. Die dynamische Gebäudesimulation

Die Modellierung von realen Gebäuden bedingt einige Vereinfachungen, besonders mathematische, und somit verschiedene Modellansätze für die Lösung der zu bestimmenden Parameter. Grundsätzlich wird das Gesamtsystem in verschiedene Teilsysteme zerlegt, wobei für das thermische Verhalten dieser Teilsysteme jeweils analytische Lösungen bekannt sind. Danach werden diese Teilmodelle wieder über analytische Modelle miteinander verknüpft, sodass schließlich eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Gesamtsystems zu erzielen ist. „Die Teilsysteme mit bekannten analytischen Lösungen sind beispielsweise: die instationäre Wärmeleitung, die Strömung von Luft im Raum und der Strahlungsaustausch zwischen den Bauteilen. Diese Teilsysteme können durch die Fourier-Gleichung, durch die Navier – Stokes-Gleichungen und durch das Planck'sche Gesetz gelöst werden. Häufig können jedoch auch die Teilsysteme – und insbesondere deren Verknüpfungen zum Gesamtsystem – nicht mehr analytisch gelöst werden, weswegen zur Lösung numerische Verfahren erforderlich werden.“ [GRA11]

Die Herstellung der Verknüpfungen der Teilsysteme zum Gesamtsystem ist ein grundlegendes Kriterium „zur Unterscheidung verschiedener Modelle zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden“. Es gibt diesbezüglich verschiedene Ansätze mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden. „Insbesondere die Berücksichtigung der dynamischen Elemente im thermischen Verhalten eines Gebäudes ist dabei entscheidend für die Komplexität des Modells“, die sich vor allem auf die Wärmespeicherung im Gebäude bezieht. [GRA11]

In dieser Arbeit wird die dynamische Gebäudesimulation mit der schon erwähnten Software „BuildOpt-VIE“ durchgeführt. Sie wurde für alle in dieser Arbeit angeführten Simulationsberechnungen im Kontext des Heizwärme- und Kühlbedarfs verwendet.

Die Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung bei der dynamischen Gebäudesimulation erfolgt über ein Raumknotenmodell (in dem Programm „BuildOpt-VIE“). In den folgenden Unterkapiteln werden auf das Raumknotenmodell und auf die dazu verwendeten Teilmodelle anhand des Berichtes [SCH04] eingegangen.

2.2.1. Klimadaten

Im Folgenden wird auf die Grundkategorie „Klimadaten“ näher eingegangen. In dem Unterkapitel „Klimadaten“ werden die Temperatur und die Globalstrahlung diskutiert.

2.2.1.1. Temperaturen

Bei einer dynamischen Gebäudesimulation bedeutet der zeitabhängige Verlauf der Außenklimagrößen eine Eingangsgröße. Dieser wird üblicherweise über Klimadatensätze zu Verfügung gestellt. Dabei werden verschiedene Datensätze für dynamische Simulationen einbezogen. Es gibt drei häufig verwendete Klimadatensätze: [SCH04]

- IWEK Klimadatensatz (International Weather for Energy Calculations)
- TRY Klimadatensatz (Test Reference Year)
- HSKD (Halb-Synthetische-Klima-Daten)

2.2.1.2. Globalstrahlung

Eine Gebäudesimulation berücksichtigt die dynamischen Vorgänge innerhalb eines Raumes bzw. innerhalb eines Gebäudes. Um diese Dynamik abbilden zu können, wird in der Simulation der zeitliche Verlauf der solaren Einstrahlung (und der Außentemperatur) benötigt. Die meisten Klimadatensätze (zum Beispiel: TRY, IWEK, usw.) geben stündliche Werte für die Außentemperatur und Solarstrahlung vor. Die Solarstrahlung ist dabei in Direktstrahlung und Diffusstrahlung aufgeteilt, wobei sich die angegebene Strahlung immer auf eine horizontale Fläche bezieht. In [SCH04] werden verschiedene Modelle zur Ermittlung der Strahlungsintensität auf beliebig orientierte und geneigte Flächen vorgestellt und verglichen. [SCH04]

Infolge dessen, dass die Strahlung bei der dynamischen Simulation in Stundenwerten dargestellt wird, hat es auch einen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse, deshalb hat dieses Verfahren eine bessere Rechengenauigkeit als das quasi-stationäre Verfahren.

2.2.2. Die Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung – Das Raumknotenmodell

Das Heizwärme- und Kühlbedarf ist das Integral über die Heiz- und Kühllasten (zeitabhängig). Im Raumknotenmodell sind diese Lasten im Prinzip ein Luftknoten, ein Strahlungsknoten und ein Bauteilknoten, wo es einen konvektiven Wärmehaustausch und Strahlungswärmehaustausch gibt. Die Abbildung 2 stellt dieses Raumknotenmodell dar. Das in dieser Abbildung dargestellte Modell enthält nur zwei Wand- und zwei Fensterbauteile. Das Raumknotenmodell kann um eine beliebige Anzahl von Knotenpunkten erweitert werden.

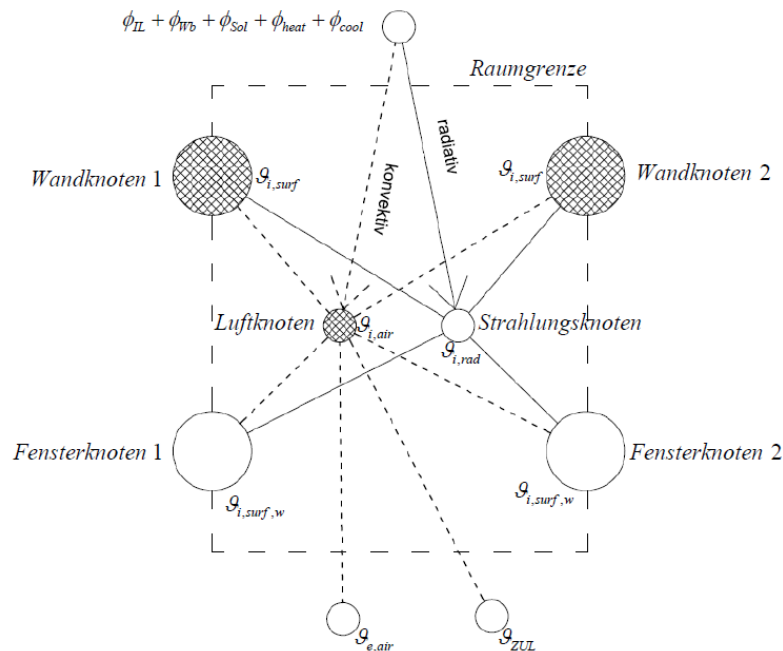


Abbildung 2: Schema des Raumknotenmodells [SCH04]

Der Heizwärmebedarf entsteht in dieser Simulation anhand des folgenden Steueralgorithmus.

$$T_{op} < T_{op}^{SET} \quad , \text{ dann } HL=x$$

$$T_{op} > T_{op}^{SET} \quad , \text{ dann } HL=\emptyset$$

Während der Modellierung wird die Heizung eingeschaltet, wenn die operative Temperatur kleiner als die eingestellte Temperatur T_{op}^{SET} ist. Wenn die operative Temperatur größer als die eingestellte Temperatur ist, dann wird die Heizung wieder ausgeschaltet und die Heizlasten (HL) werden Null. Bei der

Heizwärmebedarfsberechnung werden die stündlichen Werte auf das ganze Jahr aufsummiert.

Die Berechnung des Kühlbedarfs ist der Heizwärmebedarfsberechnung ähnlich:

$$T_{op} > T_{op}^{SET} \text{ , dann } KL=x$$

$$T_{op} < T_{op}^{SET} \text{ , dann } KL=\emptyset$$

Die Kühlung (KL) wird nur dann eingeschaltet, wenn die operative Temperatur größer als die eingestellte Temperatur T_{op}^{SET} ist. Die stündlichen Werte von Kühllasten werden ebenfalls auf das ganze Jahr summiert.

2.2.3. Der Gesamtwärmetransfer durch Transmission

Die dynamische Gebäudesimulation berücksichtigt die Verluste durch Transmission unter einer instationären Klimasituation. Damit bildet die dynamische Gebäudesimulation das thermische Verhalten der Gebäude quantitativ mit einer höheren Genauigkeit als das quasi-stationäre Verfahren ab.

Bei dem Raumknotenmodell sind der Gesamtwärmetransfer durch Transmission und die solaren Wärmeeinträge bei der dynamischen Simulation – im Gegensatz zu dem Monatsbilanzverfahren – miteinander vermischt.

Für die Bestimmung der operativen Temperatur im Raum ist die Kenntnis der Wärmeabgabe der Bauteile an den Raumknoten erforderlich. Die an den Raumknoten abgegebene Wärme bzw. die dem Raumknoten entzogene Wärme ist vom Wärmeübergang zwischen den verschiedenen Bauteilen und dem Raum abhängig. Der Wärmeübergang zwischen den Bauteiloberflächen und deren Umgebung ist in [SCH04] erläutert.

Um die Änderung der Luft- und der Strahlungstemperatur berechnen zu können, müssen die Oberflächentemperaturen der einzelnen Bauteile bekannt sein. Der zeitabhängige Temperaturverlauf innerhalb eines Bauteils wird mithilfe der Bauteilmodelle berechnet. Im Folgenden wird das Zwei-Kapazitätenmodell anhand [SCH04] beschrieben, jenes Modell, welches vom Programm „BuildOpt-VIE“ bei der dynamischen Simulation verwendet wird.

2.2.3.1. Das Modell für nicht aktivierte Bauteile – Das Zwei-Kapazitätenmodell

Randbedingungen

Die Temperaturrandbedingungen an den Grenzschichten des jeweiligen Bauteils sollen definiert werden, damit das thermische Verhalten eines opaken Bauteils abgebildet werden kann. Die Abbildung 3 stellt den Querschnitt durch ein beliebiges Bauteil mit der Kennzeichnung der für das Bauteilmodell relevanten Temperaturen dar.

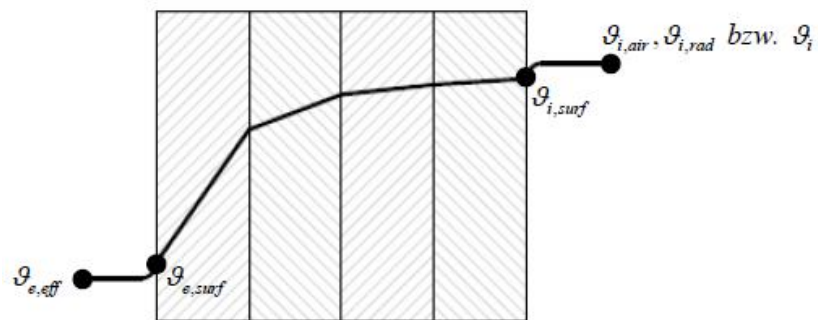


Abbildung 3: Bauteilquerschnitt mit Bezeichnung der Temperaturen [SCH04]

Die Luft- und die Strahlungstemperatur aus dem Raumknotenmodell bilden die Temperaturrandbedingung an der Innenseite des Bauteils für die Berechnung des Bauteilverhaltens. Für die Verwendung dieser Temperaturrandbedingung im Bauteilmodell kann eine effektive Innentemperatur über das mit den Übergangskoeffizienten für Strahlung und Konvektion gewichtete Mittel der Strahlungs- und der Lufttemperatur herangezogen werden.

An der Außenseite von den Bauteilen wird für die Berechnung des Wärmestroms durch ein Bauteil eine effektive Temperatur benutzt. Diese effektive Temperatur berücksichtigt neben der vorliegenden Außenlufttemperatur sowohl die kurzwellige Einstrahlung auf die Bauteiloberfläche als auch den langwelligen Strahlungsaustausch des Bauteils mit der Umgebung. [HAG01]

$$\vartheta_{e,eff} = \vartheta_{e,air} + \frac{1}{\alpha_{e,c} + \alpha_{e,r}} * \left(I_g * \alpha_{eol} + \alpha_r * (\vartheta_{e,Umgebung} - \vartheta_{e,air}) \right) \quad (42)$$

$\vartheta_{e,eff}$ effektive Temperatur an der Außenseite von den Bauteilen in °C

$\vartheta_{e,Umgebung}$ Temperatur der Umgebung in °C

$\alpha_{e,c}$	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient an der Außenseite in W/m^2K
$\alpha_{e,r}$	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung an der Außenseite in W/m^2K
I_g	Globalstrahlung auf die Bauteiloberfläche in W/m^2
α_{eol}	Absorptionskoeffizient für Kurzweilige Solarstrahlung, dimensionslos

Die anzusetzende Umgebungstemperatur wird dabei einerseits durch die Temperatur der umgebenden Oberflächen und andererseits durch die Temperatur des Himmels beeinflusst. Wird es angenommen, dass sich auf den umgebenden Oberflächen auf Außentemperaturniveau befinden, ergibt sich die Umgebungstemperatur unter Berücksichtigung des Sichtfaktors zwischen Bauteiloberfläche und Himmel nach der folgenden Formel:

$$\vartheta_{e,Umg} = SF * \vartheta_{e,sky} + (1 - SF) * \vartheta_{e,air} \quad (43)$$

SF Sichtfaktor zwischen Bauteiloberfläche und Himmel, dimensionslos

$\vartheta_{e,sky}$ Temperatur des Himmels in $^{\circ}C$

Für die kurzweilige Einstrahlung ist für die Außenseite der opaken Außenbauteile ein an der äußeren Oberfläche entsprechender Absorptionsgrad für kurzweilige Strahlung einzuführen. Wenn der Absorptionsgrad nicht bekannt ist, kann der Wert 0,5 verwendet werden [ONO12]. Für den konvektiven Wärmeübergang an der Außenseite kann der Übergangskoeffizient mit $20 W/m^2K$ verwendet werden. Der Übergangskoeffizient für Strahlung kann mit $5 W/m^2K$ angenommen werden. Die Strahlungstemperatur des Himmels wird in [EIC12] mit 10-20 K unter der Umgebungstemperatur angegeben. Laut [HAG01] kann die Strahlungstemperatur in Abhängigkeit der Bewölkung berechnet werden. [SCH04]

Das Zwei-Kapazitätenmodell

Das vereinfachende Zwei-Kapazitätenmodell kann bei der Modellierung der Bauteile ohne thermische Aktivierung verwendet werden. Dieses Modell liefert ausreichend genaue Ergebnisse für nicht aktivierte Bauteile. Soll eine wärmeabgebende Schicht in einem Bauteil berücksichtigt werden, so ist der Umstieg auf ein Modell mit einer höheren Anzahl von Kapazitäten empfehlenswert. Damit steigen jedoch die benötigte Rechenleistung und die Berechnungsdauer. Für dieses Modell werden sowohl eine Wärmekapazität für die Innenoberfläche als auch eine Kapazität für die Außenoberfläche benötigt. Abbildung 4 stellt das Zwei-Kapazitätenmodell schematisch dar. [SCH04]

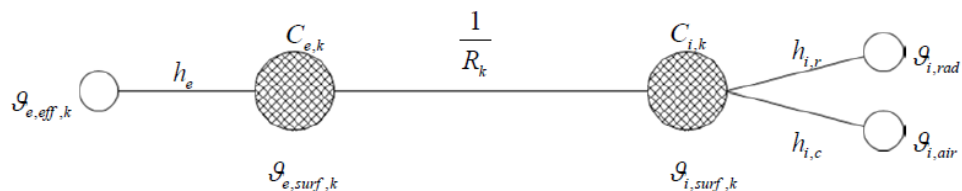


Abbildung 4: Schema des Zwei-Kapazitäten-Modells für das opake Bauteil k [SCH04]

Der Wärmetransport durch opake Bauteile

Der Wärmetransport durch opake Bauteile zufolge der Transmission kann wie folgt berechnet werden:

$$\Phi_T = \left(\frac{1}{R} + \Delta U_{WB} \right) * (\vartheta_{e,surf} - \vartheta_{i,surf}) * A \quad (44)$$

Φ_T Wärmestrom zufolge Transmission durch das Bauteil in W

R Wärmedurchgangswiderstand des Bauteils in m^2KW

ΔU_{WB} Wärmebrückenzuschlag in W/m^2K

$\vartheta_{e,surf}$ äußere Oberflächentemperatur des Bauteils in $^{\circ}C$

$\vartheta_{i,surf}$ innere Oberflächentemperatur des Bauteils in $^{\circ}C$

A Fläche des Bauteils in m^2

Die Oberflächentemperaturen der einzelnen Bauteile werden durch Lösung der folgenden Differentialgleichung anhand [SCH04] berechnet:

$$\frac{d\vartheta_{\text{surf}}(t)}{dt} = \frac{\Sigma \Phi(t)}{C} \quad \text{wo} \quad C = \chi * A \quad (45)$$

Die Änderung der Oberflächentemperatur kann auch nach folgenden Gleichungen mit dem Zeitschrittverfahren berechnet werden.

Für die Innenwandoberfläche:

$$\Delta\vartheta_{i,\text{surf}} = \vartheta_{i,\text{surf},i+1} - \vartheta_{i,\text{surf},i} = \frac{\Phi_{i,c} + \Phi_{i,r} - \Phi_T}{C_i} * \Delta t \quad (46)$$

Für die Außenwandoberfläche:

$$\Delta\vartheta_{e,\text{surf}} = \vartheta_{e,\text{surf},i+1} - \vartheta_{e,\text{surf},i} = \frac{\Phi_e - \Phi_T}{C_e} * \Delta t \quad (47)$$

$\Delta\vartheta_{i,\text{surf}}$	Änderung der inneren Oberflächentemperatur in K
$\Delta\vartheta_{e,\text{surf}}$	Änderung der äußeren Oberflächentemperatur in K
$\vartheta_{i,\text{surf},i+1}$	Innenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt i in °C
$\vartheta_{i,\text{surf},i}$	Innenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt $i+1$ in °C
$\vartheta_{e,\text{surf},i+1}$	Außenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt i in °C
$\vartheta_{e,\text{surf},i}$	Außenoberflächentemperatur zum Zeitpunkt $i+1$ in °C
$\Phi_{i,c}$	Wärmestrom zufolge Konvektion an der Innenoberfläche in W
$\Phi_{i,r}$	Wärmestrom zufolge Strahlung an der Innenoberfläche in W
Φ_T	Wärmestrom zufolge Transmission in W
Φ_e	Wärmestrom zufolge Konvektion und Strahlung an der Außenoberfläche in W
C_i	wirksame Wärmespeicherkapazität an der Innenseite in J/K
C_e	wirksame Wärmespeicherkapazität an der Außenseite in J/K
Δt	Zeitschrittweite in s

Die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität C ist der Koeffizient, der die Amplitude der Temperaturschwingung mit der Amplitude des Wärmestroms verknüpft. Je größer die Periodendauer ist (statt Tagesschwingungen, Wochenschwingungen oder Monatsschwingungen), desto größere Bereiche wirken an der Wärmespeicherung mit und die wirksame Wärmekapazität wird größer. Die Berechnung der Kapazität einer Schichtenfolge ist in [SCH04] beschrieben.

2.2.4. Der Wärmetransfer durch Lüftung

Die dynamische Gebäudesimulation berücksichtigt die Lüftung unter einer instationären Klimasituation im Gegensatz zum Monats-Bilanzverfahren. Durch die Verwendung von stundenweisen Eingangsdaten für die Zustandsgrößen für Außenluft, Zuluft und Abluft erhöht die Ergebnisqualität, die Rechengenauigkeit der Berechnung.

Die Belüftung eines Raumes beeinflusst die sich einstellenden Temperaturen grundlegend innerhalb eines Raumes. Die gesamten Lüftungsverluste bzw. –gewinne setzen sich aus einem hygienisch erforderlichen Luftwechsel, einem Infiltrationsluftwechsel und einem eventuell vorliegendem Fensterluftwechsel zusammen. Während der Fensterluftwechsel ausschließlich von (der Regelung) der Fensterstellung abhängt, sind zwei Fälle bei dem hygienischen Luftwechsel und dem Infiltrationsluftwechsel zu unterscheiden:

- hygienisch notwendiger Luftwechsel wird über eine mechanische Lüftungsanlage gewährt,
- hygienisch notwendiger Luftwechsel wird über Fensterlüftung gesichert.

Ist der Infiltrationsluftwechsel höher als der hygienische Luftwechsel, kann davon ausgegangen werden, dass der Benutzer die Fenster nicht öffnet und die geforderte Luftqualität trotzdem eingehalten werden kann. Der Wärmeaustausch aufgrund des Luftwechsels zwischen Innen und Außen bildet sich (ohne mechanische Lüftungsanlage) aus folgenden Anteilen [SCH04]:

Ohne mechanische Lüftungsanlage

$$\Phi_{LW} = \max(\Phi_{LW,inf}; \Phi_{LW,hyg}) + \Phi_{LW,fen} \quad (48)$$

Φ_{LW} Wärmestrom zufolge Luftwechsel in W

$\Phi_{LW,inf}$	Wärmestrom zufolge Infiltrationsluftwechsel in W
$\Phi_{LW,hyg}$	Wärmestrom zufolge hygienischem Luftwechsel in W
$\Phi_{LW,fen}$	Wärmestrom zufolge Luftwechsel über die Fenster in W

Mechanische Lüftungsanlage

Wenn eine mechanische Lüftungsanlage vorgesehen ist, ergibt sich der Wärmeaustausch zwischen Innen und Außen wie folgt:

$$\Phi_{LW} = \Phi_{LW,inf} + \Phi_{LW,mech} + \Phi_{LW,fen} \quad (49)$$

$\Phi_{LW,mech}$	Wärmestrom zufolge Luftwechsel über die mechanische Lüftungsanlage in W
------------------	---

Es werden sowohl Lüftungssysteme mit konstantem Volumenstrom, als auch mit variablem Volumenstrom ausgeführt. Beide Systeme können in der Simulation abgebildet werden. Die Höhe des Volumenstroms über die Lüftungsanlage ist ein Eingangsparameter des Lüftungsmodells und wird von der Regelungstechnik bestimmt. [SCH04]

Infiltration

Die Höhe des anzusetzenden Infiltrationsvolumenstroms wird im Zuge der Definition der Randbedingungen festgesetzt. In den verschiedenen Berechnungsmodellen wird aus der Luftwechselrate, die bei einer Druckdifferenz von 50 Pa gemessen wird (n_{50} -Wert), auf den ansetzbaren Infiltrationsvolumenstrom zurückgeschlossen. In dem Simulationsmodell wird der Wärmeaustausch durch den Infiltrationsluftwechsel nach folgender Gleichung berechnet [SCH04]:

$$\Phi_{LW,inf} = V_{inf} * \frac{\rho_{air} * c_{air}}{3600} * (\vartheta_{e,air} - \vartheta_{i,air}) \quad (50)$$

ρ_{air}	Dichte der Luft (bei 20 °C ca. 1,2 kg/ m ³) in kg/ m ³
c_{air}	spezifische Speicherkapazität von Luft (ca.1006 J/kgK) in J/kgK
V_{inf}	Infiltrationsvolumenstrom in m ³ /K
$\vartheta_{e,air}$	Außenlufttemperatur in °C
$\vartheta_{i,air}$	Innenlufttemperatur in °C

Hygienischer Luftwechsel

Die Höhe des anzusetzenden hygienischen Luftwechsels wird im Zuge der Definition der Randbedingungen für die Simulation festgesetzt. In dem Simulationsmodell ergibt sich der Wärmeaustausch durch den hygienischen Luftwechsel wie folgt [SCH04]:

$$\Phi_{\text{LW,hyg}} = V_{\text{hyg}} * \frac{\rho_{\text{air}} * c_{\text{air}}}{3600} * (\vartheta_{\text{e,air}} - \vartheta_{\text{i,air}}) \quad (51)$$

V_{hyg} hygienischer Luftvolumenstrom in m^3/h

Fensterluftwechsel

Der Wärmetransport als Folge des Luftwechsels über geöffnete oder gekippte Fenster wird wie folgt berechnet [SCH04]:

$$\Phi_{\text{LW,fen}} = C_{\text{ref}} * A * \sqrt{H} * \sqrt{|\vartheta_{\text{e,air}} - \vartheta_{\text{i,air}}|} * \frac{\rho_{\text{air}} * c_{\text{air}}}{3600} * (\vartheta_{\text{e,air}} - \vartheta_{\text{i,air}}) \quad (52)$$

C_{ref} Austauschkoeffizient (lt. [ONO11]: $C_{\text{ref}} = 100 \text{m}^{0.5} / \text{hK}^{0.5}$ in $\text{m}^{0.5} \text{K} / \text{hK}^{0.5}$)

A Fläche der Lüftungsöffnung in m^2

H Höhe der Lüftungsöffnung in m

Mechanisch induzierter Luftwechsel

Die Wärmeverluste bzw. die Wärmegewinne des Raumes durch den Luftwechsel über die mechanische Lüftungsanlage können nach der folgenden Formel berechnet werden [SCH04]:

$$\Phi_{\text{LW,mech}} = V_{\text{mech}} * \frac{\rho_{\text{air}} * c_{\text{air}}}{3600} * (\vartheta_{\text{zul}} - \vartheta_{\text{i,air}}) \quad (53)$$

V_{mech} Luftvolumenstrom über die mechanische Lüftungsanlage in m^3/h

ϑ_{zul} Zulufttemperatur in $^{\circ}\text{C}$

Es soll in Betracht gezogen werden, dass die angesetzte Zulufttemperatur jener Lufttemperatur entspricht, die effektiv eingeblasen wird. Wenn ein Wärmerückgewinnungssystem eingesetzt wird, ist die Berechnung der Lufttemperatur nach dem Wärmetauscher (in Abhängigkeit der Lage der Ventilatoren) in [SCH04] beschrieben.

2.2.5. Interne Wärmeeinträge

Wie es schon bei dem Monats-Bilanzverfahren diskutiert wurde, beeinflussen sowohl die abgegebene Leistung der anwesenden Personen, als auch die Leistung der elektrischen Geräte, usw. die Temperatur im Raum. Die abgegebene Leistung von Personen hängt von der im Raum vorliegenden Temperatur, von der Tätigkeit der Personen und von der Bekleidung der Personen ab. Die anzusetzende Leistung von Personen und Geräten stellt einen Eingangsparameter für die Simulation dar. Der für die Ermittlung der Luft- und Strahlungstemperatur benötigte konvektive Anteil der Wärmeabgabe von Personen und Geräten $\Phi_{IL,c}$ bzw. der radiative Anteil der Wärmeabgabe $\Phi_{IL,r}$ kann mit jeweils 50% angenommen werden. [SCH04]

Bei der Darstellung der internen Wärmeeinträge sollen einerseits der Einfluss der unterschiedlichen Wärmetransportmechanismen (bei der Abgabe der internen Wärme) und andererseits der zeitliche Verlauf der internen Wärmeeinträge diskutiert werden. Für die Wärmetransportmechanismen bei der Abgabe kommen Luftknotenmodelle zum Einsatz, infolge dessen werden die internen Wärmequellen als eingeprägte Wärmeströme an einem Raumlufknoten berücksichtigt. Die Wärmezufuhr für den Raumknoten wird so angesehen, als wäre die Luft bereits erwärmt. Auf den konvektiven Übergang und auf den Strahlungsaustausch mit den übrigen Raumbooberflächen ist dabei Acht zu geben.

Der zeitliche Verlauf der internen Wärmeeinträge ist nicht vollständig abbildbar oder mit anderen Worten formuliert, die exakte Abbildung des zeitlichen Verlaufes wäre zu aufwändig. Infolge dessen wird ein periodischer Ansatz der internen Wärmeeinträge bei der Simulation gewählt. [SOF09]

2.2.6. Solare Wärmeeinträge

Die solaren Wärmegewinne eines Gebäudes üben einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der dynamischen Raum- und Gebäudesimulationen aus. Bei der auf die opaken Bauteiloberflächen einfallende Strahlung wird ein Teil der Strahlung reflektiert und der andere Teil wird absorbiert. Die Absorption der solaren Strahlungsintensität führt zu einer Erwärmung der Oberflächen, welcher Prozess auf den Wärmetransport durch das betrachtete Bauteil einwirkt. Auch bei transparenten Bauteilen führt die Absorption der solaren Einstrahlung zu

einer Erwärmung der einzelnen Oberflächen der Verglasung. Ein Teil der auftreffenden Strahlung gelangt jedoch über die transparenten Flächen in das Gebäude und ruft eine Erwärmung der innenliegenden Oberflächen und somit eine Erhöhung der Strahlungstemperatur im Raum hervor. In weiterer Folge entsteht eine Erwärmung der Lufttemperatur im Raum aus der Konvektion an den Innenoberflächen. [SCH04]

Bei der dynamischen Gebäudesimulation kann die Einstrahlung auf die Fensterflächen nach der Orientierung des Gebäudes mithilfe der Stundenwerte der Strahlung getrennt ermittelt werden. Infolge dessen, dass die Kenngrößen im Allgemeinen zeitlich – sowohl hinsichtlich einer Stunde als auch bezüglich eines Jahres – schwanken, liefert die dynamische Gebäudesimulation genauere Ergebnisse mithilfe der Stundenwerte der solaren Strahlung und der Verschattungsaktivierung für jedes Fenster als das Monats-Bilanzverfahren.

Bei der Simulation wird der Sonnenschutz nur dann aktiviert, wenn ohne ihn die obere Solltemperaturgrenze überschritten wird. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass die solaren Wärmegewinne im Monatsbilanzverfahren keine direkte Auswirkung auf die Wärmetransmission der Bauteile haben.

Transparente Bauteile

Für die Berechnung der operativen Temperatur muss auf der einen Seite der konvektive Wärmeaustausch zwischen den Fensteroberflächen und der Raumluft und andererseits der Strahlungsaustausch der Fenster untereinander bzw. mit anderen Oberflächen berücksichtigt werden. Bei transparenten Flächen muss zusätzlich der Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung – im Gegensatz zu den opaken Bauteilen – herangezogen werden.

Das Schema des vorgestellten Fenstermodells mit Bezeichnung der verwendeten Berechnungsgrößen wird von der Abbildung 5 gezeigt. Es ist im Auge zu behalten, dass die thermische Kapazität der Verglasung, sowie die des Rahmens außer Acht gelassen werden. Das ist möglich da Fensterkonstruktionen im Gegensatz zu opaken Bauteilen stets kleine Speicherkapazitäten aufgrund ihrer verhältnismäßig niedrigen Masse besitzen. In dem Fenstermodell wird der Strahlungsdurchgang durch die Fensterscheibe(n) über einen winkelabhängigen Gesamtenergiedurchlassgrad abgebildet. Die Absorptions-, Reflexions- und Transmissionsvorgänge zwischen

den einzelnen Scheibenoberflächen, die bei Mehrscheibenverglasungen auftreten, werden bei diesem Fenstermodell nicht einbezogen. Dieses Fenstermodell benötigt im Wesentlichen die gleichen Eingangsdaten wie das verwendete Monatsbilanzverfahren. [SCH04]

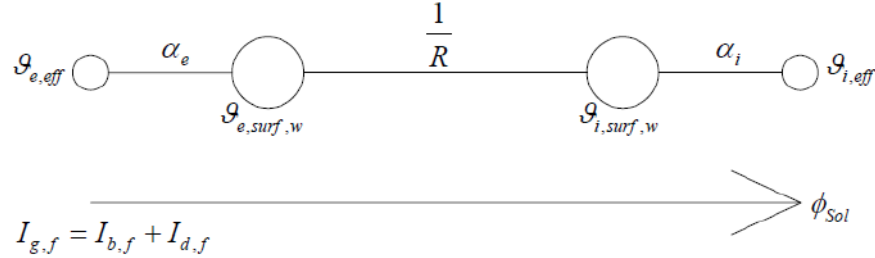


Abbildung 5: Schema des Fenstermodells [SCH04]

Das Aufstellen der Wärmebilanz an der inneren Fensteroberfläche führt bei Vernachlässigung der thermischen Kapazität des Glases zu folgender Formel:

$$(\alpha_{i,r} + \alpha_{i,c}) * (\vartheta_{i,surf,w} + \vartheta_{i,eff}) = U_w * (\vartheta_{e,eff} - \vartheta_{i,eff}) \quad (54)$$

Daraus ergibt sich die Oberflächentemperatur an der Innenseite der Verglasung:

$$\vartheta_{i,surf,w} = \vartheta_{i,eff} + (\vartheta_{e,eff} - \vartheta_{i,eff}) * U_w * \frac{1}{\alpha_{i,r} + \alpha_{i,c}} \quad (55)$$

$\vartheta_{i,surf,w}$ Oberflächentemperatur an der inneren Oberfläche des Fensters in °C

$\vartheta_{i,eff}$ effektive Temperatur an der Innenseite in °C

$\vartheta_{e,eff}$ effektive Temperatur an der Außenseite in °C

U_w Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters in W/m²K

$\alpha_{i,r}$ Strahlungswärmeübergangskoeffizient an der Innenseite in W/m²K

$\alpha_{i,c}$ konvektiver Wärmeübergangskoeffizient an der Innenseite in W/m²K

Die effektive Temperatur an der Innenseite einer Verglasung kann anhand der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$(\alpha_{i,r} + \alpha_{i,c}) * (\vartheta_{i,surf,w} - \vartheta_{i,eff}) = \alpha_{i,r} * (\vartheta_{i,surf,w} - \vartheta_{i,rad}) + \alpha_{i,c} * (\vartheta_{i,surf,w} - \vartheta_{i,air}) \quad (56)$$

Daraus ergibt sich $\vartheta_{i,eff}$:

$$\vartheta_{i,eff} = \frac{\alpha_{i,r} * \vartheta_{i,rad} + \alpha_{i,c} * \vartheta_{i,air}}{\alpha_{i,r} + \alpha_{i,c}} \quad (57)$$

Berechnet werden die effektive Temperatur an der Außenoberfläche der Verglasung wie folgt:

$$\vartheta_{e,eff} = \frac{\alpha_{e,r} * \vartheta_{e,Um} + \alpha_{e,c} * \vartheta_{e,air}}{\alpha_{e,r} + \alpha_{e,c}} \quad (58)$$

Nach der Bestimmung der inneren Oberflächentemperatur kann der konvektive Wärmeaustausch zwischen Fenster und Raumluft nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\Phi_{Fen,c} = \alpha_{i,c} * A_w (\vartheta_{i,surf,w} - \vartheta_{i,air}) \quad (59)$$

$\Phi_{Fen,c}$ Wärmestrom zufolge Konvektion an Fensteroberflächen in W

A_w Fensterfläche in m^2

Für die Berechnung des Wärmeeintrags zufolge Strahlung wird das Modell aus der ÖNORM B 8110-3 [ONO12] herangezogen. Bei diesem Modell wird mit der Abminderung des Strahlungstransmissionsgrades bei schräg einfallender Sonnenstrahlung gerechnet. Hier soll darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Abminderung des Energieeintrags bei verwendetem Sonnen- oder Blendschutz über die Reduktionsfaktoren nicht zu berücksichtigen ist.

Der Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung wird dabei über folgende Gleichung beschrieben, wobei der konvektive Anteil der solaren Einstrahlung $\Phi_{sol,c}$ mit 10% und der radiative Anteil $\Phi_{sol,r}$ mit 90% angenommen werden kann [SCH04]:

Mit Sonnenschutz bzw. Blendschutz:

$$\Phi_{sol} = (I_{b,f} + I_{d,f}) * A_g * g * F_c * F_{sc} \quad (60)$$

Ohne Sonnenschutz bzw. Blendschutz:

$$\Phi_{sol} = (I_{b,f} * r_{b(\omega)} + I_{d,f} * r_{d(\omega)}) * A_g * g * F_{sc} \quad (61)$$

Φ_{sol} Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung in W

$I_{b,f}$ Direktstrahlung an der Außenseite der Verglasung in W/m^2

$I_{d,f}$ Diffusstrahlung an der Außenseite der Verglasung in W/m^2

A_g	Glasfläche in m^2
g	Gesamtenergiedurchlassgrad, dimensionslos
F_c	Abminderungsfaktor des beweglichen Sonnenschutzes in Kombination mit der Verglasung, dimensionslos
F_{sc}	Verschattungsfaktor für Umgebung, auskragende Bauteile, Laibungsrücksprung, dimensionslos
$r_{b(\omega)}$	winkelabhängiger Reduktionsfaktor für die Direktstrahlung, dimensionslos
r_d	Reduktionsfaktor für die Diffusstrahlung, dimensionslos

Der Strahlungstransmissionsgrad für direkte Sonnenstrahlung der Verglasungen ist für einen Einfallswinkel der Strahlung normal zur Scheibe definiert. Das Modell berücksichtigt einen Reduktionsfaktor in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der solaren Einstrahlung. Die Abhängigkeit des Reduktionsfaktors für den Strahlungstransmissionsgrad ist in [SCH04] ausgeführt.

3. Untersuchungsmethodik

Um die Energieeffizienz bei den Berechnungsverfahren fachlich beurteilen zu können, ist es wichtig, „die richtige Ausgewogenheit zwischen der Genauigkeit des Verfahrens, der Qualität der Eingangsdaten und der Vergleichpräzision der Ergebnisse zu finden [...] Vergleichpräzision ist für die Anforderungen an die Energieeffizienz möglicherweise von größter Bedeutung, da bei strengen Anforderungen der wirtschaftliche Druck auf diejenigen hoch ist, die das Verfahren zu finden und anzuwenden haben, das bei den geringsten Investitionen in Energietechnologien den besten Energieeffizienzwert liefert. Das kann dazu führen, dass Vergleiche zwischen verschiedenen alternativen Berechnungsverfahren angestellt werden, um so den besten Energieeffizienzwert zu finden, statt alternative energieeffiziente Technologien zu vergleichen“. [ONO08a]

Im Fokus dieser Arbeit steht die Validierung des vereinfachten Verfahrens bezüglich seiner Rechengenauigkeit. Dieser Validierung liegt die objektive Beurteilung der Ergebnisse zu Grunde, deshalb spielt der Qualitätsaspekt der Genauigkeit eine wichtige Rolle hier. Unter genauen Ergebnissen werden objektive, realitätsnahe Ergebnisse verstanden. [ONO08a]

Die Genauigkeit eines Verfahrens bezüglich der Energieeffizienzberechnung bedeutet den „Grad der Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse mit dem tatsächlichen Energiebedarf des Gebäudes“. Sie hängt also grundsätzlich von der Qualität der Eingangsdaten ab. Die Unsicherheit der Eingangsdaten reproduziert sich in den Berechnungen, „was zu einem allgemein größeren relativen Fehler bei den Ergebnissen führt“. [ONO08a]

Die Simulationsergebnisse sind realitätsnah, aufgrund dessen kann die Genauigkeit, die Realitätsnähe der Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens durch sein Verhältnis, durch seine Abweichung zu der Simulation festgestellt werden. In dieser Arbeit gilt als Grundlage, als eine Art Bezugsrahmen der in der ÖNORM EN 15265 findbare Maßstab der Abweichung, nämlich eine ungefähr zehn prozentige Differenz der Simulationsergebnisse von den realen Angaben, welcher Maßstab als Bezugsmaß und das Verhältnis der Ergebnisse des Monats-Bilanzverfahrens zu denen der dynamischen Simulation in dieser Arbeit nebeneinandergestellt, verglichen werden. Dieser Maßstab ist in den

Validierungskriterien der diskutierten Norm zu finden, wo nur für stundenweise Berechnungsverfahren anzuwendenden Validierungsprüfungen und Validierungsstufen angegeben sind [GRA11]. Demnach können die Berechnungsergebnisse den folgenden drei Genauigkeitsstufen zugeordnet werden: Stufe A ($\leq 5\%$ Abweichung), Stufe B ($\leq 10\%$ Abweichung), Stufe C ($\leq 15\%$ Abweichung). Für das auf nicht stundenweisen Berechnungen beruhende quasi-stationäre Monatsbilanzverfahren sind die Validierungsprüfungen, Genauigkeitsstufen der [ONO07] nicht zulässig. Nachdem jedoch keine tauglichen Genauigkeitsstufen, Beurteilungen für monatsweise Berechnungen vorhanden sind, wird eine auf die erwähnte Norm zurückgegriffene Hypothese aufgestellt. Nach der Hypothese dieser Arbeit werden die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens relativ zu denen der Simulation als „ausreichend genau“ definiert, wenn sie über eine Abweichung innerhalb von zehn Prozent relativ zu den Simulationsergebnissen verfügen.

Zur Realisierung der Zielsetzung dieser Arbeit, also um die zwei erwähnten Verfahren für effiziente Gebäude bezüglich der Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung gegeneinander validieren zu können, mussten Testmodelle erstellt werden. Um eine Beurteilung der Verfahren für effiziente Gebäude aufstellen zu können, mussten als Bezugsrahmen die Verfahren für den nicht effizienten, normalen Bürobau untersucht werden.

Das grundlegendste Charakteristikum des energieeffizienten Gebäudebaus (Niedrigstenergiegebäude) ist es, Energie einzusparen, die durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden kann. Als Musterbeispiel der hocheffizienten Gebäude wurde das *Plusenergiegebäude TU Wien* gewählt. In dem Bericht dazu werden die bei diesem Bauprojekt durchgesetzten Maßnahmen [HOF14] ausführlich dargestellt. Grundsätzlich sind diese die Folgenden: verbesserte Außenhülle, energieeffiziente Bürogeräte, Kernlüftung zur automatisierten Nachtlüftung und Kühlenergieeinsparung und Sonnenschutz.

Hochenergieeffiziente Geräte sind solche Geräte, die einen geringen Stromverbrauch aufweisen und wenige Abwärme produzieren. [HOF14] Sie umfassen zum Beispiel Beleuchtung, Computer, Kopierer in den Büros und den Kühlschränke, Geschirrspüler, Mikrowellen, Kaffeemaschinen und Kochplatten in den Teeküchen.

Im Gegensatz zu den energieeffizienten Gebäuden werden in dieser Arbeit unter „normalem Gebäudebau“ die nach der OIB Richtlinie 6 [OIB11] konstruierten Gebäude verstanden. In der vorliegenden Untersuchung werden diese (nach OIB Richtlinie 6) aufgebauten Gebäude-Testmodelle als nicht-energieeffiziente Gebäude (später mithilfe der Abkürzung gekennzeichnete „Variante OIB“ oder kürzer als „OIB“) definiert, obwohl diese energiesparend funktionieren, erreichen sie dennoch das Niveau der zu analysierenden, „energie-effizienten“ Niedrigstenergiegebäude [BED04] (später als „Variante NG“ oder „NG“ bezeichnet) nicht.

Um die zwei Berechnungsmethoden miteinander vergleichen zu können, wurden vier Testmodelle erstellt, die in diesem Kapitel detailliert dargestellt werden.

3.1. Beschreibung von Testmodellen

Die Testmodelle, die die Grundlage der Berechnungen (im Rahmen des vereinfachten Bilanzverfahrens und der detaillierten Gebäudesimulationsmethode) bilden, wurden mit verschiedenen Grundrissen, Zonierungen und unterschiedlichen thermischen und bautechnischen Eigenschaften erstellt. In der Software „BuildOpt-VIE“ wurden 4 Testmodelle: ein „Dreizonenmodell“, ein „dreistöckiges Gebäude“, ein „zweistöckiges Gebäude“ und ein „Gründerzeithaus“ konstituiert. Hier ist es wichtig hervorzuheben, dass die ersten drei Modelle (relativ zueinander) über immer mehr Zonen pro Stock verfügen, wodurch sie sich der Realität ziemlich genau annähern. Diese Annäherung spielt eine wichtige Rolle bezüglich der praktischen Anwendbarkeit des jeweiligen Testmodells. Auch das vierte Modell, das Gründerzeithaus ist realitätsnah, denn dieses bestehende Gebäude wurde aus der Wirklichkeit entnommen. Alle diese Testmodelle werden als Büro benutzt. Die Bauteile der Testmodelle wurden mithilfe von den in der Tabelle 4 gekennzeichneten Grenzwerten [OIB11], [BED04] konstruiert.

Tabelle 4: Grenzwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten anhand der zwei Varianten

Bauteile	OIB	NG
	U (W/m ² K)	
Außenwand	0.35	0.1
Trennwand zw. Büro und Gang	0.9	0.9
Trennwand zw. Büros	0.9	0.9
Kellerdecke	0.4	0.4
Zwischendecke	0.9	0.9
Oberste Geschoßdecke	0.2	0.1
Erdberührter Boden	0.4	0.1
Erdberührte Wand	0.4	0.1
Fenster	1.7	0.8

3.1.1. Das Dreizonenmodell

Das Modell besteht aus drei Zonen. „Zone 1“ und „Zone 3“ sind Büros (Abbildung 6). Diese Konstruktion ist südorientiert. Die Breite und Länge der Büros beträgt vier Meter. Die „Zone 2“ ist ein Gang, die Innenabmessungen von dieser Zone sind zwei mal vier Meter. Die Höhe der Räume ist vier Meter. Die folgende Abbildung stellt das Dreizonenmodell dar.

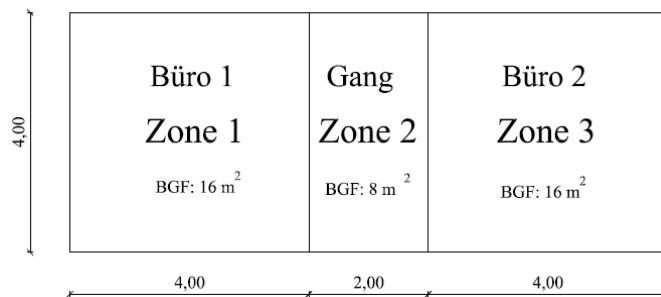


Abbildung 6: Zonen und Abmessungen des Dreizonenmodells

Aus der folgenden Abbildung ist das mit dem Programm „BuildOpt-VIE“ erstellte Modell ersichtlich.

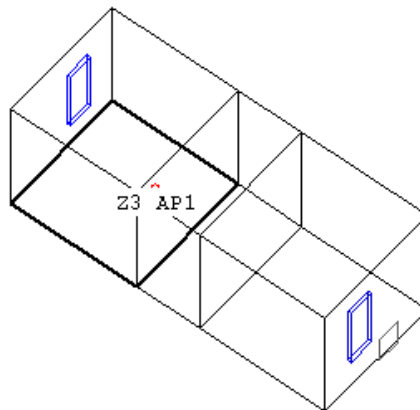


Abbildung 7: Dreizonenmodell in 3D-Ansicht

Einer der ersten Arbeitsschritte ist die Definition der Nachbarzonen und der Randbedingungen bei der Berechnung des jährlichen Heizwärme- und Kühlbedarfs einer Konstruktion. Die folgende Tabelle 5 zeigt die Eingangsdaten des ersten Modells. Hier gibt es einige Bauteile, die als adiabatisch angenommen wurden. Adiabatisch bezeichnet das Phänomen, wenn kein Wärmeaustausch und keine Transmission präsent sind.

Tabelle 5: Definition der Nachbarzonen und der Randbedingungen

Boden, Decke	Adiabatisch
Außenwand ohne Fenster	Adiabatisch
Außenwand mit Fenster	Außenklima
Zwischenwand	Innenzone

Konstruktionsaufbauten

Die Konstruktionen dieses Modells wurden sowohl einerseits anhand der „OIB Richtlinie 6“ als auch andererseits anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“ aufgebaut. In den folgenden Tabellen sind die für das „Dreizonenmodell“ verwendeten Konstruktionen aufgelistet.

Konstruktionsaufbauten anhand der „OIB Richtlinie 6“

Tabelle 6: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB

Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand	Deckschicht	0.01	0.302
	EPS-F	0.12	
	Stahlbeton	0.24	
Trennwand	Gipskartonplatte	0.02	0.881
	Trennwandklemmfilz	0.03	
	Gipskartonplatte	0.02	
Zwischendecke	Parkett	0.02	0.798
	Zementestrich	0.07	
	Trittschalldämmung_MW-PT (λ=0,04)	0.03	
	Stahlbeton	0.30	

Konstruktionsaufbauten anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“

Tabelle 7: Konstruktionsaufbauten der Variante NG

Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand	Deckschicht	0.01	0.097
	EPS-F	0.40	
	Stahlbeton	0.24	
Trennwand	Gipskartonplatte	0.02	0.881
	Trennwandklemmfilz	0.03	
	Gipskartonplatte	0.02	
Zwischendecke	Parkett	0.02	0.798
	Zementestrich	0.07	
	Trittschalldämmung_MW-PT (λ=0,04)	0.03	
	Stahlbeton	0.30	

Fenster

Der U-Wert des Fensterglases anhand der „OIB Richtlinie 6“ beträgt:
1,7 W/m²K.

Der U-Wert des Fensterglases anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“ ist:
0,8 W/m²K.

3.1.2. Das „dreistöckige Gebäude“

Das Modell hat sechs Zonen pro Stock, also insgesamt 18 Zonen: 15 Büros und drei Gänge (Abbildung 8). Diese Konstruktion ist ebenso südorientiert. Der Grundriss jedes Stockwerkes ist der gleiche. Die Höhe der Räume ist drei Meter. Die Innenabmessungen von den Räumen stellt die folgende Abbildung dar.

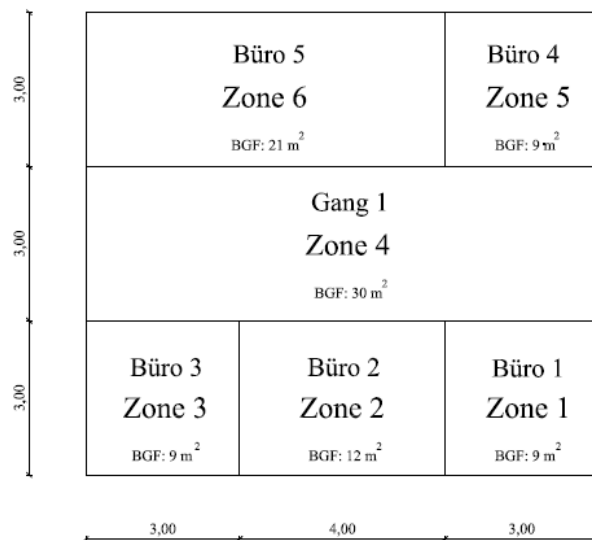


Abbildung 8: Zonen und Abmessungen des „dreistöckigen Gebäudes“

Die nächste Abbildung ist das mit dem Programm „BuildOpt-VIE“ erstellte 3D-Modell.

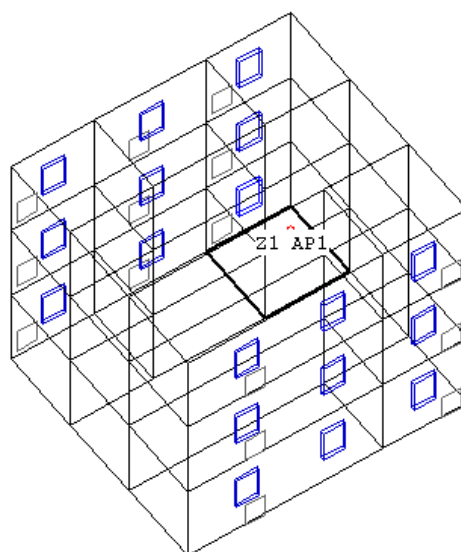


Abbildung 9: Dreistöckiges Gebäude in 3D-Ansicht

Definition der Nachbarzonen und der Randbedingungen

Tabelle 8: Nachbarzonen und Randbedingungen

Erdberührter Boden	grenzt an Boden
Zwischendecke	Innezone
Oberste Geschoßdecke	Adiabatisch
Außenwand ohne Fenster	Adiabatisch
Außenwand mit Fenster	Außenklima
Zwischenwand	Innenzone

Konstruktionsaufbauten

Das Modell des „dreistöckigen Gebäudes“ wurde in der Software „BuildOpt-VIE“ aus den folgenden Konstruktionen aufgebaut:

Konstruktionsaufbauten anhand der „OIB Richtlinie 6“

Tabelle 9: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB

Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand	Deckschicht	0.01	0.302
	EPS-F	0.12	
	Stahlbeton	0.24	
Trennwand zwischen Büro und Gang	Gipskartonplatte	0.02	0.881
	Trennwandklemmfilz	0.03	
	Gipskartonplatte	0.02	
Trennwand zwischen Büros	Gipskartonplatte	0.02	0.881
	Trennwandklemmfilz	0.03	
	Gipskartonplatte	0.02	
Erdberührter Boden	Parkett	0.02	0.360
	Zementestrich	0.07	
	XPS-Dämmung ($\lambda=0.036$) (Austrotherm XPS/TOP 70)	0.08	
	Stahlbeton	0.30	
Zwischendecke	Parkett	0.02	0.798
	Zementestrich	0.07	
	Trittschalldämmung_MW-PT ($\lambda=0.04$)	0.03	
	Stahlbeton	0.3	
Oberste Geschoßdecke	Zementestrich	0.07	0.182
	EPS-Dämmung ($\lambda=0.031$) (Austrotherm EPS W20-PLUS)	0.16	
	Stahlbeton	0.25	

Konstruktionsaufbauten anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“

Tabelle 10: Konstruktionsaufbauten der Variante NG

Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Außenwand	Deckschicht	0.01	0.097
	EPS-F	0.40	
	Stahlbeton	0.24	
Trennwand zwischen Büro und Gang	Gipskartonplatte	0.02	0.881
	Trennwandklemmfilz	0.03	
	Gipskartonplatte	0.02	
Trennwand zwischen Büros	Gipskartonplatte	0.02	0.881
	Trennwandklemmfilz	0.03	
	Gipskartonplatte	0.02	
Erdberührter Boden	Parkett	0.02	0.173
	Zementestrich	0.07	
	XPS-Dämmung ($\lambda=0.038$) (Austrotherm XPS/TOP 70)	0.20	
	Stahlbeton	0.30	
Zwischendecke	Parkett	0.02	0.327
	Zementestrich	0.07	
	Trittschalldämmung ($\lambda=0.032$) (Austrotherm EPS T 1000-PLUS)	0.03	
	EPS-Dämmung ($\lambda=0.031$) (Austrotherm EPS W20-PLUS)	0.05	
	Stahlbeton	0.3	
Oberste Geschoßdecke	Zementestrich	0.07	0.100
	EPS-Dämmung ($\lambda=0.031$) (Austrotherm EPS W20-PLUS)	0.30	
	Stahlbeton	0.25	

Fenster

Der U-Wert des Fensterglases anhand der „OIB Richtlinie 6“ beträgt:

1,7 $\text{W/m}^2\text{K}$.

Der U-Wert des Fensterglases anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“ ist:

0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$.

3.1.3. Das „zweistöckige Gebäude“

Das Modell hat elf Zonen pro Stock, also insgesamt 22 Zonen: 20 Büros und zwei Gänge (Abbildung 10). Auch dieses Modell ist nach Süden ausgerichtet. Der Grundriss des zweistöckigen Gebäudes wurde durch die Verdoppelung des Grundrisses des dreistöckigen Gebäudes konstruiert. Der Grundriss jedes Stockwerkes ist der gleiche. Die Höhe der Räume ist drei Meter. Die Innenabmessungen von den Räumen stellt die folgende Abbildung dar.

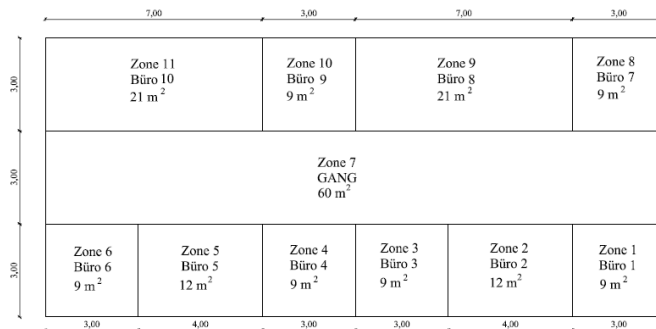


Abbildung 10: Zonen und Abmessungen des „zweistöckigen-Gebäudes“

Die Abbildung 11 zeigt das mit dem Programm „BuildOpt-VIE“ erstellte 3D-Modell.

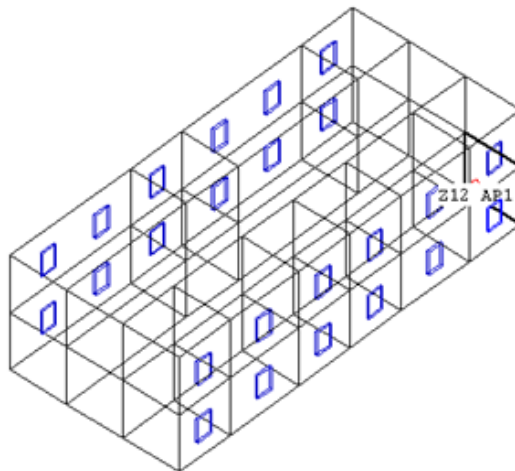


Abbildung 11: Zweistöckiges Gebäude in 3D-Ansicht

Definition der Nachbarzonen und der Randbedingungen

Tabelle 11: Nachbarzonen und Randbedingungen

Erdberührter Boden	grenzt an Boden
Zwischendecke	Innezone
Oberste Geschoßdecke	Adiabatisch
Außenwand mit und ohne Fenster	Außenklima
Zwischenwand	Innenzone

Konstruktionsaufbauten

Das „zweistöckige Gebäude“ und das „dreistöckige Gebäude“ haben den gleichen Konstruktionsaufbau, wie es in dem vorherigen Unterkapitel 3.1.2. beschrieben wurde.

3.1.4. Gründerzeithaus

Die Grundlage dieses Testmodells bildet ein bestehendes Gründerzeithaus. Die erwähnte Immobilie befindet sich in der Eckertgasse 10 im Bezirk Favoriten (PLZ:1200) in Wien. Dieses Bauobjekt wurde in den Berechnungen dieses Testmodells als ein saniertes Bürogebäude konzipiert.

In dem Modell „Gründerzeithaus“ gibt es einen Keller und fünf Stockwerke, insgesamt 21 Zonen (Abbildung 13). Dieses Objekt hat ebenso eine Südorientierung. In jedem Stockwerk befinden sich ein Gang und drei Büros. Die Innenhöhe des Kellers ist 2,7 Meter und die Raumhöhe der anderen Stockwerke ist 3,15 Meter.

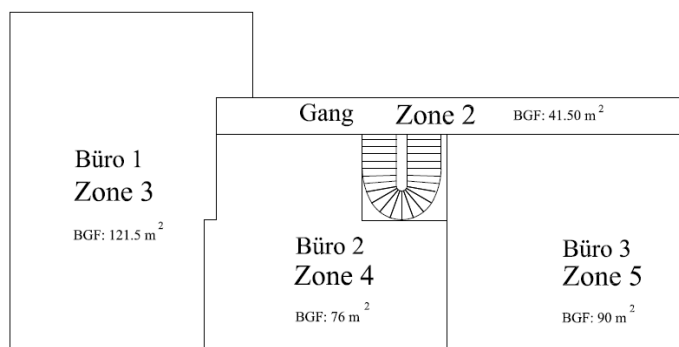


Abbildung 12: Zonen und Abmessungen des „Gründerzeithaus“

Das mit dem Programm „BuildOpt-VIE“ erstellte Modell „Gründerzeithaus“ ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

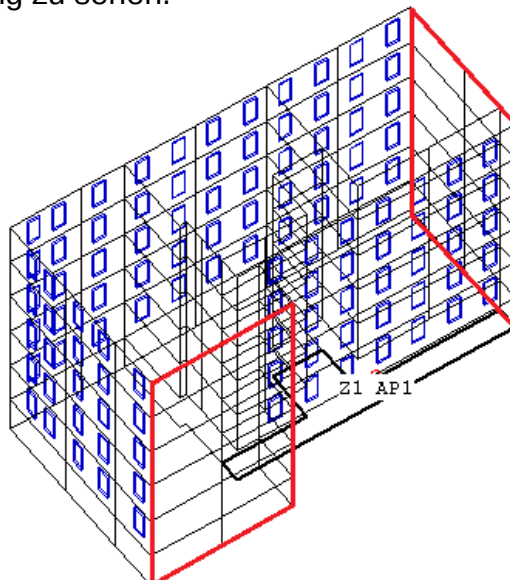


Abbildung 13: Gründerzeithaus in 3D-Ansicht

Definition der Nachbarzonen und der Randbedingungen

Der in der unteren Tabelle aufgelistete Bauteil, die „markierte Außenwand“ ist in der früheren Abbildung 13 mit roter Linie gekennzeichnet.

Tabelle 12: Nachbarzonen und Randbedingungen

Erdberührter Boden	grenzt an Boden
Zwischendecke	Innezone
Oberste Geschoßdecke	Außenklima
Erdberührte Wand	grenzt an Boden
Markierte Außenwand	Adiabatisch
Nicht markierte Außenwand	Außenklima
Zwischenwand	Innenzone

Konstruktionsaufbauten

In der folgenden Tabelle sind die für das „Gründerzeithaus“ verwendeten Konstruktionen aufgelistet, die anhand der „OIB Richtlinie 6“ und anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“ aufgebaut wurden.

Konstruktionsaufbauten anhand der „OIB Richtlinie 6“

Tabelle 13: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB-Decke

	Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Decke	Erdberührter Boden	Parkett	0.02	0.360
		Zementestrich	0.07	
		XPS-Dämmung ($\lambda=0.036$) (Austrotherm XPS/TOP 70)	0.08	
		Stahlbeton	0.30	
	Kellerdecke	Parkett	0.02	0.282
		Zementestrich	0.06	
		Holzfaser-TDP	0.03	
		Dämmschüttung	0.10	
		Ziegelgewölbe	0.15	
	Zwischendecke Doppelbaumdecke	Parkett	0.012	0.220
		Zementestrich	0.05	
		Trittschalldämmung_MW-PT ($\lambda=0.04$)	0.02	
		Schüttung	0.03	
		Balken	0.20	
		Gipskartonplatte	0.08	
	Oberste Geschoßdecke Doppelbaumdecke	Zementestrich	0.05	0.188
		EPS-Dämmung ($\lambda=0.031$) (Austrotherm EPS W20-PLUS)	0.08	
		PS_Beton	0.05	
		Doppelbaum	0.30	
		Gipskartonplatte	0.08	

Tabelle 14: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB-Wand

	Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Wand	straßenseitige Außenwand (75 cm)	Außenputz	0.03	0.302
		Mauerwerk	0.75	
		Minerallwolle	0.08	
		Gipskartonplatte	0.015	
	straßenseitige Außenwand (60 cm)	Außenputz	0.03	0.317
		Mauerwerk	0.60	
		Minerallwolle	0.08	
		Gipskartonplatte	0.015	
	straßenseitige Außenwand (45 cm)	Außenputz	0.03	0.333
		Mauerwerk	0.45	
		Minerallwolle	0.08	
		Gipskartonplatte	0.015	
	hofseitige Außenwand (75 cm)	Deckschicht	0.01	0.252
		EPS-F	0.12	
		Mauerwerk	0.75	
		Innenputz	0.01	
	hofseitige Außenwand (60 cm)	Deckschicht	0.01	0.262
		EPS-F	0.12	
		Mauerwerk	0.60	
		Innenputz	0.01	
	hofseitige Außenwand (45 cm)	Deckschicht	0.01	0.273
		EPS-F	0.12	
		Mauerwerk	0.45	
		Innenputz	0.01	
	Innenwand (60 cm)	Gipskartonplatte	0.015	0.473
		Mineralwolle	0.03	
		Mauerwerk	0.35	
		Mineralwolle	0.03	
		Gipskartonplatte	0.015	
	Innenwand (15 cm)	Gipskartonplatte	0.015	0.524
		Mineralwolle	0.03	
		Mauerwerk	0.35	
		Mineralwolle	0.03	
		Gipskartonplatte	0.015	
	Kellerwand	XPS-Dämmung ($\lambda=0.035$) (Austrotherm XPS/TOP30)	0.06	0.355
		Putz	0.02	
		Mauerwerk	0.90	
		Innenputz	0.01	

Konstruktionsaufbauten anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“

Tabelle 15: Konstruktionsaufbauten der Variante NG-Decke

	Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Decke	Erdberührter Boden	Parkett	0.02	0.173
		Zementestrich	0.07	
		XPS-Dämmung ($\lambda=0.038$) (Austrotherm XPS/TOP70)	0.20	
		Stahlbeton	0.30	
	Kellerdecke	Parkett	0.02	0.282
		Zementestrich	0.06	
		Holzfaser-TDP	0.03	
		Dämmschüttung	0.10	
		Ziegelgewölbe	0.15	
	Zwischendecke Doppelbaumdecke	Parkett	0.012	0.220
		Zementestrich	0.05	
		Trittschalldämmung_MW-PT ($\lambda=0.04$)	0.02	
		Schüttung	0.03	
		Balken	0.20	
		Gipskartonplatte	0.08	
	Oberste Geschoßdecke Doppelbaumdecke	Zementestrich	0.05	0.095
		EPS-Dämmung ($\lambda=0.031$) (Austrotherm EPS W20-PLUS)	0.24	
		PS_Beton	0.05	
		Doppelbaum	0.30	
		Gipskartonplatte	0.08	

Tabelle 16: Konstruktionsaufbauten der Variante NG-Wand

	Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [m]	U-Wert [W/m ² K]
Wand	straßenseitige Außenwand (75 cm)	Außenputz	0.03	0.127
		Mauerwerk	0.75	
		Minerallwolle	0.24	
		Gipskartonplatte	0.015	
	straßenseitige Außenwand (60 cm)	Außenputz	0.03	0.129
		Mauerwerk	0.60	
		Minerallwolle	0.24	
		Gipskartonplatte	0.015	
	straßenseitige Außenwand (45 cm)	Außenputz	0.03	0.132
		Mauerwerk	0.45	
		Minerallwolle	0.24	
		Gipskartonplatte	0.015	
	hofseitige Außenwand (75 cm)	Deckschicht	0.01	0.091
		EPS-F	0.40	
		Mauerwerk	0.75	
		Innenputz	0.01	
	hofseitige Außenwand (60 cm)	Deckschicht	0.01	0.092
		EPS-F	0.40	
		Mauerwerk	0.60	
		Innenputz	0.01	
	hofseitige Außenwand (45 cm)	Deckschicht	0.01	0.094
		EPS-F	0.40	
		Mauerwerk	0.45	
		Innenputz	0.01	
	Innenwand (60 cm)	Gipskartonplatte	0.015	0.473
		Mineralwolle	0.03	
		Mauerwerk	0.35	
		Mineralwolle	0.03	
		Gipskartonplatte	0.015	
	Innenwand (15 cm)	Gipskartonplatte	0.015	0.524
		Mineralwolle	0.03	
		Mauerwerk	0.35	
		Mineralwolle	0.03	
		Gipskartonplatte	0.015	
	Kellerwand	XPS-Dämmung ($\lambda=0.038$) (Austrotherm XPS/TOP30)	0.20	0.524
		Putz	0.02	
		Mauerwerk	0.90	
		Innenputz	0.01	

Fenster

Der U-Wert des Fensterglases anhand der „OIB Richtlinie 6“ beträgt:

1,7 W/m²K.

Der U-Wert des Fensterglases anhand eines „Niedrigstenergiegebäudes“ ist:

0,8 W/m²K.

3.2. Klimadaten

Als Klimadaten wurden die Daten aus dem IWEK-Wetterdatensatz für St. Pölten verwendet. Unter Klimadaten werden die in dieser Arbeit relevante Lufttemperatur (Abbildung 14) und Globalstrahlung (Abbildung 15) verstanden. Es gibt aber einen Unterschied in der Verarbeitung der Daten zwischen den zwei untersuchten Berechnungsverfahren. Bei dem Monats-Bilanzverfahren werden Monatsmittelwerte bezüglich der Klimadaten benutzt. Im Gegensatz dazu werden bei der dynamischen Simulation die Stundenwerte aus den eingelesenen Wetterdaten benötigt.

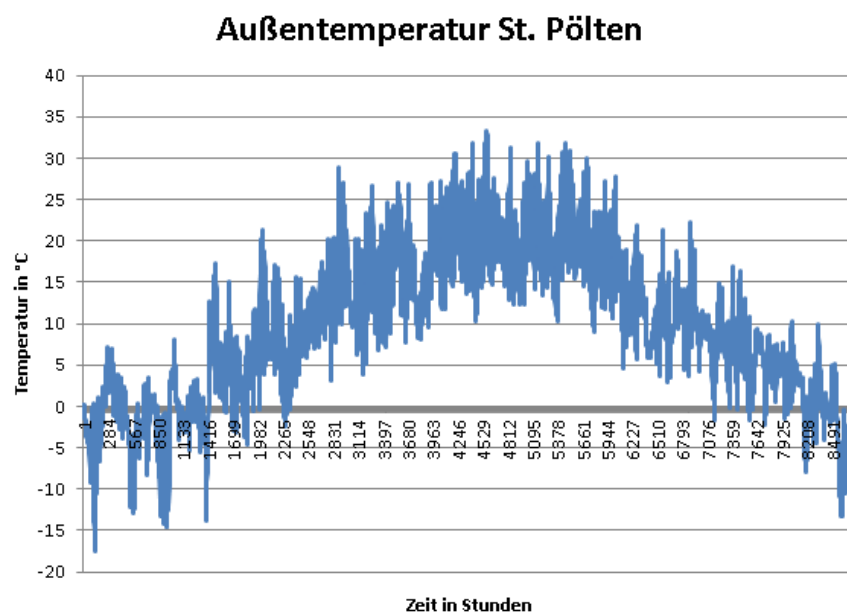


Abbildung 14: Jahresgang der Außentemperatur des IWEK-Wetterdatensatzes für St. Pölten

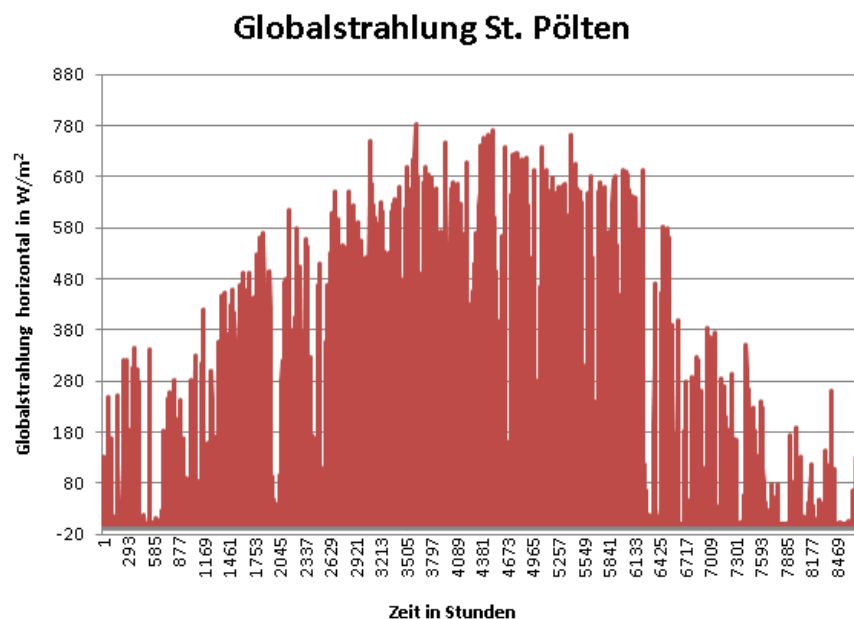


Abbildung 15: Jahresgang der Globalstrahlung des IWEK-Wetterdatensatzes für St. Pölten

3.3. Interne Wärmeeinträge

In der Konzeption der Testmodelle wurde ein „Büroprofil“ als Nutzungstyp gewählt. Das heißt, dass hier von einer Arbeitszeit von 9 Uhr bis 17 Uhr ausgegangen wurde. Während dieser Nutzungszeit sind 90% der Personen anwesend und alle Geräte sind im Betrieb. Außerhalb dieses Zeitraums sind die Geräte im „Standby-Betrieb“. In diesem Zustand ist die eigentliche Nutzfunktion temporär deaktiviert, aber sie kann jederzeit wieder aktiviert werden. In dieser Arbeit wurde für das Halten des Bereitschaftszustandes einen gegenüber dem Normalbetrieb reduzierten Leistungsbedarf 10 W verwendet. Die Abbildung 16 stellt die inneren Leistungen eines Zweipersonenbüros dar.

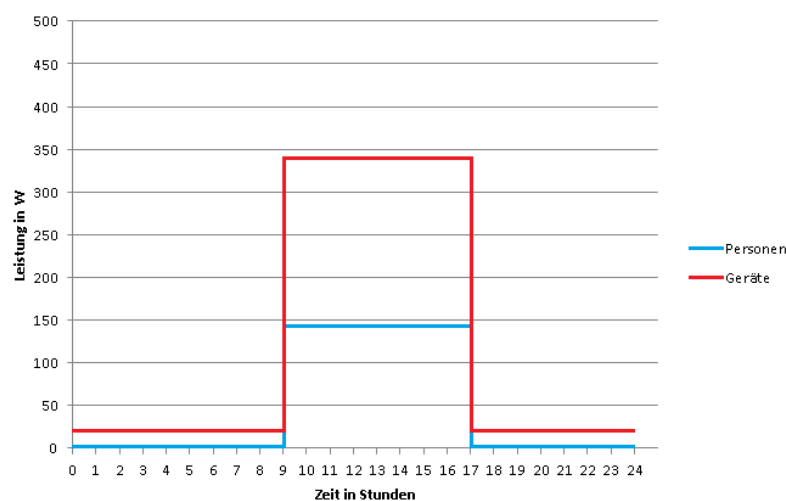


Abbildung 16: Nutzungstyp: Büroprofil

Die Personenzahl der verschiedenen Testmodelle werden in der Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 illustriert. Pro Person wurden 80 W innere Lasten in den Berechnungen angenommen. Die Standardgeräte (bei der Variante OIB) belaufen sich auf 170 W pro Person. Bei den effizienten Geräten (bei der Variante NG) wurden 35 W pro Person eingesetzt. Die Beleuchtung wurde bei allen Fällen mit einer konstanten Leistung (Leistungsleuchtmittelwert: 12 Wm^2 , Schwellwert 500 lux) in der Simulation betrieben.

In der Berechnung des vereinfachten Nachweises wurden Jahresmittelwerte für die inneren Lasten (anhand der Nutzungsart) verwendet. Die anhand der dynamischen Simulation ermittelten Werte der inneren Lasten wurden pro Zone aufsummiert und es wurde für die entsprechende Nutzungsart je ein Mittelwert ausgerechnet.

Büro 1 2 Personen	Gang	Büro 2 2 Personen
----------------------	------	----------------------

Abbildung 17: Dreizonenmodell-Personenzahl

Büro 5 3 Personen		Büro 4 1 Person
Gang		
Büro 3 1 Person	Büro 2 2 Personen	Büro 1 1 Person

Abbildung 18: Dreistöckiges Gebäude-Personenzahl

Büro 10 3 Personen		Büro 9 1 Person	Büro 8 3 Personen		Büro 7 1 Person
Gang					
Büro 6 1 Person	Büro 5 2 Personen	Büro 4 1 Person	Büro 3 1 Person	Büro 2 2 Personen	Büro 1 1 Person

Abbildung 19: Zweistöckiges Gebäude-Personenzahl

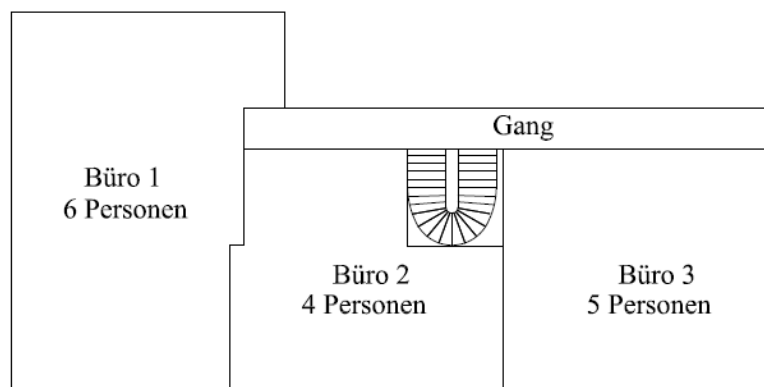


Abbildung 20: Gründerzeithaus-Personenzahl

4. Ergebnisse der Rechenverfahren

Die Ergebnisse der Rechenverfahren sind grundsätzlich relevant, um die Berechnungsgenauigkeit des Monatsbilanzverfahrens bezüglich der Grundkategorien dieser Analyse festzustellen. Die Grundkategorien der erwähnten Analyse sind: der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf. In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der zwei diskutierten Berechnungsverfahren anhand ihrer grundlegenden Analyse-Kategorien detailliert dargestellt und bewertet.

4.1. Heizwärmebedarf

Bei der Heizwärmebedarfsberechnung wurden folgende vier Fälle untersucht:

- **Fall 1 – Gewinne der Testmodelle:** Bei diesem Fall wurden die zwei Berechnungsmethoden bezüglich der Gewinne durch die vier Testmodelle anhand der zwei Hauptvarianten (Variante OIB und Variante NG) untersucht.
- **Fall 2 – Geänderte innere Lasten:** Hier wurden die zwei Rechenverfahren bezüglich der unterschiedlichen inneren Lasten bei dem Dreizonenmodell anhand der „Variante OIB“ analysiert.
- **Fall 3 – Heizwärmebedarf der Testmodelle:** Bei dem dritten Fall wurden die zwei Berechnungsmethoden bezüglich des Heizwärmebedarfs anhand der zwei Hauptvarianten behandelt.
- **Fall 4 – Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren:** Hier wurden die zwei Berechnungsmethoden bezüglich der bei dem Monats-Bilanzverfahren angewendeten Vereinfachungen durch zwei Testmodelle (Dreizonenmodell und zweistöckiges Gebäude) anhand der zwei Hauptvarianten ermittelt.

4.1.1. Fall 1 – Gewinne der Testmodelle

Um die zwei analysierten Rechenverfahren bezüglich der Heizwärmebedarfsberechnung validieren zu können, müssen unter anderen die Gewinne der Testmodelle untersucht werden. Die untere Tabelle (Tabelle 17) fasst die Eingangswerte für den ersten Fall zusammen. In der Berechnung wurden bei allen Fällen die folgenden bauphysikalischen und bautechnischen Kennzeichen berücksichtigt: Gebäudehülle, Infiltration, innere Lasten, Lüftungsanlage, Fensterstellung (nachts), Sonnenschutz, Temperatur.

Bei der Variante OIB wurden in der vorliegenden Arbeit die Werte der Gebäudehülle und der Luftwechselrate der OIB Richtlinie 6 [OIB11] verwendet. Im Gegensatz dazu wurden die Werte der vorher erwähnten Kennzeichen bei der Variante NG so aufgenommen, dass die Testmodelle als „Niedrigstenergiegebäude“ eingestuft wurden (die Grundlage dazu bildet der Bericht [BED04]). Bei den Testmodellen der Variante OIB wurden die Werte von Standardgeräten (anhand Kapitel 3.3) in Büros aufgenommen, während bei den Berechnungen der Variante NG effiziente Geräte berücksichtigt wurden. Bei der Berechnung der Gewinne wurden (sowohl in der Simulation als auch bei dem Monats-Bilanzverfahren) auch Lüftungsanlagen, Sonnenschutz und nächtliche, geschlossene Fenster in Betracht gezogen. Die operative Temperatur beträgt in diesem Fall 22 °C.

Tabelle 17: Eingangsdaten – Fall 1 – Heizwärmebedarf

Varianten								
	OIB				NG			
Testmodelle	Dreizonenmodell	Zweistöckiges Gebäude	Dreistöckiges Gebäude	Gründezeithaus	Dreizonenmodell	Zweistöckiges Gebäude	Dreistöckiges Gebäude	Gründezeithaus
Gebäudehülle	U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand der OIB Richtlinie 6				U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand eines NG-s			
	U-Werte des Fensterglases < 1.7 W/m²K				U-Werte des Fensterglases < 0.8 W/m²K			
Infiltration	n _x =1.5 1/h				n _x =0.6 1/h			
Innere Lasten	Standardgeräte (170 W / Person)				Effiziente Geräte (35 W / Person)			
	Anwesenheit der Personen: Büroprofil							
Lüftungsanlage	Ja (WRG 0,70)							
Fensterstellung nachts	Geschlossen							
Sonnenschutz	Außen							
Temperatur	22 °C							

Die Beurteilung der Ergebnisse der Gewinne des Heizwärmebedarfs

Im Folgenden wurden die zwei Rechenverfahren im Kontext der Gewinne des Heizwärmebedarfs durch die vier Testmodelle bewertet. Im Rahmen dessen wird erstmals das Verhältnis des Monats-Bilanzverfahrens zu der Simulation durch die Ergebnisse der Gewinne der Testmodelle vorgestellt. Danach wird der Einfluss des Wählens einer der zwei Hauptvarianten bewertet. Mit anderen Worten gesagt, es wird sich herausstellen, wie die Rechengenauigkeit des vereinfachten Nachweises davon abhängt, ob als Testmodell ein effizientes (NG) oder ein nicht effizientes Gebäude (OIB) zu Grunde gelegt worden ist. Die Ergebnisse der dynamischen Simulation fungieren als eine Art Bezugsrahmen zur Validierung des erwähnten Monats-Bilanzverfahrens.

Die untere Tabelle (Tabelle 18) und Diagramme (Abbildung 21) stellen eindeutig dar, dass je mehr Zonen pro Stock in einem Gebäude sind, desto besser ist die Berechnungsgenauigkeit des vereinfachten Verfahrens bezüglich der Gewinne. (In der Abbildung 21 bedeutet „100 Prozent“ den Fall, wenn die Ergebnisse der Simulation den Resultaten des vereinfachten Verfahrens gleich sind.) Der vorherige Ansatz veranschaulicht auch das Verhältnis der Ergebnisse des zweistöckigen und des dreistöckigen Gebäudes zueinander. Sie verfügen über die gleichen Gewinne pro Fläche wegen ihrer ähnlichen Geometrie und gleichen bauphysikalischen und bautechnischen Kennzeichen. Das dreistöckige Gebäude hat jedoch eine bessere Berechnungsgenauigkeit wegen der größeren Zonenanzahl pro Stock als das zweistöckige Gebäude. Einerseits kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Testmodelle mit der Ausnahme „Gründerzeithaus“ „relativ zueinander“ gesehen, aus der Perspektive der Zonenanzahl pro Stock zu größerer Genauigkeit tendieren (Abbildung 21).

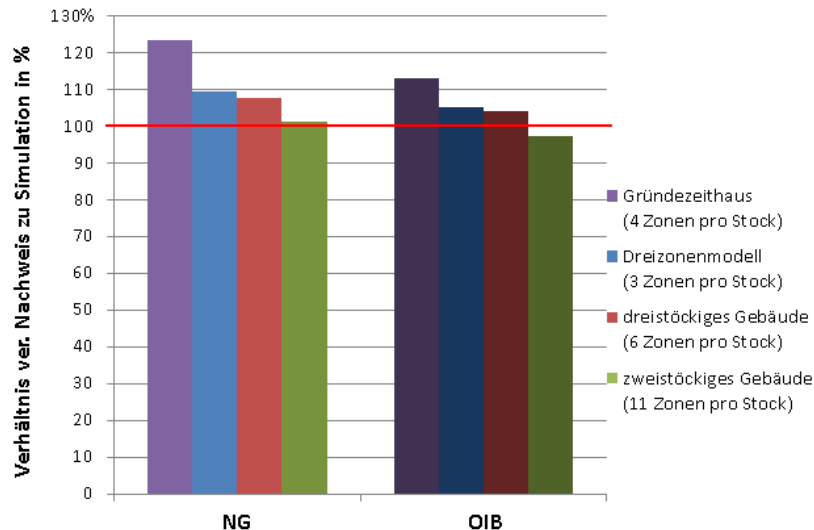


Abbildung 21: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Die Gewinne der Heizwärmebedarfsberechnung. Es ist ersichtlich, dass die Ergebnisse der zwei Verfahren miteinander bei einer höheren Zonenzahl pro Stock besser korrelieren.

Die Ergebnisse des Modells „Gründerzeithaus“ zeigen größere Abweichungen von den Ergebnissen der Simulation. Die Überschätzung der Simulationsergebnisse für Variante OIB ist 13% und für Variante NG 23%. (Die Abweichungen bedeuten die in Prozent ausgedrückten Werte der Differenz, also der Unter- und Überschätzung der Simulationsergebnisse.) Diese Abweichungen der Ergebnisse resultieren daraus, dass es hier kleine Zonenanzahl pro Stock und kleinere Gewinne pro Fläche gibt als bei den anderen Testmodellen. Die „kleineren Gewinne“ folgen daraus, dass eine Person über eine 3-mal größere Fläche verfügt als bei den anderen Modellen, hier sind folglich die inneren Wärmeinträge geringer. Also je kleiner die inneren Lasten sind, desto größer ist die Rechengenauigkeit des Bilanzverfahrens. Dieser Ansatz wurde auch bei dem Fall 2 untersucht.

Mithilfe der Hauptvarianten wurden auch die Menge der Wärmeeinträge verändert. Bei der Variante NG gibt es niedrigere innere Wärmeeinträge, als bei der Variante OIB, weil dort effizientere Geräte funktionieren (Tabelle 18). Infolge dessen ist die Rechengenauigkeit bei dieser Variante (NG) – die Ergebnisse relativ zueinander betrachtet – weniger präzise; was die vorige Annahme unterstützt; aber „absolut gesehen“ sind sie akzeptabel. Die Ergebnisse des realistischen Gebäudes, des zweistöckigen Gebäudes wiesen eine ausreichend

genaue Berechnungsgenauigkeit auf. Bei beiden Hauptvarianten ist die Abweichung der Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zu den Simulationsergebnissen innerhalb drei Prozent. Anhand dieses Modells wurde festgestellt, dass die Berechnungsgenauigkeit des Monats-Bilanzverfahrens bezüglich der Gewinne der Heizwärmebedarfsberechnung für effiziente Gebäude akzeptabel ist.

Tabelle 18: Die Ergebnisse der Gewinne der Heizwärmebedarfsberechnung. Sichtbar ist, dass je mehr Zonen pro Stock in einem Gebäude sind, desto besser ist die Berechnungsgenauigkeit des vereinfachten Verfahrens bezüglich der Gewinne.

Modelle	Gründezeithaus (4 Zonen pro Stock)		Dreizonenmodell (3 Zonen pro Stock)		dreistöckiges Gebäude (6 Zonen pro Stock)		zweistöckiges Gebäude (11 Zonen pro Stock)	
Varianten	NG	OIB	NG	OIB	NG	OIB	NG	OIB
	Gewinne (kWh)							
vereinfachter Nachweis	48531	74833	1844	3258	10579	19070	13232	23703
Simulation	39309	66077	1678	3093	9802	18303	13053	24348
	Gewinne (kWh/m ²)							
vereinfachter Nachweis	30	45	46	81	39	71	37	66
Simulation	24	40	42	77	36	68	36	68
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	123%	113%	110%	105%	108%	104%	101%	97%
Überschätzung	23%	13%	10%	5%	8%	4%	1%	
Unterschätzung								3%

4.1.2. Fall 2 – Geänderte innere Lasten

Hier wurden die zwei Rechenverfahren bezüglich der unterschiedlichen inneren Lasten bei dem Dreizonenmodell anhand der „Variante OIB“ analysiert. Hier kann die Bemerkung gemacht werden, dass im Kontext der inneren Lasten nur die elektrische Leistung der Geräte geändert wurde. Als Beispiel ist hier „35-35 W pro Person“ zu nennen, wenn sich die Geräte in beiden Büros auf 35 W pro Person belaufen. Die untere Tabelle präsentiert die Eingangswerte für den Fall 2.

Tabelle 19: Eingangsdaten-Fall 2 – Heizwärmebedarf

Variante	OIB			
Testmodell	Dreizonenmodell			
Gebäudehülle	U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand der OIB Richtlinie 6			
	U-Werte des Fensterglases < 1.7 W/m ² K			
Infiltration	n _v =1.5 1/h			
Innere Lasten	35-35 W / Person (Effiziente Geräte)	70-70 W / Person	105-105 W / Person	170-170 W / Person (Standardgeräte)
	Anwesenheit der Personen: Büroprofil			
Lüftungsanlage	Ja (WRG 0,7)			
Fensterstellung nachts	Geschlossen			
Sonnenschutz	Außen			
Temperatur	22 °C			

Die Beurteilung der Ergebnisse der geänderten inneren Lasten

Es wird in diesem Teil auf die geänderten inneren Lasten im Zusammenhang mit den zwei Rechenverfahren fokussiert. Hier muss darauf hingewiesen werden, dass der Umstand, dass in der Analyse „effiziente“ oder Standardgeräte verwendet wurden, zu einer fünf Prozent größeren Überschätzung der Simulationsergebnisse führte (Tabelle 20). Also „relativ gesehen“ wurden die Ergebnisse bei größeren inneren Lasten immer genauer als die bei kleineren. „Absolut betrachtet“ ist der Unterschied zwischen den Ergebnissen des vereinfachten Nachweises und der Simulation nicht bedeutend. Es kann aber festgestellt werden, dass diese kleinen Abweichungen miteinander immer gleich sind. Diese konstanten Ungenauigkeiten stammen aus der Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades in der Berechnung der solaren Wärmeinträge. Bei dem Monats-Bilanzverfahren wird bei dem solaren Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Teiles des Bauteils ein Korrekturfaktor (0,9) angewendet. Im Gegensatz zu diesem Verfahren wird der solare Gesamtenergiedurchlassgrad winkelabhängig in der dynamischen Gebäudesimulation verwendet.

Tabelle 20: Die Ergebnisse der Gewinne der Heizwärmebedarfsberechnung. „Relativ gesehen“ sind die Ergebnisse bei größeren inneren Lasten immer genauer und „absolut betrachtet“ sind die Abweichungen zur Simulation immer gleich.

HWB-Gewinne (kWh)				
Varianten	35-35	70-70	105-105	170-170
vereinfachter Nachweis	1838	2200	2582	3258
Simulation	1678	2042	2418	3093
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	110%	108%	107%	105%

In diesem Fall wurde untersucht, wie sich die Änderung von inneren Lasten auf die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung auswirken kann. Tabelle 21 zeigt, dass je weniger innere Lasten präsent sind, desto größer ist der Heizwärmebedarf. Die Veränderung der inneren Lasten liefert keine bedeutenden Unterschiede bei den Ergebnissen der

Heizwärmebedarfsberechnung. Die kleine Abweichung der Ergebnisse ist auch auf die Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades in der Berechnung der solaren Wärmeinträge zurückzuführen.

Tabelle 21: Die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung. Durch die Veränderung der inneren Lasten bleiben die Abweichungen der Ergebnisse zur Simulation relativ konstant.

HWB (kWh)				
Varianten	35-35	70-70	105-105	170-170
vereinfachter Nachweis	1366	1154	952	652
Simulation	1425	1215	1003	687
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	96%	95%	95%	95%

4.1.3. Fall 3 – Heizwärmebedarf der Testmodelle

Um die zwei analysierten Rechenverfahren bezüglich der Heizwärmebedarfsberechnung validieren zu können, muss der Heizwärmebedarf der Testmodelle analysiert werden. Die Eingangswerte dieses Falls sind mit den Eingangsdaten des schon dargestellten ersten Falls (im Kapitel 4.1.1) gleich.

Die Beurteilung der Ergebnisse des Heizwärmebedarfs der Testmodelle

Aus der Tabelle 22 und der Abbildung 22 geht hervor, dass die Zonenanzahl pro Stock des Gebäudes und die veränderten bauphysikalischen und bautechnischen Eigenschaften (Variante OIB und Variante NG) des Gebäudes zu keinen wesentlichen Unterschieden bei den Ergebnissen der Heizwärmebedarfsberechnung führen. Die Ergebnisse des simplen Modells, des Dreizonenmodells sind akzeptabel unterschätzt und die Ergebnisse des Mehrzonenmodells (pro Stock), des zweistöckigen Gebäudes stellen ausreichend genaue Überschätzungen der Simulation dar. Die Abbildung 22 zeigt, dass die Abweichungen des realistischen Gebäudes (zweistöckigen Gebäudes) bei der Variante NG relativ zur Simulation unter zehn Prozent sind. Daraus folgt, dass der vereinfachte Nachweis ausreichend genaue Ergebnisse bei der Heizwärmebedarfsberechnung für ein effizientes Gebäude bietet.

Tabelle 22: Die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung. Die Zonenanzahl pro Stock des Gebäudes und die veränderten bauphysikalischen und bautechnischen Eigenschaften des Gebäudes führten zu keinen wesentlichen Unterschieden.

Modelle	Gründezeithaus (4 Zonen pro Stock)		Dreizonenmodell (3 Zonen pro Stock)		dreistöckiges Gebäude (6 Zonen pro Stock)		zweistöckiges Gebäude (11 Zonen pro Stock)	
	Heizwärmebedarf (kWh)							
Varianten	NG	OIB	NG	OIB	NG	OIB	NG	OIB
vereinfachter Nachweis	18565	32254	633	652	2331	3045	4664	8455
Simulation	19069	30277	675	687	2351	3232	4518	7884
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	97%	107%	94%	95%	99%	94%	103%	107%
Überschätzung		7%					3%	7%
Unterschätzung	3%		6%	5%	1%	6%		

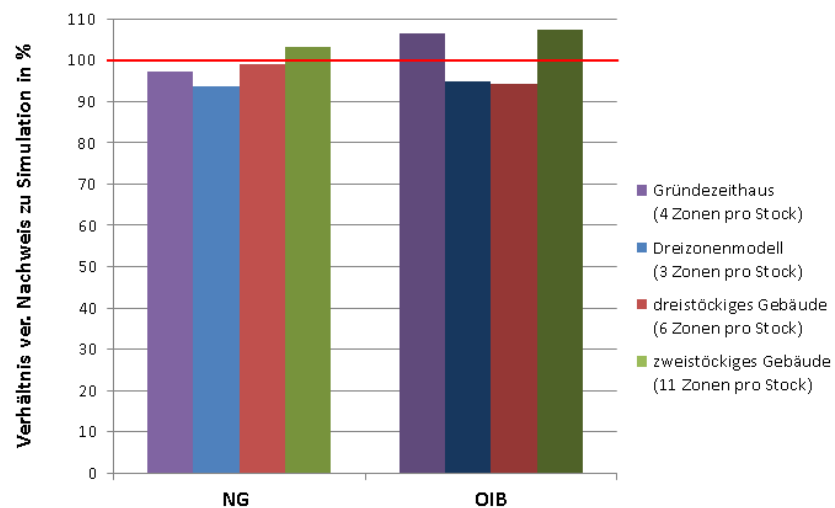


Abbildung 22: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Heizwärmebedarfsberechnung. Der vereinfachte Nachweis bietet ausreichend genaue Ergebnisse bei der Heizwärmebedarfsberechnung für ein effizientes Gebäude (aufgrund der Variante NG und des zweistöckigen Gebäudes).

4.1.4. Fall 4 – Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren

Zur Fortsetzung der Validierung der zwei diskutierten Berechnungsmethoden bezüglich der Heizwärmebedarfsberechnung wurden auch einige Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren beurteilt. Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Betrachtungsweisen bei der Bilanzierung des Energiebedarfs für das Heizen und Kühlen [SOF09]:

- entweder wird ein Gebäude als eine Zone betrachtet und die Bilanzierung wird über das ganze Gebäude einheitlich durchgeführt,
- oder ein Gebäude wird als ein Mehrzonenmodell betrachtet, wobei die Gebäudebereiche in der Bilanzierung durch verschiedene Nutzungen getrennt werden.

Nach diesen Punkten wurde im Nachfolgenden untersucht, wie die Ein- und Mehrzonenbilanzen die Rechengenauigkeiten des Monats-Bilanzverfahren beeinflussen können. Diese Analyse wurde bei zwei Testmodellen – bei dem simplen Dreizonenmodell und bei dem realitätsnahen zweistöckigen Gebäude – anhand der zwei Hauptvarianten (OIB und NG) durchgeführt. Die Eingangswerte dieses Falls sind mit den Eingangsdaten des ersten Falls (im Kapitel 4.1.1.) gleich.

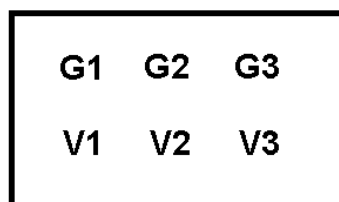


Abbildung 23: Einzonenbilanz

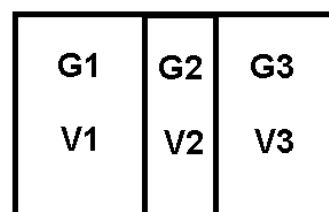


Abbildung 24: Mehrzonenbilanz

Die Beurteilung der Ergebnisse der verschiedenen Bilanzierungen

Im Zusammenhang mit dem Einfluss der verschiedenen Bilanzierungen kann festgestellt werden, dass sie verschiedene Rechengenauigkeiten mit sich zieht. Bei diesem vierten Fall wurden die Berechnungsmethoden, nämlich die Simulation, die Einzonen- (später als „EZB“ gekennzeichnet) und die Mehrzonenbilanz (später als „MZB“ gekennzeichnet) des vereinfachten Verfahrens durch zwei Testmodelle anhand der zwei Hauptvarianten (OIB und NG) gegenübergestellt.

Bei dem Dreizonenmodell gibt es keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Werten der Mehrzonen- und Einzonenbilanz. (Tabelle 23, Tabelle 25 Abbildung 25) Es folgt daraus, dass der Boden und die Außenwand des Ganges in den Berechnungen adiabatisch definiert wurden und es dort keine inneren Lasten gibt. Das hat noch die Konsequenz, dass den Gang betreffend weder Gewinne noch Verluste vorhanden sind, so übernimmt diese Zone die Temperatur der Nachbarzonen. Aus diesem simplen Modell folgend sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Werten der Mehrzonenbilanz, der Einzonenbilanz und der Simulation zu finden. Demgegenüber liegen Verluste im Gang des zweistöckigen Gebäudes wegen des erdberührten Bodens vor (hier gibt es aber auch keine inneren Gewinne). Aus den vorherigen Gedanken kann die Folgerung gezogen werden, dass die Verteilung der Verluste und der Gewinne im Gebäude nicht gleichmäßig ist. In Folge dessen verfügen die Mehrzonenbilanz und die Einzonenbilanz über unterschiedliche Werte (Tabelle 24, Tabelle 26 Abbildung 26). Dank dieses Umstandes kommen Überschätzungen in den Berechnungen vor. Im Zusammenhang mit dem Einfluss der verschiedenen Bilanzierungen kann festgestellt werden, dass die Verteilung der Verluste und Gewinne im Gebäude bei der Einzonen- und bei der Mehrzonenbilanz verschiedene Rechengenauigkeiten mit sich zieht. Mittels einer Einzonenbilanz berechnete Gebäude – sowohl effiziente als auch nicht effiziente Gebäude – haben ausreichend genaue Ergebnisse für den jährlichen Heizwärmebedarf unter Verwendung des Monats-Bilanzverfahrens.

Tabelle 23: Dreizonenmodell – Variante OIB. Bei der nicht effizienten Variante haben die unterschiedlichen Bilanzierungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse.

OIB		
Bilanzierung	HWB MZB (kWh)	HWB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	677	652
Simulation	687	687
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	99%	95%

Tabelle 25: Dreizonenmodell – Variante NG. Bei der effizienten Variante haben die verschiedenen Bilanzierungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse.

NG		
Bilanzierung	HWB MZB (kWh)	HWB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	641	633
Simulation	675	675
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	95%	94%

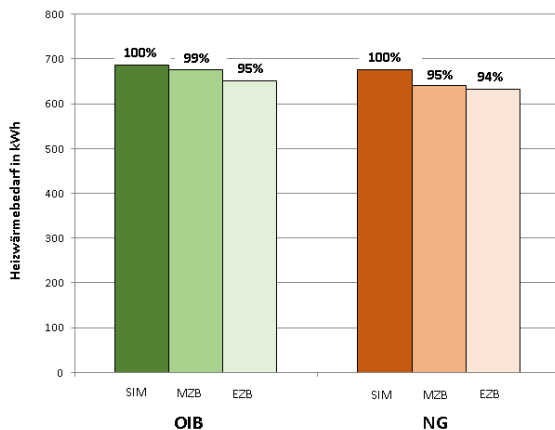


Abbildung 25: Dreizonenmodell – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten. Es gibt keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Werten der Mehrzonen- und, Einzonenbilanz und der Simulation.

Tabelle 24: Zweistöckiges Gebäude – Variante OIB. Es gibt eine bessere Berechnungsgenauigkeit bei einem anhand der Einzonenbilanz (EZB) berechneten Gebäude.

OIB		
Bilanzierung	HWB MZB (kWh)	HWB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	10598	8455
Simulation	7884	7884
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	134%	107%

Tabelle 26: Zweistöckiges Gebäude – Variante NG. Es gibt eine bessere Berechnungsgenauigkeit bei einem anhand der Einzonenbilanz (EZB) berechneten Gebäude.

NG		
Bilanzierung	HWB MZB (kWh)	HWB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	5474	4664
Simulation	4518	4518
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	121%	103%

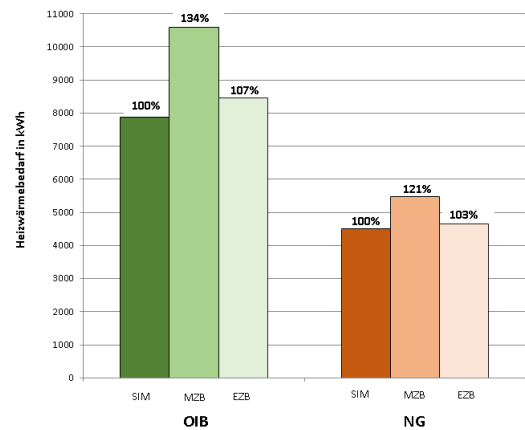


Abbildung 26: Zweistöckiges Gebäude – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten. Mittels einer Einzonenbilanz berechnete Gebäude – sowohl effiziente als auch nicht effiziente Gebäude – haben ausreichend genaue Ergebnisse.

4.2. Kühlbedarf

Bei der Kühlbedarfsberechnung wurden folgende drei Fälle untersucht:

- **Fall 1 – Verschiedene Wärmerückgewinnungen:** Bei diesem Fall wurden die zwei Berechnungsmethoden anhand der unterschiedlichen Wärmerückgewinnungen bei dem Dreizonenmodell durch die zwei Hauptvarianten untersucht.
- **Fall 2 – Verschiedene Temperaturen:** Hier wurden die zwei Rechenverfahren bei unterschiedlichen Komfortansprüchen durch das Dreizonenmodell anhand der zwei Hauptvarianten analysiert.
- **Fall 3 – Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren – Nicht effiziente und effiziente Gebäude:** Bei diesem Fall wurden die zwei Berechnungsmethoden bezüglich der bei dem Monats-Bilanzverfahren angewendeten Vereinfachungen durch zwei Testmodelle (durch das Dreizonenmodell und durch das zweistöckige Gebäude) anhand der zwei Hauptvarianten ermittelt.

4.2.1. Fall 1 – Verschiedene Wärmerückgewinnungen

Um die zwei analysierten Rechenverfahren bezüglich der Kühlbedarfsberechnung validieren zu können, müssen die Art der Wärmerückgewinnung im Sommer untersucht werden. Es gibt zwei Arten der Wärmerückgewinnung: die Lüftungsanlage funktioniert ständig wärmerückgewinnend oder sie hat einen „Sommer-Bypass“.

In der warmen Jahreszeit bietet ein Sommer-Bypass die Möglichkeit den "natürlichen Kühleffekt" der kühlen Nachtluft zu nutzen. Der kühle Außenluftvolumenstrom wird nicht durch den Luft-/Luft-Wärmetauscher, sondern durch einen Nebenkanal (Bypass) im Wohnungslüftungsgerät geführt. Somit wird eine zusätzliche Erwärmung der frischen Zuluft (Wärmerückgewinnung) im Sommer verhindert. [BUD10]

Tabelle 27: Eingangsdaten für Fall 1 – Kühlbedarf

Variante	OIB		NG	
Testmodelle	Dreizonenmodell			
Gebäudehülle	U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand der OIB Richtlinie 6		U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand eines NG-s	
	U-Werte des Fensterglases < 1.7 W/m²K		U-Werte des Fensterglases < 0.8 W/m²K	
Infiltration	n _v =1.5 1/h		n _v =0.6 1/h	
Innere Lasten	Standardgeräte (170 W / Person)		Effiziente Geräte (35 W / Person)	
	Anwesenheit der Personen: Büroprofil			
Lüftungsanlage	WRG 0,70	WRG -0,10	WRG 0,70	WRG -0,1
Fensterstellung nachts	Geschlossen			
Sonnenschutz	Ohne			
Temperatur	Büro: T= 22 °C , Gang T=26 °C			

In der dynamischen Simulation wurde der Wärmetauscher im Sommer-Betrieb (Sommer-Bypass) angenommen. Um die Berechnungsmethode des Monats-Bilanzverfahrens analysieren zu können, wurden bei diesem Fall Berechnungen bezüglich der unterschiedlichen Wärmerückgewinnung bei dem Dreizonenmodell anhand der zwei Hauptvarianten durchgeführt. Die obere Tabelle fasst die Eingangswerte für diesen Fall zusammen, wo das bautechnische Kennzeichen, die „Lüftungsanlage“ zwei verschiedene Unterfälle hat. Bei dem einen Fall, wenn die Lüftungsanlage ständig funktioniert, wurde in den Berechnungen anhand des Monats-Bilanzverfahrens der gleiche Wert 0,7 für einen Kühlfall verwendet, ebenso wie auch bei einem Heizfall. Bei dem anderen Fall wurde bezüglich eines Kühlfalles für den Wärmerückgewinnungsgrad -0.1 angenommen.

Der Wärmerückgewinnungsgrad für den Kühlfall wurde anhand der stündlichen Abfolge der Außentemperaturen und von dem Wert des Wärmerückgewinnungsgrades 0,7 vom Heizfall (als Prüfzeugnis) ausgehend anhand der folgenden Formel ermittelt:

$$\eta = \frac{T_{zu} - T_e}{T_{ab} - T_e} \quad (62)$$

η Wärmerückgewinnungsgrad

T_{zu} Zulufttemperatur in °C

T_e Außentemperatur in °C

T_{ab} Ablufttemperatur in °C

Die Beurteilung der Ergebnisse bezüglich der verschiedenen Wärmerückgewinnungen

Hier werden die zwei Berechnungsverfahren im Kontext der Art der Wärmerückgewinnung bewertet. Im Rahmen dessen werden die Ergebnisse der Kühlbedarfsberechnung mit verschiedenen Wärmerückgewinnungsgraden ausgewertet.

Die Tabelle 28 und Tabelle 29 und die Abbildung 27 zeigen eindeutig, dass mit dem Einsatz des Wärmerückgewinnungsgrades -0,1 die Lüftungsverluste erhöht werden. Dieser Einfluss verursacht die Senkung des Kühlbedarfs – im Vergleich zu den Ergebnissen der Varianten „WRG=0,7“ – bei dem vereinfachten Verfahren. Diese Tendenz ist bei beiden Hauptvarianten feststellbar.

Tabelle 28: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante WRG=0,7“ und bei der „Variante WRG=0,1“ anhand der Variante OIB. Sichtbar ist, dass bei der Variante WRG=0,1 – durch den erhöhten Lüftungsverlust – der Kühlbedarf abnimmt.

OIB		
Varianten	KB (kWh) WRG=0.7	KB (kWh) WRG=0.1
vereinfachter Nachweis	914	364
Simulation	759	759
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	120%	48%

Tabelle 29: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante WRG=0,7“ und bei der „Variante WRG=0,1“ anhand der Variante NG. Aus der effizienten Variante ist auch ersichtlich, dass bei der Variante WRG=0,1 der Kühlbedarf senkt.

NG		
Varianten	KB (kWh) WRG=0.7	KB (kWh) WRG=0.1
vereinfachter Nachweis	463	97
Simulation	286	286
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	162%	34%

„Absolut gesehen“ sind die Berechnungsungenauigkeiten des vereinfachten Nachweises groß. Die Ergebnisse der Untersuchung des ersten Falles bestätigen auch, dass die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der zwei Berechnungsverfahren folgen aus der Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades in der Berechnung der solaren Wärmeinträge.

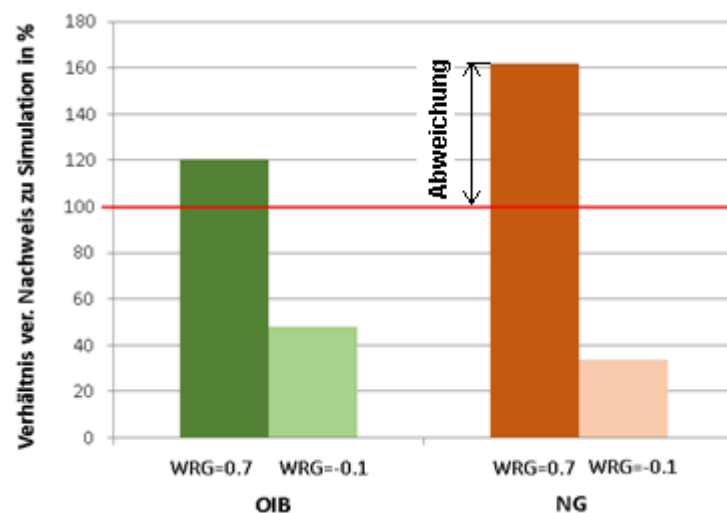


Abbildung 27: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Fall 1 – Kühlbedarfsberechnung. Erkennbar ist, dass die Abweichung bei der Variante WRG=0,1 größer als die Variante WRG=0,7 ist. „Absolut gesehen“ sind die Berechnungsungenauigkeiten des vereinfachten Nachweises bei den beiden Hauptvarianten groß.

4.2.2. Fall 2 – Verschiedene Temperaturen

Hier wurde untersucht, wie die unterschiedlichen Komfortansprüche die Berechnungsgenauigkeiten des vereinfachten Nachweises beeinflussen können. Wegen Behaglichkeitsgründen sollen die Temperaturen in einem engen Bereich sein. Deswegen wurden bei diesem Fall ein Temperaturintervall von 22 bis 24 °C (Variante „22-24“) und ein anderes Temperaturintervall von 20 bis 26 °C (Variante „20-26“) bei den zwei Hauptvarianten gegenübergestellt. Die Tabelle 30 stellt die in der Berechnung verwendeten Eingangswerte für den Fall 2 dar.

Tabelle 30: Eingangsdaten für Fall 2 – Kühlbedarf

Variante	OIB		NG	
Testmodelle	Dreizonenmodell			
Gebäudehülle	U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand der OIB Richtlinie 6		U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand eines NG-s	
	U-Werte des Fensterglases < 1.7 W/m²K		U-Werte des Fensterglases < 0.8 W/m²K	
Infiltration	n _s =1.5 1/h		n _s =0.6 1/h	
Innere Lasten	Standardgeräte (170 W / Person)		Effiziente Geräte (35 W / Person)	
	Anwesenheit der Personen: Büroprofil			
Lüftungsanlage	WRG -0,10			
Fensterstellung nachts	Geschlossen			
Sonnenschutz	Ohne			
Temperatur	22-24 °C (bei Büro und Gang)	20-26 °C (bei Büro und Gang)	22-24 °C (bei Büro und Gang)	20-26 °C (bei Büro und Gang)

Die Beurteilung der Ergebnisse bezüglich der unterschiedlichen Komfortansprüche

In diesem Teil wird diskutiert, was für einen Einfluss die unterschiedlichen Komfortansprüche auf die Ergebnisse des Monats-Bilanzverfahrens ausüben. Die Ergebnisse des kleineren Temperaturintervalls (Variante „22-24“) zeigen relativ kleinere Abweichungen der Ergebnisse der zwei Berechnungsmethoden (bei beiden Hauptvarianten) als die Ergebnisse des größeren Temperaturintervalls, wie in der Abbildung 28 dargestellt wird. Das kann daraus folgen, dass das Gebäude bei einem größeren Temperaturintervall viel mehr Wärmeenergie speichern kann und dieser Vorgang reduziert den Kühlbedarf.

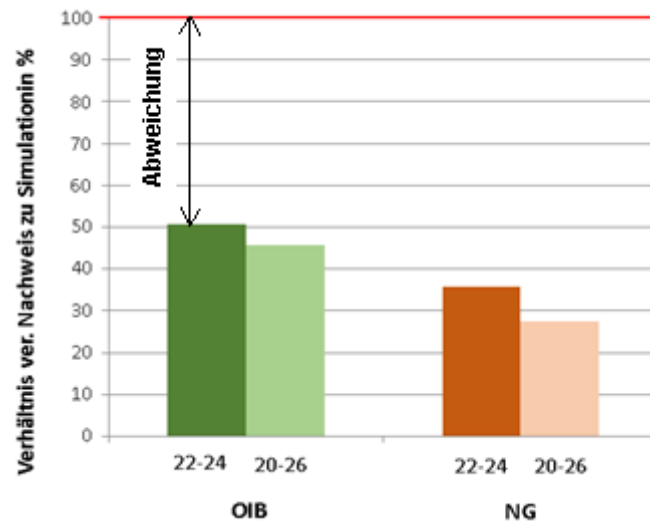


Abbildung 28: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Fall 2 – Kühlbedarfsberechnung. Die Berechnungsergebnisse des vereinfachten Nachweises sind tendenziell plausibel aber als absolute Werte betrachtet sind sie ungenau.

Die Tabelle 31, Tabelle 32 veranschaulichen eine Tendenz, dass die Ergebnisse der Variante „22-24“ fast doppelt so groß sind als die Ergebnisse der Variante „20-26“ bei beiden Hauptvarianten (OIB und NG) sowohl bezüglich der Simulationsergebnisse als auch bezüglich der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises. Daraus kann die Folgerung gezogen werden, dass die Berechnungsergebnisse des vereinfachten Nachweises tendenziell plausibel, aber als absolute Werte betrachtet ungenau, falsch sind (Abbildung 28). Die Ungenauigkeiten der Ergebnisse stammen auch aus der Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades in der Berechnung der solaren Wärmeinträge.

Tabelle 31: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante 22-24“ und bei der „Variante 20-26“ anhand der Variante OIB. Die Ergebnisse bei der Variante „22-24“ zeigen relativ kleinere Abweichungen zur Simulation als die Ergebnisse des größeren Temperaturintervalls.

OIB		
Varianten	KB 22-24 (kWh)	KB 20-26 (kWh)
vereinfachter Nachweis	369	235
Simulation	727	512
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	51%	46%

Tabelle 32: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante 22-24“ und bei der „Variante 20-26“ anhand der Variante NG. Aus der effizienten Variante ist auch ersichtlich, dass die Ergebnisse bei der Variante „22-24“ relativ kleinere Abweichungen zur Simulation zeigen als die Variante „20-26“.

NG		
Varianten	KB 22-24 (kWh)	KB 20-26 (kWh)
vereinfachter Nachweis	97	45
Simulation	273	164
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	36%	27%

4.2.3. Fall 3 – Vereinfachungen bei dem vereinfachten Verfahren – Nicht effiziente und effiziente Gebäude

Um die zwei analysierten Rechenverfahren bezüglich der Kühlbedarfsberechnung validieren zu können, soll der Einfluss der verschiedenen Bilanzierungen beurteilt werden. Bei diesem Fall wurden die Berechnungsmethoden, nämlich die Simulation und die Einzonen- und die Mehrzonenbilanz des vereinfachten Verfahrens durch zwei Testmodelle anhand der Varianten, also anhand der nicht effizienten und effizienten Gebäude gegenübergestellt.

Bei der Variante des nicht effizienten Gebäudes funktionieren kein Sonnenschutz und keine Lüftung in der Nacht und bei der effizienten Variante gibt es – zur Erreichung eines niedrigen Kühlbedarfs – einen Sonnenschutz und auch Kernlüftung nachts. Bei der Kernlüftung funktioniert eine fünffache Lüftung von 20 bis 4 Uhr. Die Rauminnentemperaturen für den Kühlfall betragen 22 °C und 26 °C in den Büros des Gangbereichs.

Tabelle 33: Eingangsdaten für Fall 3 – Kühlbedarf

Varianten				
	Nicht effizientes Gebäude		Effizientes Gebäude	
	OIB		NG	
Testmodelle	Dreizonenmodell	Dreistöckiges Gebäude	Dreizonenmodell	Dreistöckiges Gebäude
Gebäudehülle	U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand der OIB Richtlinie 6		U-Werte der Konstruktionsaufbauten anhand eines NG-s	
	U-Werte des Fensterglases < 1.7 W/m²K		U-Werte des Fensterglases < 0.8 W/m²K	
Infiltration	n _s =1.5 1/h		n _s =0.6 1/h	
Innere Lasten	Standardgeräte (170 W / Person)		Effiziente Geräte (35 W / Person)	
	Anwesenheit der Personen: Büroprofil			
Lüftungsanlage	Ja (WRG -0,10)			
Fensterstellung nachts	Geschlossen		Kernlüftung	
Sonnenschutz	Ohne		Außen	
Temperatur	Büro: T= 22 °C, Gang T=26 °C			

Die Beurteilung der Ergebnisse der verschiedenen Bilanzierungen

Mithilfe der Gegenüberstellung der zwei Hauptvarianten (der nicht effizienten und effizienten Gebäude) stellen die unteren Tabellen bezüglich beider analysierten Testmodelle eindeutig dar, dass das nicht effiziente Gebäude (OIB) mehr Kühlbedarf braucht als die effiziente Variante – dank der Maßnahmen zur Erreichung eines niedrigen Kühlbedarfs bei der Variante NG.

Tabelle 34: Dreizonenmodell – Variante OIB. Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse zur Simulation sind groß und nicht akzeptabel.

OIB		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	462	368
Simulation	767	767
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	60%	48%

Tabelle 36: Dreizonenmodell – Variante NG. Bei dem effizienten Fall sind die Abweichungen der Berechnungsergebnisse zur Simulation groß und nicht akzeptabel.

NG		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	99	27
Simulation	121	121
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	82%	22%

Tabelle 35: Zweistöckiges Gebäude – Variante OIB. Die Abweichungen der Ergebnisse (zur Simulation) der Mehrzonenbilanz (MZB) sind grundsätzlich akzeptabel.

OIB		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	3628	1724
Simulation	4018	4018
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	90%	43%

Tabelle 37: Zweistöckiges Gebäude – Variante NG. Die Abweichungen der Ergebnisse (zur Simulation) sind bei beiden Bilanzierungen nicht akzeptabel.

NG		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	944	105
Simulation	430	430
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	219%	24%

Die Nebeneinanderstellung der Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz werden von der Abbildung 29 und von der Abbildung 30 präsentiert. Anhand der Abbildung 30 wurde bei dem realistischen Gebäude, bei dem zweistöckigen Gebäude festgestellt, dass sich die Ergebnisse der Mehrzonenbilanz bei der Variante OIB grundsätzlich den Ergebnissen der Simulation annähern. Die zehn prozentige Abweichung der Ergebnisse (zur Simulation) sind bei diesem Fall ausreichend genau. Demgegenüber trifft diese Annahme sowohl auf die Variante NG als auch auf das simple Modell, auf das Dreizonenmodell nicht zu.

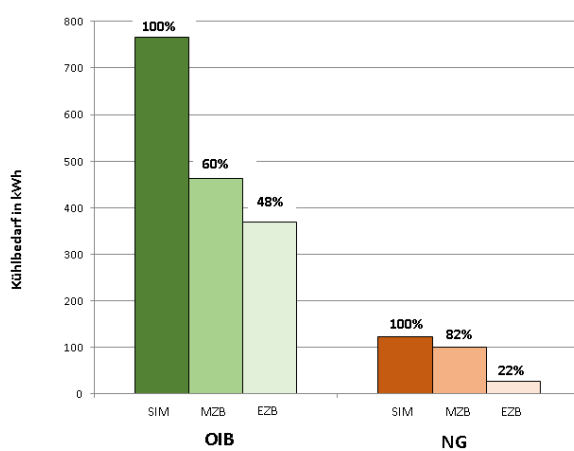


Abbildung 29: Dreizonenmodell – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten. Die Berechnungsergebnisse der verschiedenen Varianten sind groß und nicht akzeptabel.

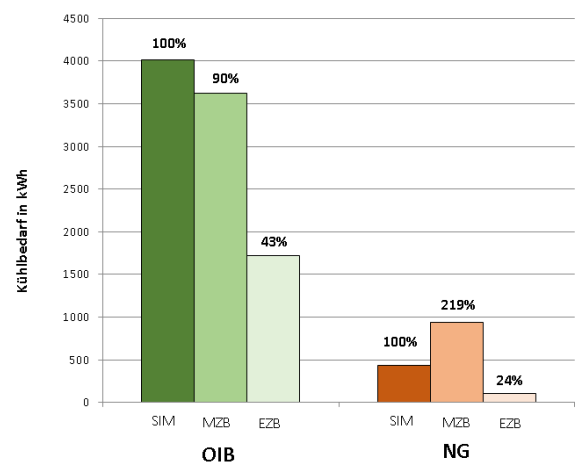


Abbildung 30: Zweistöckiges Gebäude – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten. Bei der Variante OIB ist die Abweichung der Ergebnisse (zur Simulation) der Mehrzonenbilanz ausreichend genau. Bei der Variante NG ist die Abweichung der Ergebnisse bei den beiden Bilanzierungen nicht annehmbar.

Die vorher erwähnten Ungenauigkeiten bei dem Dreizonenmodell bezüglich der zwei Berechnungsmethoden können aus dem „Lüftungsverhalten“ stammen. Das bisher verwendete Büroprofil, das im Kapitel 3.3 detailliert beschrieben wurde, muss in der Simulationsberechnung für dem Fall „Sommer“ wegen der zeitabhängigen, extrem hohen inneren Lasten sehr oft gekühlt werden, was in der Bilanz nicht sichtbar ist. Dies resultiert daraus, da die Lasten für einen Tag im vereinfachten Nachweis gemittelt werden. Um diesen Ansatz überprüfen zu können, wurde ein neues Profil angenommen, bei dem die inneren Lasten

stundenweise an einem Tag gleich sind. Dieses Profil mit kontinuierlichen inneren Lasten stellt die Abbildung 31 bei dem Dreizonenmodell bezüglich der Variante OIB – als Musterbeispiel – dar.

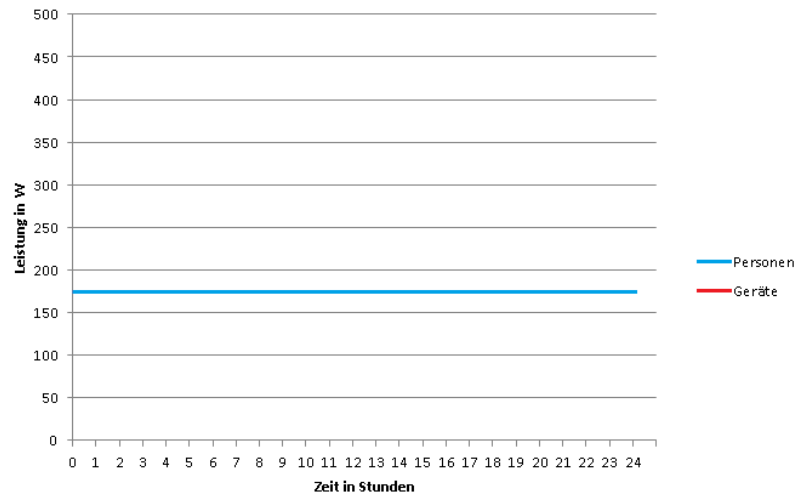


Abbildung 31: Das neue Büroprofil mit kontinuierlichen, inneren Lasten. (Die blaue Linie bezüglich der Personen verdeckt die rote Linie bezüglich der Geräte.)

Die Ergebnisse anhand dieses neuen Profils zeigen die unteren Tabellen und Abbildungen. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass das neue Profil bei der Variante NG des zweistöckigen Gebäudes nicht benutzt werden konnte, weil es bei diesem Fall sehr kleine innere Lasten gab. Deswegen könnten sie so nicht zu dem neuen Profil umgerechnet werden, da dort in den Büros mindestens eine Person anwesend wäre. Aber mit der Ausnahme dieser Variante bestätigen die anderen Varianten eindeutig, dass die Berechnungsungenauigkeiten bei dem Dreizonenmodell von den extrem hohen inneren Lasten verursacht worden sind. Aus diesem neuen Profil resultieren ähnliche Abweichungen, sowohl bei der Variante OIB des zweistöckigen Gebäudes (Abbildung 33), als auch bei der Variante OIB des Dreizonenmodells (Abbildung 32).

Tabelle 38: Dreizonenmodell – Variante OIB. Bei diesem Fall stellt die Merzonenbilanz (MZB) eine gute Berechnungsgenauigkeit dar.

OIB		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	503	404
Simulation	542	542
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	93%	74%

Tabelle 39: Zweistöckiges Gebäude – Variante OIB. Bei diesem Fall stellt die Merzonenbilanz (MZB) eine gute Berechnungsgenauigkeit dar.

OIB		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	3309	1517
Simulation	3676	3676
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	90%	41%

Tabelle 40: Dreizonenmodell – Variante NG. Bei der effizienten Variante sind die Abweichungen der Ergebnisse (zur Simulation) bei beiden Bilanzierungen nicht akzeptabel.

NG		
Bilanzierung	KB MZB (kWh)	KB EZB (kWh)
vereinfachter Nachweis	101	27
Simulation	74	74
Verhältnis ver. Nachweis zu Simulation	136%	37%

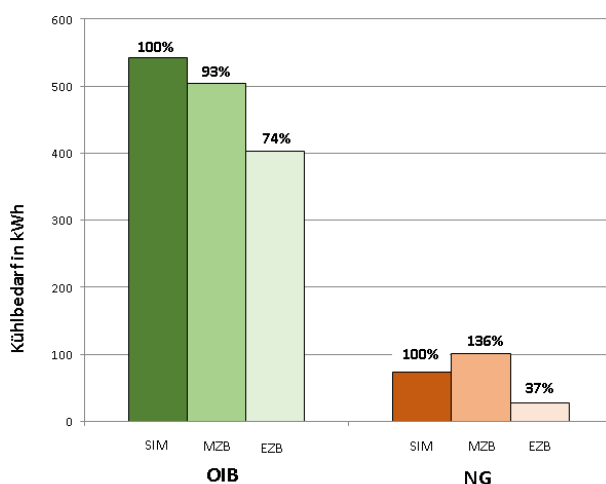


Abbildung 32: Dreizonenmodell – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Merzonenbilanz bei den Hauptvarianten. Bei der Variante OIB sind die Ergebnisse der Merzonenbilanz akzeptabel. Der vereinfachte Nachweis bietet aber keine akzeptablen Ergebnisse zur Kühlbedarfsberechnung bei der Variante NG.

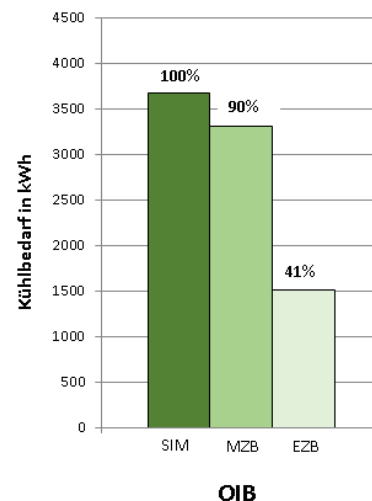


Abbildung 33: Zweistöckiges Gebäude – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Merzonenbilanz bei der Variante OIB. Bei der Variante OIB sind die Ergebnisse der Merzonenbilanz akzeptabel.

Neben diesen Feststellungen stellt die Abbildung 30 bei der Variante NG dar, dass die Abweichungen bei einem niedrigen Kühlbedarf im Vergleich zu der Simulation relativ groß sind. Zusammenfassend kann hier also die Feststellung gemacht werden, dass der vereinfachte Nachweis bei einem effizienten Gebäude zur Kühlbedarfsberechnung keine akzeptablen Ergebnisse bieten kann. In Folge dessen ist die Anwendung der dynamischen Simulation zu empfehlen, um annehmbare Ergebnisse bei der Kühlbedarfsberechnung erreichen zu können.

5. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurde der vereinfachte Nachweis im Vergleich zu der dynamischen Simulation validiert. Mit dieser Validierung konnte die Anwendbarkeit des vereinfachten Monats-Bilanzverfahrens in der Heizwärme- und Kühlbedarfsberechnung für effiziente Gebäude überprüft werden.

Erstmals werden zunächst die Analyseergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung dargestellt. In dieser Arbeit wurde bei den Fällen 1 und 3 untersucht, ob die Zonenanzahl (pro Stock) des Gebäudes, die Menge der Wärmeeinträge und die unterschiedlichen bauphysikalischen und bautechnischen Eigenschaften (bezüglich der nicht effizienten Variante OIB und der effizienten Variante NG) die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung beeinflussen. Es stellte sich heraus, dass die Berechnungen „absolut gesehen“ zu keinen wesentlichen Unterschieden zwischen den Ergebnissen der zwei analysierten Verfahren führten.

Durch die Veränderung der inneren Lasten bei dem Fall 2 wurde festgestellt, dass die unterschiedlichen Lasten keinen bedeutenden Einfluss auf die Berechnungsgenauigkeit des Monats-Bilanzverfahrens – bei der Heizwärmebedarfsberechnung – genommen haben. Trotz dem, dass die Abweichungen zwischen den Ergebnissen der zwei Verfahren absolut gesehen „nicht bedeutend“ waren, wurden relativ gesehen konstante Differenzen zwischen den zwei erwähnten Berechnungsmethoden aufgewiesen. Diese konstanten relativen Ungenauigkeiten folgen aus der Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades in der Berechnung der solaren Wärmeeinträge.

Im Zusammenhang mit dem Einfluss der verschiedenen Bilanzierungen bei dem Fall 4 wurde die Feststellung gemacht, dass die Art der Bilanzierung – also das, ob eine Einzonen- oder Mehrzonenbilanz verwendet wurde – verschiedene Rechengenauigkeiten mit sich zog. Es wurde zusammenfassend gezeigt, dass das bei dem untersuchten realistischen Modell (bei dem zweistöckigen Gebäude) mit der Präsenz von geringen Wärmeeinträgen ausreichend genaue Ergebnisse in einer Einzonenbilanz (in dem Monats-Bilanzverfahren) geliefert werden können.

Im Folgenden werden die Untersuchungsergebnisse der Kühlbedarfsberechnung zusammengefasst. Die Ergebnisse des Falls 1 stellten es bei der Kühlbedarfsberechnung heraus, dass die Art der Wärmerückgewinnung einen großen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse des vereinfachten Nachweises ausübt. Die Berechnungsungenauigkeiten des vereinfachten Nachweises waren bedeutend. Während dieser Untersuchung wurde auch bestätigt, dass die Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades zu weiteren Ungenauigkeiten in der Berechnung der solaren Wärmeinträge (bei der Kühlbedarfsberechnung des Monats-Bilanzverfahrens) führt.

Anhand des Falls 2 wurde festgestellt, dass die verschiedenen Komfortansprüche auf die Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens keinen bedeutenden Einfluss ausüben. Die Abweichung zwischen den Ergebnissen der zwei Berechnungsverfahren folgt ebenso aus der Winkelabhängigkeit des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades.

Im Zusammenhang mit dem Einfluss der verschiedenen Bilanzierungen und bezüglich dessen, ob das Gebäude als nicht Effizientes oder Effizientes betrachtet wird, wurde es bei dem realistischen zweistöckigen Gebäude anhand des Falls 3 konstatiert, dass die Abweichung der Ergebnisse bei der Variante OIB anhand der Mehrzonenbilanz (relativ zur Simulation) grundsätzlich akzeptabel ist. Demgegenüber trifft diese Annahme auf den effizienten Fall (Variante NG) nicht zu. Aus den vorher dargestellten Untersuchungsfolgerungen stellte es sich heraus, dass der vereinfachte Nachweis keine akzeptablen Ergebnisse im Falle eines über einen niedrigen Kühlbedarf verfügenden effizienten Gebäudes bei der Kühlbedarfsberechnung bietet. Es kann daraus die Hauptkonsequenz gezogen werden, dass um annehmbare Ergebnisse bei der Kühlbedarfsberechnung erreichen zu können, ist die Anwendung der dynamischen Simulation empfehlenswert.

6. Anhang

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Ausnutzungsgrade der Verluste für das Monats-Berechnungsverfahren und für verschiedene Zeitkonstanten [ONO08a]	24
Abbildung 2: Schema des Raumknotenmodells [SCH04]	30
Abbildung 3: Bauteilquerschnitt mit Bezeichnung der Temperaturen [SCH04] ..	32
Abbildung 4: Schema des Zwei-Kapazitäten-Modells für das opake Bauteil k [SCH04]	34
Abbildung 5: Schema des Fenstermodells [SCH04]	41
Abbildung 6: Zonen und Abmessungen des Dreizonenmodells.....	48
Abbildung 7: Dreizonenmodell in 3D-Ansicht.....	48
Abbildung 8: Zonen und Abmessungen des „dreistöckigen Gebäudes“	50
Abbildung 9: Dreistöckiges Gebäude in 3D-Ansicht.....	50
Abbildung 10: Zonen und Abmessungen des „zweistöckigen-Gebäudes“	53
Abbildung 11: Zweistöckiges Gebäude in 3D-Ansicht.....	53
Abbildung 12: Zonen und Abmessungen des „Gründerzeithaus“	54
Abbildung 13: Gründerzeithaus in 3D-Ansicht	54
Abbildung 14: Jahresgang der Außentemperatur des IWEK-Wetterdatensatzes für St. Pölten	59
Abbildung 15: Jahresgang der Globalstrahlung des IWEK-Wetterdatensatzes für St. Pölten	59
Abbildung 16: Nutzungstyp: Büroprofil.....	60
Abbildung 17: Dreizonenmodell-Personenzahl	61
Abbildung 18: Dreistöckiges Gebäude-Personenzahl.....	61
Abbildung 19: Zweistöckiges Gebäude-Personenzahl.....	61
Abbildung 20: Gründerzeithaus-Personenzahl.....	61
Abbildung 21: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in %.	65
Abbildung 22: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Heizwärmebedarfsberechnung.	69
Abbildung 23: Einzonenbilanz.....	70
Abbildung 24: Mehrzonenbilanz.....	70

Abbildung 25: Dreizonenmodell – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten.	72
Abbildung 26: Zweistöckiges Gebäude – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten..	72
Abbildung 27: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Fall 1 – Kühlbedarfsberechnung..	76
Abbildung 28: Das Verhältnis der Ergebnisse des vereinfachten Nachweises zur Simulation in % – Fall 2 – Kühlbedarfsberechnung.	78
Abbildung 29: Dreizonenmodell – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten..	81
Abbildung 30: Zweistöckiges Gebäude – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten. r.	81
Abbildung 31: Das neue Büroprofil mit kontinuierlichen, inneren Lasten.	82
Abbildung 32: Dreizonenmodell – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei den Hauptvarianten.	83
Abbildung 33: Zweistöckiges Gebäude – Die Ergebnisse der Simulation, der Einzonenbilanz und der Mehrzonenbilanz bei der Variante OIB.	83

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Werte für den numerischen Parameter $a_{H,0}$ und die Bezugszeitkonstante $\tau_{H,0}$ [ONO08a].....	23
Tabelle 2: Werte für den numerischen Parameter $a_{C,0}$ und für die Bezugszeitkonstante $\tau_{C,0}$ [ONO08a].....	24
Tabelle 3: Standardwerte für dynamische Parameter [ONO08a].....	26
Tabelle 4: Grenzwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten anhand der zwei Varianten	47
Tabelle 5: Definition der Nachbarzonen und der Randbedingungen.....	48
Tabelle 6: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB	49
Tabelle 7: Konstruktionsaufbauten der Variante NG	49
Tabelle 8: Nachbarzonen und Randbedingungen.....	51
Tabelle 9: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB	51
Tabelle 10: Konstruktionsaufbauten der Variante NG	52
Tabelle 11: Nachbarzonen und Randbedingungen.....	53
Tabelle 12: Nachbarzonen und Randbedingungen.....	55

Tabelle 13: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB-Decke	55
Tabelle 14: Konstruktionsaufbauten der Variante OIB-Wand	56
Tabelle 15: Konstruktionsaufbauten der Variante NG-Decke	57
Tabelle 16: Konstruktionsaufbauten der Variante NG-Wand	58
Tabelle 17: Eingangsdaten – Fall 1 – Heizwärmebedarf.....	63
Tabelle 18: Die Ergebnisse der Gewinne der Heizwärmebedarfsberechnung. .	66
Tabelle 19: Eingangsdaten-Fall 2 – Heizwärmebedarf	66
Tabelle 20: Die Ergebnisse der Gewinne der Heizwärmebedarfsberechnung. .	67
Tabelle 21: Die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung.	68
Tabelle 22: Die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsberechnung.	69
Tabelle 23: Dreizonenmodell – Variante OIB.....	72
Tabelle 24: Zweistöckiges Gebäude – Variante OIB.	72
Tabelle 25: Dreizonenmodell – Variante NG.....	72
Tabelle 26: Zweistöckiges Gebäude – Variante NG.	72
Tabelle 27: Eingangsdaten für Fall 1 – Kühlbedarf	74
Tabelle 28: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante WRG=0,7“ und bei der „Variante WRG=0,7“ anhand der Variante OIB..	76
Tabelle 29: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante WRG=0,7“ und bei der „Variante WRG=0,7“ anhand der Variante NG.	76
Tabelle 30: Eingangsdaten für Fall 2 – Kühlbedarf	77
Tabelle 31: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante 22-24“ und bei der „Variante 20-26“ anhand der Variante OIB.	78
Tabelle 32: Die Ergebnisse des vereinfachten Nachweises und der Simulation bei der „Variante 22-24“ und bei der „Variante 20-26“ anhand der Variante NG.	78
Tabelle 33: Eingangsdaten für Fall 3 – Kühlbedarf	79
Tabelle 34: Dreizonenmodell – Variante OIB.....	80
Tabelle 35: Zweistöckiges Gebäude – Variante OIB.....	80
Tabelle 36: Dreizonenmodell – Variante NG.	80
Tabelle 37: Zweistöckiges Gebäude – Variante NG..	80
Tabelle 38: Dreizonenmodell – Variante OIB.	83

Tabelle 39: Zweistöckiges Gebäude – Variante OIB.	83
Tabelle 40: Dreizonenmodell – Variante NG.....	83

7. Literatur

[BED04] H. Schöberl, T. Bednar: Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau. Wien: Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Mai 2004.

[BUD10] Buderus Deutschland.
http://www.buderus.de/Glossar/S/Sommer_Bypass-3421988.htm.
Herunterladungsdatum: 23.03.2015.

[EIC12] Eicker Ursula: Solare Technologien für Gebäude – Grundlagen und Praxisbeispiele, 2. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. 2012. ISBN: 978-3-8348-1281-0.

[GRA11] Dissertation von Markus Gratzl-Michlmair, Entwicklung und Adaption von Algorithmen zur Bewertung des Energiebedarfs von Lüftungsanlagen im Kontext des Energieausweises. Graz: März 2011.

[HAG01] Hagentoft Carl-Eric: Introduction to Building Physics. Lund: Studentlitteratur AB: 2001. ISBN: 91-44-01896-7.

[HAU15] Haus der Zukunft. <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id6475>.
Das Datum des Herunterladens: 28.02.2015.

[HOF14] H. Schöberl, R. Hofer, M. Leeb, T. Bednar, G. Kratochwil: Österreichs größtes Plus-Energie-Bürogebäude am Standort Getreidemarkt der Tu Wien. Wien: Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 47/2014.

[IMM14] Immobilien. Die Presse.com.
http://immobilien.diepresse.com/home/oesterreich/3823591/Zertifikat_Rittern-um-Silber-Gold-Platin. Das Datum des Herunterladens: 07.03.2015.

[KRE04] Diplomarbeit von Otto Raffael Krenn: Validierung des Monatsbilanzverfahrens zur Berechnung des jährlichen Kühlwärmebedarfs Kühlwärmebedarfs von Gebäuden. Wien: August 2004.

[ONO03] ÖNORM B 8110-2, Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Juli 2003.

- [ONO08a] ÖNORM EN ISO 13790, Energieeffizienz von Gebäuden- Berechnung des Heizenergiebedarfs. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Oktober 2008.
- [ONO08b] ÖNORM EN ISO 13789, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions - und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, April 2008.
- [ONO11] ÖNORM B 8110-5: Wärmeschutz im Hochbau, Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, März 2011.
- [ONO12] ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau, Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, März 2012.
- [OIB11] Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, Oktober 2011.
- [PÖH07] Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Pöhn, Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton Pech, Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing .Dr. techn. Thomas Bednar, O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher: Bauphysik – Erweiterung 1. Wien: SpringerWienNewYork, 2007.
- [REU10] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union, Mai 2010.
- [RIC10] Riccabona, Christof; Bednar, Thomas: Baukonstruktionslehre 4- Bauphysik, 8., überarbeitete Auflage. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH, 2010.
- [SCH04] F. Friembichler, T. Bednar, S. Handler, M. Gladt, M. Neusser, R. Hofer, H. Schöberl,: Thermische Bauteilaktivierung. Entwicklung eines Rechenkerns. Wien: Berichte aus Energie- und Umweltforschung, November 2014.
- [SOF09] Dissertation von Mario Sofic, Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden. Wien: Mai 2009.