

TABS im EA

Endbericht

FH Salzburg:

Patricia Reindl

Michael Moltinger

Daniel Heidenthaler

Markus Leeb

TU Wien:

Maximilian Bühler

Thomas Bednar

Zukunftsagentur Bau:

Maria Rehbogen

Gunther Graupner



FH Salzburg



Kurzfassung

Die Energiekennzahlen von Gebäuden mit thermisch aktivierten Bauteilsystemen (TABS) werden im Energieausweis (EA) oft schlechter dargestellt als es in der Realität der Fall ist. Dieser Umstand ist auf vereinfachte und verallgemeinernde Berechnungsmethoden im Energieausweis zurückzuführen. Um eine der wesentlichen Schlüsseltechnologien der Zukunft im Bereich Gebäudetechnik nicht aufgrund dieser Berechnungen zu benachteiligen, wurde in diesem Forschungsprojekt der Heizenergiebedarf von Modellgebäuden mit TABS für verschiedene Gebäudetypen und in Verbindung mit unterschiedlichen Bauweisen mithilfe von Gebäudesimulationen untersucht und mit den Ergebnissen der Energieausweisberechnung gegenübergestellt. Dabei wurden auch die bisherigen Berechnungsmethoden des Energieausweises analysiert. Durch diese Analyse sowie durch den Vergleich der Ergebnisse von Simulation & Berechnung konnten Stellschrauben zur realitätsnäheren Darstellung von TABS im EA identifiziert werden und Vorschläge für eine Überarbeitung der Berechnung formuliert werden. Im Laufe des Projekts wurde dabei der Korrekturfaktor Flächenheizung (f_{FH}) als einer der Parameter identifiziert, bei dem eine Überarbeitung der Berechnungsmethode sinnvoll wäre. Deshalb wurde speziell dieser Parameter mithilfe von Bauteilsimulationen genauer untersucht und ein Vorschlag für die zukünftige Berechnungsmethode bzw. für die Weiterentwicklung dieses Faktors generiert. Auch die Abbildung der für TABS zu verwendender Regelung wurde untersucht, da diese stark von vordefinierten Defaultwerten im Energieausweis abhängen.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse von Simulationen und der Energieausweisberechnung ergab einen erhöhten Heizenergiebedarf für die Raumheizung von 12 bis 22 %, je nach Gebäudegröße (Einfamilienhaus bis Geschößwohnbau). Dieser Wert zeigt klar, dass eine Anpassung der Defaultwerte sinnvoll ist.

Mit dem vorgeschlagenen neuen Korrekturfaktor Flächenheizung und einer Reduzierung der Defaultwerte für die spezifischen Wärmeverluste dieses Wärmeabgabesystems um ca. $0,2 \text{ W/m}^2$, lässt sich beispielsweise diese Abweichung reduzieren.

INHALT

Kurzfassung.....	
1. Projektbeschreibung	1
1.1. Ziele und Entwicklungsinhalte.....	4
1.2. Stand der Technik.....	5
2. Grundlagenermittlung und Potenzialanalyse	7
2.1. Normen und Richtlinien.....	7
2.2. Einflussfaktoren in der Normung.....	12
2.2.1. Einflussfaktoren in der ÖNORM B 8110-6-1.....	12
2.2.2. Einflussfaktoren in der ÖNORM H 5056 -1.....	14
2.2.3. Einflussfaktoren in der EN 15316-2.....	22
2.3. Sensitivitätsanalyse	24
2.4. Auswahl der zu variierenden Parameter	29
3. Gebäude- und Bauteilsimulation	31
3.1. Modellgebäudebildung Simulation	31
3.1.1. Grundlagen.....	33
3.1.2. Geometrie.....	34
3.1.3. Fensterflächen.....	35
3.1.4. Gebäudetechnik	38
3.1.5. Bauteile.....	39
3.1.6. Abbildung und Überprüfung der Wärmeverluste laut H5056-1 in der Simulation.....	45
4. Vergleich und Ergebnisse	57
4.1. Ergebnisse der Gebäudesimulation.....	58
4.2. Ergebnisse aus der Energieausweisberechnung.....	64
5. Korrekturfaktor Flächenheizung	70
5.1. Vorschlag neue Berechnung.....	70
5.1.1. Herleitung	71
5.1.2. Auswertung des Korrekturfaktor Flächenheizung nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04.....	72
5.1.3. Auswertung des Korrekturfaktor Flächenheizung aus einer Gebäudesimulation.....	79
5.1.4. Berechnung mittels detaillierter stationärer Bauteilsimulation.....	84

5.1.5. Bauteildatenbank.....	91
5.2. Vergleich des vorgestellten Berechnungsverfahrens mit der aktuellen Berechnung	100
5.2.1. Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit einer fixierten Vor-/ Rücklauftemperatur von 35/28 °C.....	100
5.2.2. Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit einer fixierten Vor-/ Rücklauftemperatur von 30/25 °C.....	101
5.2.3. Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit angepassten Vor-/ Rücklauftemperatur	103
5.2.4. Vergleich IDA ICE mit neuem f_{FH}	105
6. Handlungsempfehlung für Eingabe TABS im Energieausweis.....	107
7. Conclusio	108
8. Tabellenverzeichnis	111
9. Abbildungsverzeichnis.....	113
10. Literaturverzeichnis	117
Anhang	121
A Vergleich mit Validierungsbeispiel DIN EN ISO 11855-2.....	121

1. Projektbeschreibung

Thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS) gewinnen zunehmend an Bedeutung. Vor allem im Neubau aber auch in der Sanierung nimmt die Verbreitung des Systems und deren Anwendung zu. Dabei erfüllt das System die unterschiedlichsten Voraussetzungen und Bedingungen, bei gleichzeitigem Mehrwert für Komfort und Behaglichkeit als auch für die Energieeffizienz von Gebäuden und deren haustechnischem System. Während zwar inzwischen der Stand der Technik sehr weit fortgeschritten ist und der Mehrwert dieses Systems bereits an zahlreichen ausgeführten Systemen festgestellt werden kann, bleibt die Abbildung derselben im Energieausweis und den zugehörigen Normen bisher zurück. Wenn auch grundsätzlich die Eingabe und Berechnung der Energiekennzahlen für Gebäude mit TABS in den unterschiedlichsten Bauteilen möglich ist, so wird die Darstellung doch sehr vereinfacht und die Berechnung der etwaigen Energiekennzahlen wie etwa Heizenergiebedarf (HEB) sowie folglich Endenergiebedarf (EEB), Primärenergiebedarf (PEB), Kohlendioxidemissionen (CO₂) und Gesamtenergieeffizienz-Faktor (f_{GEE}) beruhen oft auf Vereinfachungen und Defaultwerten. Auch die Lage der Leitungen kann derzeit im EA nicht berücksichtigt werden. Dabei ergibt sich aber ein Unterschied, ob bei Außenwänden auf der Innenseite oder im Sanierungsfall von der Außenseite TABS appliziert werden. Aus Erfahrung im Zuge der Begleitung diverser Ausführungsobjekte mit TABS im Bereich Sanierung und Bestand kann gesagt werden, dass die Berechnungen der Energiekennzahlen mithilfe des Energieausweises tendenziell zu hoch ausfallen und damit eine Benachteiligung für die Schlüsseltechnologie der Zukunft darstellen. Somit war eine Überarbeitung der Berechnungs- und Eingabegrundlagen notwendig, um die weitere Entwicklung dieses Systems zu unterstützen.

Das Forschungsprojekt beschäftigte sich demnach mit folgenden Themenbereichen:

- Zugrundeliegende Normen und Berechnungsverfahren und deren Überarbeitung
- Darstellung und Eingabe von TABS im Energieausweis

Das Forschungsprojekt trägt den Titel „Thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS) im Energieausweis“. Unter „TABS“ wird in gegenständlichem Projekt eine flächige Systemlösung zum Beheizen und Kühlen von Gebäuden verstanden. Dabei wird die Gebäudemasse der aktivierten Flächen als thermischer Energiespeicher verwendet. Solche Systeme kommen mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturniveaus aus, wodurch diese einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden vor allem in Zusammenhang mit Niedertemperaturbereitstellungssystemen leisten können. Zusätzlich ermöglicht die Aktivierung des thermischen Speichers eines Gebäudes eine Flexibilität hinsichtlich der Temperierung des Gebäudes. Durch die Trägheit eines solchen Systems können Lastspitzen verschoben und vorhandene Energie aus etwaigen fluktuierenden Energieträgern wie etwa Solarenergie besser genutzt werden. Dadurch können solche Systeme neben der verbesserten Nutzung von erneuerbaren Energieträgern auch einen Beitrag zur Entlastung von Stromnetzen leisten, wenn etwa die Wärmebereitstellung auf Strom als Energieträger wie etwa im Falle von Wärmepumpen basiert. Je nach System können die aktivierten Bauteile die Decke, den Fußboden aber auch die Wand betreffen und dabei in unterschiedlichen Schichten des jeweiligen Bauteils installiert werden. Dementsprechend unterschiedlich und vielseitig sind die zum Einsatz kommenden Systeme mit TABS. Der derzeitige Energieausweis beziehungsweise die diesem zugrundeliegenden Normen berücksichtigen diese Umstände in der Berechnung der Energiekennzahlen bisweilen nicht. Darüber hinaus kommen in der Praxis bei der Berechnung der Kennzahlen, wie obig beschrieben, vordefinierte Default-Werte zum Einsatz, die tatsächliche Eingabe und Berechnung der diversen Parameter wird häufig aufgrund des Mehraufwandes ausgelassen. Diese Default-Werte treffen jedoch für eine Vielzahl von individuellen Gebäuden und Heizungs- bzw. Kühlsystemen nicht zu, dadurch besteht gerade diesbezüglich großes Potential, Unsicherheitsfaktoren zu eliminieren und die Berechnung realitätsnäher durchzuführen. Dies ist unter anderem der Tatsache geschuldet, dass diese Parameter groben Vereinheitlichungen und Annahmen unterliegen, welche, um die Ergebnisse optimieren zu können, spezifischer, den tatsächlichen Umständen und Systemen eher entsprechend, gestaltet werden müssen, wie auch die vorab durchgeführte Potentialanalyse

anhand einiger Ausführungsbeispiele unter wissenschaftlicher Begleitung der Fachhochschule Salzburg ergab.

Durch die Optimierung der Abbildung von TABS im Energieausweis wurde eine Verbesserung der Energiekennzahlen erreicht, wodurch der Einsatz im zukünftigen Neubau, aber auch in der Sanierung von Bestandsgebäuden attraktiver wird. Die derzeitige Ungenauigkeit der Berechnungen und daraus folgende Verzerrung der Ergebnisse stellen ein Hindernis für den Einsatz von solchen Systemen dar. So kann beispielsweise die derzeitige Abbildung von TABS im Energieausweis zum Wegfall von Förderungen aufgrund unzureichend guter Energiekennzahlen führen. Die Generierung von Förderungen ist ein maßgeblicher Einflussfaktor auf die Planung und Ausführung von Haustechniksystemen und Bauteilaufbauten. Diesen Umstand gilt es hinsichtlich der notwendigen und von der europäischen Union und deren Mitgliedsstaaten forcierten Steigerung der Energieeffizienz, zu welcher ein solches System einen wesentlichen Beitrag leisten kann, zu ändern. TABS sollen bedarfsgerechter und praxisorientierter, als auch den tatsächlichen Verhältnissen eher entsprechend abgebildet werden. Dabei steht diese Weiterentwicklung des Energieausweises im Konsens mit der zunehmenden Digitalisierung im Bausektor, da die für den Energieausweis notwendigen Eingabeparameter in Zukunft erwartungsgemäß vermehrt digital und automatisiert ermittelt werden können, wodurch eine aufwendige Berechnung hinfällig wird. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Forschungsprojektes ist auch der Wissenstransfer zu all jenen, welche in Zukunft mit dem Energieausweis und der Einbindung der TABS konfrontiert werden. Die Berechnung von Energieausweisen von Gebäuden mit TABS gestaltet sich mitunter komplex und ist dementsprechend fehlerbehaftet. Fehlende oder falsche Eingaben und ungenaue Annahmen sind neben der Berechnungsgrundlage in den Normen mitverantwortlich für verfälschte und von der Realität abweichende Ergebnisse bezüglich der Energiekennzahlen. Um diese Problematik in Zukunft zu vermeiden ist zukünftig geplant einen breiten Wissenstransfer gemeinsam mit der Bauinnung, Zukunftsagentur Bau anzubieten, um die jeweiligen Personen für die Thematik der TABS zu sensibilisieren sowie auf die Eingabeproblematik aufmerksam zu machen. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden nur Wohnbauprojekte betrachtet. Zur

Validierung der Ergebnisse wurden unterschiedliche Gebäudetypen betrachtet: Wohngebäude als Geschloßwohnbauten sowie Ein- und Mehrfamilienhäuser.

1.1. Ziele und Entwicklungsinhalte

Ein wesentliches Ziel war die bedarfsgerechte und praxisorientierte Abbildung der Berechnung von TABS im Energieausweis bzw. den in Bezug auf TABS relevanten Energiekennzahlen. Daraus leiteten sich zwei Projektziele ab:

- Teilziel 1: Adaption bestehender und Untersuchung der Entwicklung neuer Berechnungsmethoden für den Energiebedarf von Systemen mit TABS

Die Basis für diese Weiterentwicklung bildeten Parameterstudien ausgewählter Beispielprojekte, anhand derer die schrittweise Analyse des Prozesses der Berechnung des Energieausweises in Bezug auf TABS erfolgte. Die Berechnungen des Energieausweises wurden im Anschluss denen einer Simulation gegenübergestellt.

Anhand dieser Gegenüberstellung erfolgte die Ermittlung abweichender oder nicht berücksichtigter Parameter und Unschärfen in der Berechnung des Energieausweises sowie eine Gegenüberstellung der Wirksamkeit der einzelnen Eingabeparameter in Form von einer Sensitivitätsanalyse. Diese Analyse und Eruiierung der Problempunkte in der aktuellen Berechnung bildete die Grundlage der im Anschluss folgenden Analyse einer Anpassung bestehender Berechnungsalgorithmen und Default-Berechnungen in den zugehörigen ÖNORMEN, welche gemäß OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik 2019) als Grundlage für den Energieausweis dienen. Im speziellen betrifft dies die Normen der Reihe ÖNORM B 8110 (Wärmeschutz im Hochbau) sowie der Reihe ÖNORM H 50xx (Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden). Es erfolgte eine Anpassung bestehender Formeln bzw. Ergänzung von Kennwerten. Die Anpassung der Formeln erfolgte dabei auf Grundlage der Validierungsobjekte und deren Simulationen im Vergleich zur bestehenden Berechnung und den daraus gewonnenen Erkenntnissen.

- Teilziel 2: Vorbereitung der Bewusstseinsbildung und des Wissenstransfers der gewonnenen Erkenntnisse zur Abbildung von TABS im Energieausweis

Die Ergebnisse aus Teilziel 1 sowie bereits vorhandener und anderer abgeschlossener Forschungsprojekte dienen als Grundlage zur Erreichung des Teilziels 2. Auf Basis der generierten Informationen wurde eine Handlungsempfehlung für die Eingabe von TABS im Energieausweis erstellt. Diese soll vor allem dazu dienen, durch die Berechnung von komplexen Systemen mit TABS im Energieausweis auf Fehlerpotentiale, allfällige Unsicherheiten und deren Auswirkungen bei der Eingabe aufmerksam zu machen, um in Zukunft ein verbessertes Ergebnis bei der Abbildung der Energiekennzahlen zu erreichen.

1.2. Stand der Technik

Die derzeitige Berechnungsgrundlage bilden die Normenreihen ÖNORM B 8110 sowie ÖNORM H 50xx, im speziellen die Norm ÖNORM B 8110-6 zur Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs sowie die Norm ÖNORM H 5056 -1 zur Berechnung des Heiztechnikenergiebedarfs.

Die zusätzlichen Transmissionswärmeverluste durch Flächenheizungen finden in der Norm ÖNORM H 5056 -1 in Form von einem Korrekturfaktor Berücksichtigung. Dieser berechnet sich aus der mittleren Temperatur der Flächenheizung des jeweiligen Monats, der mittleren Innentemperatur sowie der mittleren Außentemperatur. Unberücksichtigt bleibt dabei beispielsweise die Lage des TABS. So macht es nach derzeitigen Berechnungen etwa keinen Unterschied, ob ein TABS an einer oberflächennahen Schicht innen, mittig im Bauteil oder sogar außerhalb der tragenden Konstruktion angebracht wurde. Entsprechend den Wärmedurchlasswiderständen weist ein System jedoch deutlich voneinander abweichende zusätzliche Transmissionswärmeverluste auf, häufig niedriger als jene nach der derzeitigen Methode. Außerdem unberücksichtigt bleibt, welcher Anteil der Fläche tatsächlich mit einem TABS ausgestattet wurde und welchen Verlegeabstand die Rohre zueinander haben. Auch dies hat einen großen Einfluss auf die Verluste des Abgabesystems. So werden derzeit beispielsweise

zur Berechnung der Transmissionswärmeverluste die Gebäudehüllflächen anhand der Außenabmessungen eines Gebäudes ermittelt. Die anschließend stattfindende Korrektur mittels Korrekturfaktor erfolgt somit fälschlicherweise auf Basis der Bruttoflächen.

In der Norm ÖNORM B 8110-6 zur Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs wird die interne thermische Trägheit einer konditionierten Zone mittels der Gebäudezeitkonstante berücksichtigt. Diese berechnet sich aus der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, dem Transmissionsleitwert und dem Lüftungsleitwert. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes wiederum berechnet sich aus dem konditionierten Bruttovolumen des Gebäudes und einem Defaultwert entsprechend der Bauweise. Unterschieden wird hierbei zwischen einer leichten, mittelschweren und schweren Bauweise. Die zusätzliche wirksame thermische Masse aufgrund von TABS bleibt hier zur Gänze unberücksichtigt und hat in den derzeitigen Normen und Berechnungen, welche dem Energieausweis zugrunde liegen, keinen Einfluss auf die Energiekennzahlen.

Die Verwendung computergestützter Simulationswerkzeuge bietet die Möglichkeit, individuelle Systeme wie etwa TABS realitätsnäher abzubilden. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse von den quasistationären Verfahren gemäß OIB beziehungsweise entsprechender Normung von jenen einer Simulation. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs bei veränderter thermischer Speicherfähigkeit von Gebäuden gemäß ÖNORM B 8110-6 beispielsweise wich nach einer Untersuchung von Holzer, Paddyhag und Kreč (2018) um bis zu 20 % von der Simulation ab. Friembichler et al. (2014) kommen zu dem Schluss, dass Gebäude mit TABS wegen ihres trägen Verhaltens nicht zufriedenstellend mit rein bilanzierenden Berechnungsverfahren, wie es derzeit bei der Berechnung von Energieausweisen der Fall ist, abgebildet werden können. Um möglichst detailgetreue Modelle von solchen Systemen erstellen zu können ist jedoch die Kenntnis einer Vielzahl von Parametern notwendig, welche eine detaillierte Berechnung der diversen Energieflüsse erst möglich machen. Darüber hinaus ist die Erstellung von Simulationen zumeist mit höherem Zeitaufwand gegenüber vereinfachten und quasistationären Verfahren wie etwa in den Normen vorgegeben verbunden,

wodurch solche Simulationswerkzeuge selten in der Berechnung von Energiekennzahlen zum Einsatz kommen. Derzeit verweist überdies die OIB-Richtlinie 6 und zugehörige Dokumente auf die Anwendung der Normen, wodurch die Nachweisführung mittels Simulationen nicht vorgesehen ist.

2. Grundlagenermittlung und Potenzialanalyse

2.1. Normen und Richtlinien

Auf Ebene der europäischen Union bilden die Richtlinie 2010/31/EU (Europäische Union, 2010) sowie die Richtlinie (EU) 2018/844 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU und der Richtlinie 2012/27/EU (Europäische Union, 2018) die Grundlage bezüglich der Erstellung von Energieausweisen für Gebäude oder Gebäudeteile. Darin enthalten sind grundlegende Anforderungen an die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie die Darstellung derselben in den geforderten Energieausweisen. In Österreich findet diese Richtlinie Umsetzung in der OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a) sowie zugehörigen Dokumenten (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2018a, 2018b, 2019b, 2019c, 2019d) als auch dem Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012, BGBl. I Nr. 27/2012. Im OIB-Dokument betreffend der zitierten Normen und sonstigen technischen Regelwerke in den einzelnen OIB-Richtlinien (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019e) findet sich eine Darstellung der relevanten nationalen Normen hinsichtlich der OIB-Richtlinie 6 und dem zugehörigen OIB-Leitfaden RL 6:

Tabelle 1: Zitierte Normen und sonstige technische Regelwerke in der OIB-Richtlinie 6 und dem OIB-Leitfaden RL 6

ÖNORM B 9972	Anwendung des Differenzdruckverfahrens zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren – Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 9972	2016-03-15
ÖNORM B 1800	Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken und zugehörigen Außenanlagen	2013-08-01

ÖNORM B 8110-5	Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile	2019-03-15
ÖNORM B 8110-6-1	Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf	2019-01-15
ÖNORM EN ISO 52016-1	Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie der Heiz- und Kühllast in einem Gebäude oder einer Gebäudezone – Teil 1: Berechnungsverfahren (ISO 52016-1:2017)	2018-02-01
ÖNORM H 5050-1	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Berechnung des Gesamtenergieeffizienzfaktors	2019-01-15
ÖNORM H 5056-1	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf	2019-01-15
ÖNORM H 5057-1	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Raumlufttechnikenergiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude	2019-01-15
ÖNORM H 5058-1	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Kühltechnikenergiebedarf	2019-01-15
ÖNORM H 5059-1	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Beleuchtungsenergiebedarf (Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 15193) – Schnellverfahren für die Berechnung	2019-01-15

Diese Normen sind Teil des Normenpaktes zur Ermittlung von Energiekennzahlen für den Energieausweis von Gebäuden und weisen dabei einen Bezug zu anderen Normen aus dem Mandat M/480 (Europäische Kommission, 2010) auf. Das Mandat M/480 beinhaltet den Auftrag der europäischen Kommission zur Erarbeitung und Annahme von Normen gemäß EPBD 2010/31/EU. Im Anhang jeder dieser obig angeführten Normen findet sich eine ausführliche Darstellung der relativen Position des jeweiligen Dokuments innerhalb des Normenpakets beziehungsweise des Bezuges zu den Normen aus dem Mandat M/480. In Abbildung 1 findet sich eine schematische Darstellung der relevanten Normen zur Ermittlung der Energiekennzahlen für den Energieausweis wie in Tabelle 1 dargestellt, deren Bezüge untereinander sowie normative Verweise auf weitere ausgewählte Normen, die zur Anwendung der jeweiligen Norm erforderlich sind. Jede Bezugslinie stellt einen normativen Verweis innerhalb der jeweiligen Norm

dar. Diese Abbildung beinhaltet lediglich einen Teil aller erforderlichen und anzuwendenden Normen und erhebt somit keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

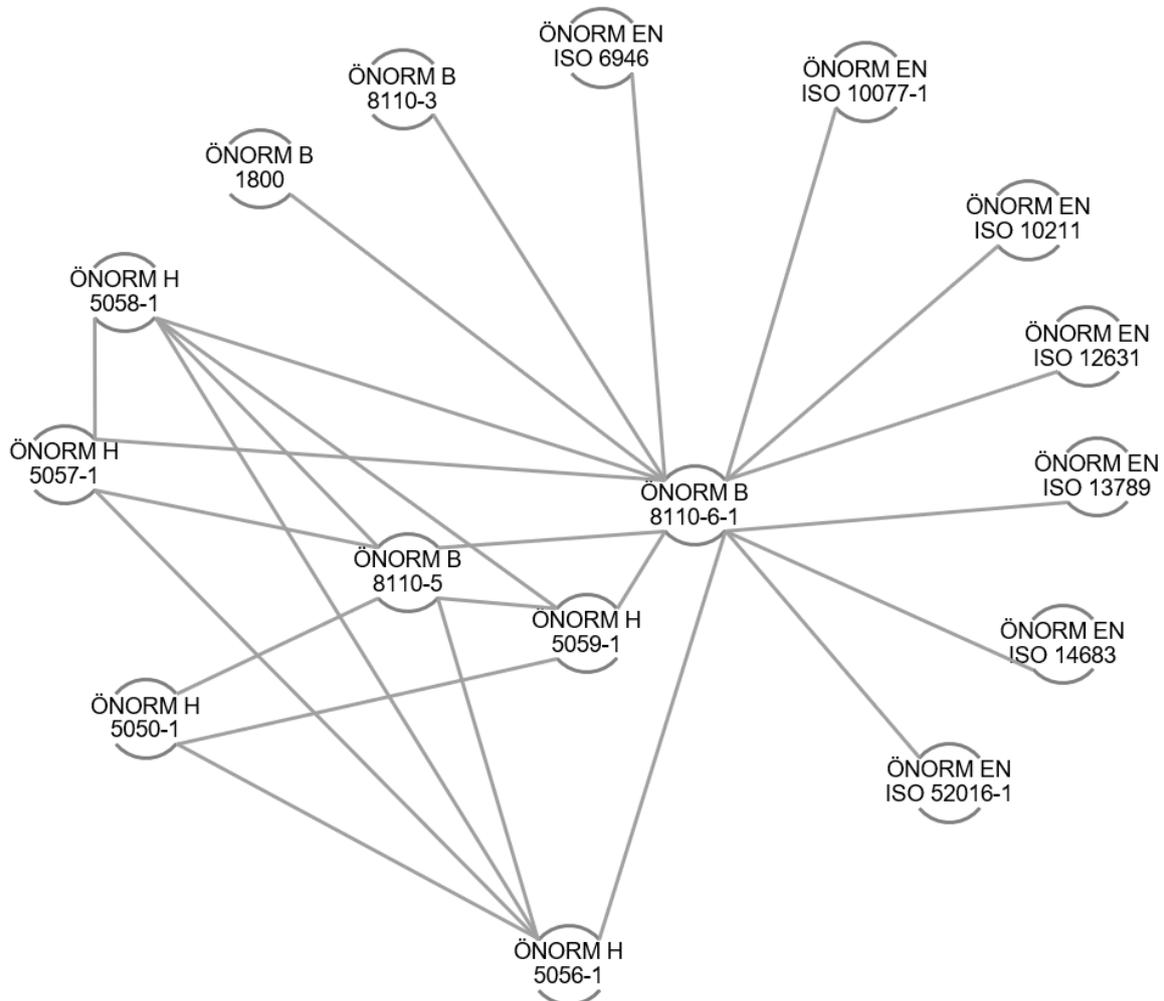


Abbildung 1: Darstellung der relevanten Normen zur Ermittlung der Energiekennzahlen für den Energieausweis und deren Bezüge untereinander sowie ausgewählte normative Verweise

Die anzuwendenden Normen und deren Inhalte unterliegen einem ständigen Wandlungs- und Überarbeitungsprozess und stellen damit lediglich eine Momentaufnahme dar.

Im OIB-Dokument zur Kostenoptimalität (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2018a) werden die Kenngrößen „Heizwärmebedarf“, „Endenergiebedarf“ und „Gesamtenergieeffizienz-Faktor“ als wesentlich für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz

identifiziert. Im Folgenden findet sich ein Auszug von in diesem Zusammenhang relevanten Begriffsbestimmungen einzelner Energiekennzahlen:

Heizwärmebedarf (HWB): Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten.

Heizenergiebedarf (HEB): Energiebedarf zur Deckung des HWB und Warmwasserwärmebedarf (WWWB) unter Berücksichtigung der Anlagenverluste des gebäudetechnischen Systems. In diesem Wert sind die Hilfsenergie für allfällige Pumpen und eine mechanische Raumluftechnik für jenen Zeitraum enthalten, in dem die Wärmerückgewinnung zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfs beiträgt.

Endenergiebedarf (EEB): Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf bzw. den jeweils allfälligen Betriebsstrombedarf, Kühlenergiebedarf und Beleuchtungsenergiebedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

Gesamtenergieeffizienz-Faktor (f_{GEE}): Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

Im Leitfaden zur OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019d) findet sich eine Auflistung der für die Berechnungsmethode heranzuziehenden ÖNORMEN:

Tabelle 2: Berechnungsmethoden der Energiekennzahlen und heranzuziehende ÖNORMEN

	Methodik der Ermittlung	Nummer der ÖNORM
Basisdaten	Klimamodell und Nutzungsprofile	ÖNORM B 8110-5
Nutzenergiebedarf	Heizwärme- und Kühlbedarf (HWB, KB)	ÖNORM B 8110-6-1
	Raumlufttechnik-Energiebedarf (RLTEB)	ÖNORM H 5057-1
Endenergiebedarf	Gesamtenergieeffizienz-Faktor und auf Referenzausstattungen basierende Endenergieanforderungen sowie Primärenergiebedarf und Kohlendioxidemissionen	ÖNORM H 5050-1
	Heizenergiebedarf (HEB) und Befeuchtungs-Energiebedarf (BefEB)	ÖNORM H 5056 -1
	Kühlenergiebedarf (KEB)	ÖNORM H 5058-1
	Beleuchtungs-Energiebedarf (BelEB)	ÖNORM H 5059-1

In gegenständlichem Projekt erfolgte eine Untersuchung der Abbildung von TABS im Energieausweis für Wohngebäude. In diesem Zusammenhang als relevant erwiesen sich die grundlegenden Normen ÖNORM B 8110-5 und ÖNORM B 8110-6-1 zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs sowie die ÖNORM H 5056 -1 zur Ermittlung des Heizenergiebedarfs.

Während derzeit in Österreich prinzipiell die Energieeffizienz von Gebäuden mittels nationaler Normung abgebildet und berechnet wird, verfolgt die europäische Kommission mittels des zuvor erwähnten Mandates M/480 die Entwicklung und Nutzung europäischer Normen, um die Energieeffizienzbewertung in den Mitgliedstaaten zugänglicher, transparenter und objektiver zu machen und einen Vergleich der besten Vorgehensweisen zu erleichtern (Europäische Kommission, 2010). Das daraus entstandene Normenpaket hat eine internationale Harmonisierung der Verfahrensweise für die Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden zum Ziel und wird als „EPB-Normenpaket“

bezeichnet (ISO 52000-1). In der Überarbeitung der EPBD (Europäische Union, 2018) werden insbesondere die aus diesem Mandat entstandenen übergreifenden Normen ISO 52000-1, ISO 52003-1, ISO 52010-1, ISO 52016-1 und ISO 52018-1 angeführt. Die Mitgliedstaaten werden dabei dazu verpflichtet, die nationalen Berechnungsmethoden entsprechend der nationalen Anhänge der ebengenannten Normen zu beschreiben. Die ISO 52016-1, welche ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie der Heiz- und Kühllast in einem Gebäude oder einer Gebäudezone beinhaltet, als auch die übergeordnete Norm EN ISO 52000-1 verweisen bei der Berechnung von Wärmeübergabesystemen auf die EN 15316-2.

Ob und wann eine gänzliche Harmonisierung der Normung und Ersatz der nationalen Berechnungsmethoden durch europäische Ausgaben erfolgen wird, kann nach derzeitigem Stand nicht beurteilt werden. Aus diesem Grund erfolgte in diesem Projekt grundsätzlich ein Fokus auf die derzeit gültige nationale Normung.

2.2. Einflussfaktoren in der Normung

Im vorliegenden Kapitel findet sich eine detaillierte Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Energiekennzahlen im Zusammenhang mit einem TABS in der nationalen Normung sowie überdies auch ein überblicksmäßiger Exkurs zur Abbildung von TABS in der internationalen Normung.

2.2.1. Einflussfaktoren in der ÖNORM B 8110-6-1

In der inzwischen nicht mehr gültigen Vorgängerversion der ÖNORM B 8110-6 in der Ausgabe vom 15.11.2014 fanden TABS (in gegenständlicher Norm als Flächenheizung bezeichnet) mittels einem **Korrekturfaktor** Eingang, wodurch der Heizwärmebedarf direkt vom Wärmeabgabesystem beeinflusst wurde. Diese Norm wurde am 15.01.2019 zurückgezogen, der Korrekturfaktor findet fortan Berücksichtigung im Heizenergiebedarf (ÖNORM H 5056 -1). Mit Einführung dieser Änderung besteht fortan kein direkter Zusammenhang mehr zwischen dem Wärmeabgabesystem der TABS

und dem Heizwärmebedarf. Eine indirekt von TABS abhängige Kenngröße mit Einfluss auf den Heizwärmebedarf in der ÖNORM B 8110-6-1 stellt jedoch die wirksame **Wärmespeicherfähigkeit** des Gebäudes C dar. Diese fließt über die Gebäudezeitkonstante τ (Gleichung (1)) und in weiterer Folge den numerischen Parameter für den Ausnutzungsgrad a in den Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne im Heizfall h_h ein und beeinflusst damit den Heizwärmebedarf.

$$\tau = \frac{C}{(L_T + L_v)} \quad (1)$$

Dabei ist:

τ	Gebäudezeitkonstante, in h
C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, in Wh/K
L_T	Transmissionsleitwert, in W/K
L_v	Lüftungsleitwert, in W/K

Die Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C eines Gebäudes kann entweder entsprechend einem vereinfachten Ansatz mittels Defaultwerten für leichte, mittelschwere und schwere Bauweisen in Abhängigkeit von den gewählten Materialien und Aufbauten erfolgen (Gleichung (2)), oder aber über die detaillierte Berechnung unter Einbeziehung der Übergangswiderstände und Umrechnung von Speichermassen in Speicherkapazitäten (ÖNORM B 8110-3).

$$C = f_{BW} * V \quad (2)$$

Es bedeutet:

C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, in Wh/K
$f_{BW} = 10,0$	Defaultwert für leichte Bauweisen, in Wh/(m ³ K)
$f_{BW} = 20,0$	Defaultwert für mittelschwere Bauweisen, in Wh/(m ³ K)
$f_{BW} = 30,0$	Defaultwert für schwere Bauweisen, in Wh/(m ³ K)
V	konditioniertes Bruttovolumen, in m ³

2.2.2. Einflussfaktoren in der ÖNORM H 5056 -1

Eine direkt von dem Wärmeabgabesystem abhängige Kenngröße stellt der **Heizkörperexponent** h_{HK} dar. Dieser hat über die mittlere Vorlauftemperatur des Heizkreises $\theta_{VL,m}$ (Gleichung (3)) und mittlere Rücklauftemperatur des Heizkreises $\theta_{RL,m}$ (Gleichung (4)), die mittlere monatliche Heizkreistemperatur $\theta_{H,m}$ (Gleichung (5)), die monatliche Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Heizkreistemperatur und der Temperatur in beheizten Räumen $\Delta\theta_{H,m,beh}$ (Gleichung (6)) Einfluss auf die monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für die Raumheizung in beheizten Räumen $q_{H,ro,beh}^*$ (Gleichung (7)). Diese wiederum fließen in die zurückgewinnbaren monatlichen Verluste der Raumheizung in beheizten Räumen $Q_{H,beh}$ und dadurch in den monatlichen Heizenergiebedarf Q_{HEB} ein. Der Heizkörperexponent h_{HK} wird derzeit mittels einem Fixwert unterscheidend zwischen Gebläsekonvektoren, kleinflächiger Wärmeabgabe und Flächenheizung ($h_{HK} = 1,1$ für Flächenheizungen) berücksichtigt und stellt eine Maßzahl für die Veränderung der Wärmeabgabe in Abhängigkeit der Übertemperatur dar.

$$\theta_{VL,m} = \varphi_{HT}^{1/n_{HK}} \cdot (\theta_{VL,ne} - \theta_{VL,min}) + \theta_{i,h} \quad (3)$$

$$\theta_{RL,m} = \varphi_{HT}^{1/n_{HK}} \cdot (\theta_{RL,ne} - \theta_{RL,min}) + \theta_{i,h} \quad (4)$$

$$\theta_{H,m} = 0,5 \cdot (\theta_{VL,m} + \theta_{RL,m}) \quad (5)$$

Es bedeutet:

$\theta_{VL,m}$	mittlere monatliche Vorlauftemperatur des Heizkreises, in °C
$\theta_{RL,m}$	mittlere monatliche Rücklauftemperatur des Heizkreises, in °C
φ_{HT}	mittlere monatliche Heizkreisbelastung während der Heizperiode
n_{HK}	Heizkörperexponent
$\theta_{VL,ne}$	Vorlauftemperatur bei Normaußentemperatur, in °C
$\theta_{RL,ne}$	Rücklauftemperatur bei Normaußentemperatur, in °C

$\theta_{VL,min}$	minimale Vorlauftemperatur des Heizkreises, entspricht der mittleren In- nentemperatur, in °C
$\theta_{RL,min}$	minimale Rücklauftemperatur, in °C (entspricht $\theta_{i,h}$)
$\theta_{i,h}$	Solltemperatur des beheizten Raumes, in °C
$\theta_{H,m}$	mittlere monatliche Heizkreistemperatur, in °C

Die monatliche Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Heizkreistemperatur und der Temperatur in beheizten Räumen wird gemäß Gleichung (6) ermittelt:

$$\Delta\theta_{H,m,beh} = \theta_{H,m} - \theta_{i,h} \quad (6)$$

Dabei ist:

$\Delta\theta_{H,m,beh}$	monatliche Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Heizkreistempe- ratur und der Temperatur in beheizten Räumen, in K
$\theta_{i,h}$	Solltemperatur des beheizten Raumes, in °C
$\theta_{H,m}$	mittlere monatliche Heizkreistemperatur, in °C

Die monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für die Raumheizung in beheizten Räumen berechnet sich nach Gleichung (7).

$$\begin{aligned} q_{H,ro,beh}^* &= \Delta\theta_{H,m,beh} \cdot \ell_{H,Ro,Verteill,beh} \cdot q_{Ro,Verteill} \cdot f_{ero,Verteill} + \\ &+ \Delta\theta_{H,m,beh} \cdot \ell_{H,Ro,Steigl,beh} \cdot q_{Ro,Steigl} \cdot f_{ero,Steigl} + \\ &+ \Delta\theta_{H,m,beh} \cdot \ell_{H,Ro,Anbindel} \cdot q_{Ro,Anbindel} \cdot f_{ero,Anbindel} \end{aligned} \quad (7)$$

Es bedeutet:

$q_{H,ro,beh}^*$	monatliche Wärmeabgabe der Rohrleitungen für die Raumheizung in be- heizten Räumen, in W
$\Delta\theta_{H,m,beh}$	monatliche Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Heizkreistempe- ratur und der Temperatur in beheizten Räumen, in K
$\ell_{H,Ro,Verteill,beh}$	Länge der Verteilleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen, in m

$q_{Ro,Verteill}$	längenbezogene, spezifische Wärmeabgabe der Verteilleitung, in $W/(m \cdot K)$
$\ell_{H,Ro, Steigl,beh}$	Länge der Teilleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen, in m
$\ell_{H,Ro,Anbindel}$	Länge der Anbindeleitungen der Raumheizung in beheizten Räumen, in m
$f_{ero,Verteill}$	Faktor für äquivalente Verteilleitungslängen (bzw. allfälliger Zirkulationsleitungslängen) für Einbauten wie z. B. Armaturen und Pumpen
$q_{ro,Steigl}$	längenbezogene, spezifische Wärmeabgabe der Steigleitung, in $W/(m \cdot K)$
$q_{Ro,Anbindel}$	längenbezogene, spezifische Wärmeabgabe der Anbindeleitung, in $W/(m \cdot K)$
$f_{ero, Anbinde/}$	Faktor für äquivalente Anbindeleitungslängen
$f_{ero,Steigl}$	Faktor für äquivalente Steig- und Anbindeleitungslängen (bzw. allfällige Zirkulationsleitungslängen) für Einbauten wie z. B. Armaturen und Pumpen

Die zuvor erwähnte wirksame **Wärmespeicherfähigkeit** eines Gebäudes C beziehungsweise sich daraus ergebende Gebäudezeitkonstante τ hat in diesem Zusammenhang ebenfalls Einfluss auf den Heizenergiebedarf. Die Gebäudezeitkonstante fließt in die Berechnung der Heizgrenztemperatur θ_{ed} ein (Gleichung (8)), welche wiederum über die Heizkreisbelastung φ_{HT} auf die mittlere Vorlauftemperatur $\theta_{VL,m}$ und die mittlere Rücklauftemperatur $\theta_{RL,m}$ des Heizkreises Auswirkung hat. Der weitere Bezug kann obiger Darstellung des Zusammenhangs zwischen dem Heizkörperexponenten h_{HK} und dem monatlichen Heizenergiebedarf Q_{HEB} entnommen werden.

$$\theta_{ed} = \theta_{i,h} - \frac{(16 + \tau) \cdot (Q_g + Q_{TW,beh})}{(32 + \tau) \cdot L \cdot 24 \cdot d} \quad (8)$$

Es bedeutet:

θ_{ed}	Heizgrenztemperatur, in $^{\circ}C$
$\theta_{i,h}$	Solltemperatur des beheizten Raumes, in $^{\circ}C$
τ	Zeitkonstante

Q_g	monatliche Wärmegewinne, in kWh/M
$Q_{TW,beh}$	zurückgewinnbare monatliche Wärmeverluste für Warmwasser in beheizten Räumen, in kWh/M
L	Leitwert des Gebäudes ($L = L_T + L_V$), in W/K
d	Tage im jeweiligen Monat, in d/M

Die mittlere monatliche Heizkreisbelastung ist gemäß Gleichung (9) zu ermitteln:

$$\varphi_{HT} = \frac{\theta_{ed} - \theta_e}{\theta_{ed} - \theta_{ne}} \geq 0 \quad (9)$$

Es bedeutet:

φ_{HT}	mittlere monatliche Heizkreisbelastung während der Heizperiode
θ_{ed}	Heizgrenztemperatur, in °C
θ_e	mittlere Außentemperatur im jeweiligen Monat, in °C
θ_{ne}	Normaußentemperatur, in °C

Bei konstanter Betriebsweise erfolgt eine Ermittlung der mittleren monatlichen Heizkreistemperatur $\theta_{H,m}$ ohne Berücksichtigung des Heizkörperexponenten h_{HK} und der Gebäudezeitkonstante τ , wodurch folglich kein Einfluss mehr durch die TABS gegeben ist.

Eine weitere, direkt vom Wärmeabgabesystem abhängige Kenngröße mit Einfluss auf den Heizenergiebedarf stellen die **Verluste der Wärmeabgabe an den Raum** $Q_{H,WA}$ dar (Gleichung (10)). Diese hängen von den spezifischen Wärmeverlusten des Wärmeabgabesystems $q_{H,WA}$ ab, welche sich aus dem spezifischen Wärmeverlust im Bereich Regelfähigkeit des Wärmeabgabesystems $q_{H,WA,1}$, dem spezifischen Wärmeverlust im Bereich Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems $q_{H,WA,2}$ und dem spezifischen Wärmeverlust im Bereich Heizkostenabrechnung des Wärmeabgabesystems $q_{H,WA,3}$ zusammensetzen.

$$Q_{H,WA} = \frac{1}{1000} \cdot q_{H,WA} \cdot d_{Heiz} \cdot t_{h,d} \cdot BF \quad (10)$$

Es bedeutet:

$Q_{H,WA}$	monatliche Verluste des Wärmeabgabesystems für Raumheizung, in kWh/M
$q_{H,WA}$	spezifische Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems, in W/m^2
d_{Heiz}	Anzahl der monatlichen Heiztage, in d/M
$t_{h,d}$	tägliche Betriebsdauer der Raumheizung, in h/d
BF	konditionierte Bezugsfläche des Gebäudes/Gebäudeteiles, in m^2

Die spezifischen Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems setzen sich folgendermaßen zusammen:

$$q_{H,WA} = q_{H,WA,1} + q_{H,WA,2} + q_{H,WA,3} \quad (11)$$

Es bedeutet:

$q_{H,WA}$	spezifische Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems, in W/m^2
$q_{H,WA,1}$	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Regelfähigkeit des Wärmeabgabesystems, in W/m^2
$q_{H,WA,2}$	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems, in W/m^2
$q_{H,WA,3}$	spezifischer Wärmeverlust im Bereich Heizkostenabrechnung des Wärmeabgabesystems, in W/m^2

Für $q_{H,WA,1}$ werden in der Norm Fixwerte aufgrund der Regelfähigkeit der Raumheizung in Abhängigkeit von der Art der Regelung angegeben. Diese Fixwerte sind unabhängig vom Wärmeabgabesystem. Für $q_{H,WA,2}$ finden sich ebenfalls Fixwerte aufgrund der Anpassungsfähigkeit der Raumheizung wahlweise für Gebläsekonvektoren / Fan-Coils, kleinflächige Wärmeabgabesysteme oder Flächenheizungen in der Norm ($q_{H,WA,2} = 0,5 W/m^2$ für Flächenheizungen). Für $q_{H,WA,3}$ hängt der ebenfalls in der

Norm vorgegebene Fixwert von der Art der Wärmeverbrauchsermittlung und Heizkostenabrechnung (individuell oder pauschal) ab.

Eine wesentliche Einflussgröße stellt der nunmehr im Heizenergiebedarf berücksichtigte **Korrekturfaktor Flächenheizung** dar. Befindet sich das TABS beziehungsweise Flächenheizung in einem Bauteil der thermischen Gebäudehülle, so treten zusätzliche Transmissionswärmeverluste auf. Diese zusätzlichen Verluste sind über den monatlichen Temperaturkorrekturfaktor für Flächenheizungen f_{FH} einzurechnen. Der Temperaturkorrekturfaktor berechnet sich dabei wie folgt:

$$f_{FH} = \frac{\theta_{FH} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (12)$$

Es bedeutet:

f_{FH}	monatlicher Temperaturkorrekturfaktor für Flächenheizungen
θ_{FH}	mittlere Temperatur der Flächenheizung (Heizmedium) des jeweiligen Monats, in °C
θ_i	mittlere Innentemperatur, in °C
θ_e	mittlere Außentemperatur des jeweiligen Monats, in °C

Die durchschnittliche Systemtemperatur θ_{FH} der Flächenheizung im jeweiligen Monat ist gemäß folgender Gleichung zu ermitteln:

$$\theta_{FH} = \theta_i + \frac{0,5 \cdot (\theta_{VL,Ne} + \theta_{RL,Ne}) - \theta_i}{\theta_i - \theta_{Ne}} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (13)$$

Es bedeutet:

θ_{FH}	durchschnittliche Systemtemperatur der Flächenheizung des jeweiligen Monats, in °C
$\theta_{VL,Ne}$	Vorlauftemperatur bei Normaußentemperatur, in °C

$\theta_{RL,Ne}$	Rücklauf­temperatur bei Normaußentemperatur, in °C
θ_i	mittlere Innentemperatur, in °C
θ_{Ne}	Normaußentemperatur, in °C
θ_e	mittlere Außentemperatur des jeweiligen Monats, in °C

Wird nun die Gleichung für θ_{FH} in f_{FH} eingesetzt, so ergibt sich folgende Form der Gleichung:

$$f_{FH} = \frac{\theta_i + \frac{0,5 \cdot (\theta_{VL,Ne} + \theta_{RL,Ne}) - \theta_i}{\theta_i - \theta_{Ne}} \cdot (\theta_i - \theta_e) - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (14)$$

Durch umformen dieser Gleichung kann θ_e eliminiert werden, wodurch der Korrekturfaktor nur mehr von θ_i , $\theta_{VL,Ne}$, $\theta_{RL,Ne}$ und θ_{Ne} abhängig ist:

$$f_{FH} = 1 + \frac{0,5 \cdot (\theta_{VL,Ne} + \theta_{RL,Ne}) - \theta_i}{\theta_i - \theta_{Ne}} \quad (15)$$

In der ÖNORM 5056-1 finden sich dabei Fixwerte für die Systemtemperaturen der Raumheizung $\theta_{VL,Ne}$ und $\theta_{RL,Ne}$. Für Flächenheizungen betragen diese 60/35, 40/30, 35/28 und 30/25. Die mittlere Innentemperatur θ_i kann der ÖNORM B 8110-6-1 beziehungsweise der ÖNORM B 8110-5 entnommen werden und beträgt im Heizfall 22°C. Die Normaußentemperatur θ_{Ne} ist ebenfalls in der ÖNORM B 8110-5 geregelt und hängt im Wesentlichen von dem gewählten Standort und der Seehöhe ab. Die Normaußentemperatur stellt dabei das tiefste Zweitagesmittel der Lufttemperatur, das an einer Messstelle 10-mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wird, dar. In Abbildung 2 findet sich eine Darstellung des Korrekturfaktors für Flächenheizungen in Abhängigkeit von der Normaußentemperatur für die in der Norm gegebenen Fixwerte der Systemtemperaturen der Raumheizung.

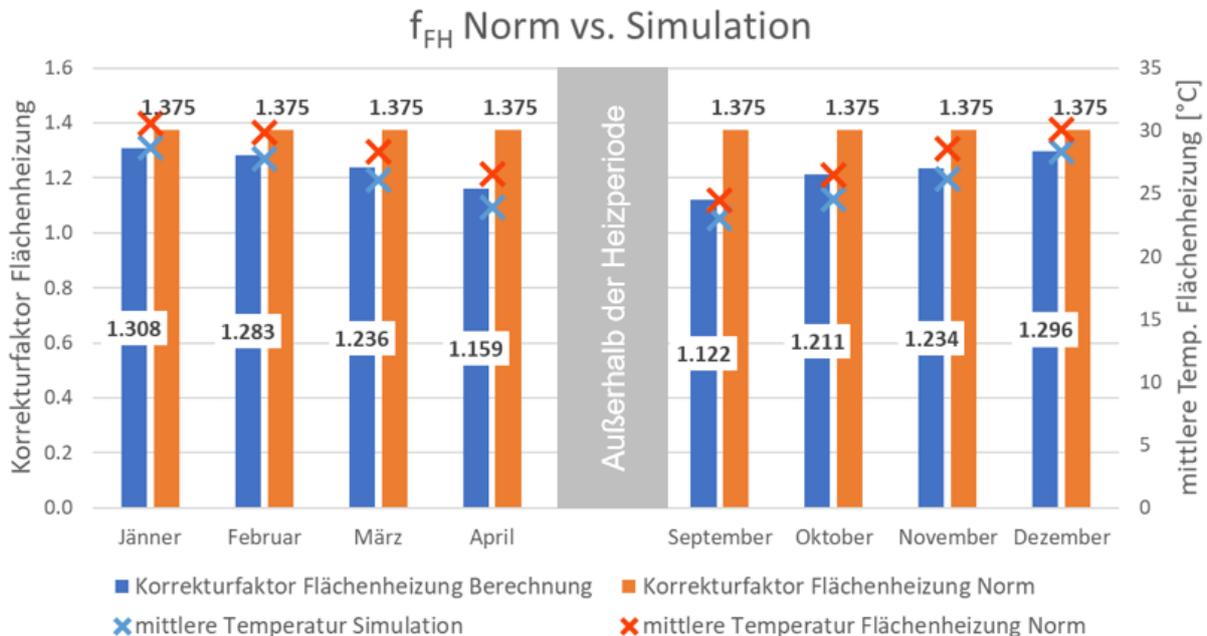


Abbildung 2: Korrekturfaktor Flächenheizung in Abhängigkeit von der Normaußentemperatur

Demnach zeigt sich, dass dieser Korrekturfaktor, welcher die zusätzlichen Transmissionswärmeverluste einer in der thermischen Gebäudehülle positionierten Flächenheizung abbilden soll, lediglich von den Systemtemperaturen, der Innentemperatur und der Normaußentemperatur abhängig ist. Weitere Einflussfaktoren wie etwa die Lage der aktivierten Schicht im Bauteil, Materialeigenschaften, Außentemperaturen und Rohrabstände bleiben demnach zur Gänze unberücksichtigt. In der OIB-Richtlinie 6 findet sich dazu lediglich die Vorgabe, dass der Wärmedurchlasswiderstand R der Bauteilschichten zwischen der Heizfläche und der Außenluft mindestens $4,0 \text{ m}^2/\text{KW}$ sowie zwischen der Heizfläche und dem Erdreich oder dem unbeheizten Gebäudeteil mindestens $3,5 \text{ m}^2/\text{KW}$ betragen muss. Davon ausgenommen sind Fälle, in welchen statische Erfordernisse diesen Anforderungen entgegenstehen.

Kommt als Wärmeerzeugungssystem eine Wärmepumpe zum Einsatz, so gibt es eine zusätzliche Einflussgröße mit Abhängigkeit vom Wärmeabgabesystem in Form des **Teillastfaktors** der Wärmepumpe im Temperaturintervall $f_{pl,in}$.

Dieser Faktor fließt in die Berechnung der Leistungszahl der Wärmepumpe innerhalb des betrachteten Temperaturintervalls bei Teillast $COP_{pl,in}$ ein, welcher wiederum den monatlichen Nettowärmeertrag der Wärmepumpe $Q_{Umw,WP,H}$ und den Nettowärmeertrag zur Warmwasserbereitung $Q_{Umw,TW,WP}$ aus Umweltwärme beeinflusst. Diese beiden Faktoren wiederum beeinflussen den monatlichen Heizenergiebedarf Q_{HEB} und die bereitzustellende monatliche Heizenergie für Raumheizung Q_H^* . Da diese Einflussgröße eine grundsätzlich vom Wärmeerzeugungssystem abhängige Größe darstellt, bleibt diese in den weiteren Untersuchungen unberücksichtigt.

Abbildung 2 zeigt weiters, dass der Korrekturfaktor Flächenheizung, gerechnet mit der Formel aus der Norm, bisher für jedes Monat gleich angenommen wurde.

2.2.3. Einflussfaktoren in der EN 15316-2

Dem in dieser Norm beschriebenen Verfahren zur Berechnung zusätzlicher Wärme- und Kälteverluste liegt das Konzept der Verwendung einer äquivalenten Innenraumtemperatur zugrunde (EN 15316-2). Die Innenraumtemperatur wird dabei von diversen Faktoren wie beispielsweise in die Gebäudehülle integrierte Heizkörper, Regelung, intermittierender Betrieb, Raumautomationssystem und andere beeinflusst.

Die äquivalente Innentemperatur für den Heizfall berechnet sich dabei wie folgt:

$$\theta_{H,int;inc} = \theta_{H,int;ini} + \Delta\theta_{int;inc} \quad (16)$$

Dabei ist:

$\theta_{H,int;inc}$ äquivalente Innentemperatur, in °C

$\theta_{H,int;ini}$ die anfängliche Innenraum-Heiztemperatur, in °C

$\Delta\theta_{int;inc}$ durch alle Verluste verursachte Temperaturschwankung, in K

Die **durch alle Verluste verursachte Temperaturschwankung** $\Delta\theta_{\text{int;inc}}$ lässt sich nach folgender Gleichung ermitteln:

$$\Delta\theta_{\text{int;inc}} = \Delta\theta_{\text{str}} + \Delta\theta_{\text{ctr}} + \Delta\theta_{\text{emb}} + \Delta\theta_{\text{rad}} + \Delta\theta_{\text{im}} + \Delta\theta_{\text{hydr}} + \Delta\theta_{\text{roomaut}} \quad (17)$$

Dabei ist:

- $\Delta\theta_{\text{str}}$ die durch Schichtung verursachte räumliche Temperaturschwankung, in K
- $\Delta\theta_{\text{ctr}}$ die Regelabweichung, in K; (Die Regelabweichung $\Delta\theta_{\text{ctr}}$ wird in $\Delta\theta_{\text{ctr},1}$ und $\Delta\theta_{\text{ctr},2}$ aufgeteilt. $\Delta\theta_{\text{ctr},1}$ sollte für die Normberechnungen verwendet werden, wenn keine Informationen verfügbar sind. $\Delta\theta_{\text{ctr},2}$ sollte für die Berechnung mit zertifizierten Produkten verwendet werden. Alternativ können produktspezifische Werte verwendet werden, sofern diese durch eine Zertifizierung nachgewiesen sind.)
- $\Delta\theta_{\text{emb}}$ die durch zusätzliche Wärme-/Kälteverluste von eingebetteten Heizkörpern oder von ungerichteten (flachen) Heizstrahlern wie im oberen Bereich des Raums installierten Flächenheizungen verursachte Temperaturschwankung, in K
- $\Delta\theta_{\text{rad}}$ die durch die von Art des Wärmeübergabesystems abhängige Strahlung verursachte Temperaturschwankung, in K
- $\Delta\theta_{\text{im}}$ die durch intermittierenden Betrieb verursachte und von der Art des Wärmeübergabesystems abhängige Temperaturschwankung, in K, $\Delta\theta_{\text{im}} = \Delta\theta_{\text{im,emt}} + \Delta\theta_{\text{im,ctr}}$
- $\Delta\theta_{\text{hydr}}$ die durch nicht abgeglichenen hydraulischen Systeme verursachte Temperaturschwankung, in K
- $\Delta\theta_{\text{roomaut}}$ die auf dem eigenständigen oder in ein Netzwerk integrierten Betrieb der Raumautomation des Systems verursachte Temperaturschwankung, in K

Die zusätzlichen Wärme-/Kälteverluste des Wärmeübergabesystems berechnen sich anschließend wie folgt:

$$Q_{\text{em,ls}} = Q_{\text{em,out}} \times \left(\frac{\Delta\theta_{\text{int;inc}}}{\theta_{\text{int;inc}} - \theta_{\text{e,comb}}} \right) \quad (18)$$

Dabei ist:

$Q_{em,ls}$	der Verlust der Wärmeübergabe zur Raumheizung/-kühlung, in kWh
$Q_{em,out}$	Wärmeabgabe des Wärmeübergabesystems zur Raumheizung oder -kühlung in kWh
$\Delta\theta_{int;inc}$	durch alle Verluste verursachte Temperaturschwankung, in K
$\theta_{int;inc}$	äquivalente Innentemperatur
Im Heizfall entspricht $\theta_{e,comb} = \theta_{e,avg}$	
$\theta_{e,avg}$	Außentemperatur während des Berechnungsintervalls

Im Anhang der EN 15316-2 finden sich diverse Standardwerte für die einzelnen Temperaturschwankungen, welche für die obig dargestellte Berechnung der durch alle Verluste verursachte Temperaturschwankung erforderlich sind.

2.3. Sensitivitätsanalyse

In gegenständlichem Kapitel erfolgt eine Sensitivitätsanalyse der in den vorigen Kapiteln eruierten Einflussgrößen auf die nationale Normung. Gegenstand der Untersuchungen sind dabei die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C , der spezifische Wärmeverlust im Bereich Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems $q_{H,WA,2}$, die Leitungslänge der Anbindeleitungen $\ell_{H,Anbindel}$, der Heizkörperexponent h_{HK} , die elektrische Nennleistung der Umwälzpumpe $P_{H,WV,p}$ für die Heizwasserverteilung sowie der Korrekturfaktor Flächenheizung f_{FH} . Die Sensitivitätsanalyse dient einer ersten Abschätzung des Potentials der einzelnen Einflussgrößen sowie der Identifikation der wichtigsten Stellgrößen von TABS in der derzeitigen Berechnung des Energieausweises. Die Sensitivitätsanalyse basiert auf einem beispielhaften Modellgebäude in Anlehnung an die Berechnungen und Vorgaben in den OIB-Dokumenten zur Kostenoptimalität (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2014, 2018a). Die Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen für die Sensitivitätsanalyse finden sich in Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5.

Tabelle 3: Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen, Grundlagen

Grundlagen	
Gebäudetyp	Einfamilienhaus mit 1-2 Wohneinheiten
Standort	8970, Schladming
Seehöhe	749 m
Normaußentemperatur	-13,40 °C
Klimaregion	Alpine Zentrallage (ZA)
Soll-Innentemperatur	22 °C
Geometrie	
Länge	14,29 m
Breite	12,00 m
Grundriss	Rechteckig
Fläche	171,5 m ²
Geschosse	1
Geschosshöhe	3,00 m
Brutto-Rauminhalt	514,4 m ³
Dachgeometrie	Decke zu unkonditioniertem, geschlossenem Dachraum
Mittlere U-Werte	
Decke (zu unkonditioniertem, geschlossenem Dachraum)	0,20 W/m ² K
Außenwand	0,23 W/m ² K
Fenster	1,16 W/m ² K
Boden (zu unkonditioniertem, gedämmten Keller)	0,36 W/m ² K
Fensterflächen	
Fensterflächenanteil	16,10 %
Fensterflächen Südorientiert	25 %
Fensterflächen Ostorientiert	25 %
Fensterflächen Westorientiert	25 %
Fensterflächen Nordorientiert	25 %
g-Wert	0,5

Tabelle 4: Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen, Bauphysik

Bauphysik	
Bauweise	mittelschwer
Wärmerückgewinnung	Keine Wärmerückgewinnung
Infiltrationsrate n_{50}	0,60 1/h
Hygienisch erforderlicher Luftwechsel	0,28 1/h
Transmissionsleitwert	133,97 W/K
Innere Gewinne	2,69 W/m ²
Wärmebrücken	Pauschalzuschlag

Tabelle 5: Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen, Gebäudetechnik

Gebäudetechnik	
WW- und RH-Wärmebereitstellung	kombiniert
Warmwasser	
Lage Verteilleitungen	Nicht konditioniert
Lage Steigleitungen	Konditioniert
Dämmung Verteilleitungen	3/3 gedämmt
Dämmung Steigleitungen	3/3 gedämmt
Dämmung Armaturen (Verteilleitungen)	Gedämmt
Dämmung Armaturen (Steigleitungen)	Gedämmt
Zirkulation	Ohne Zirkulation
Rohrmaterial	Kunststoff
Warmwasserwärmebereitstellungssystem	Fernwärme (sekundär)
Aufstellungsort	Nicht konditioniert
Betriebsweise	Nicht modulierend
Warmwasser-Wärmespeicherung	Kein Warmwasserspeicher
Raumheizung	
Art der Regelung	Raumthermostat-Zonenregelung mit Zeitsteuerung
Art des Wärmeabgabesystems	Flächenheizung
Art der Wärmeverbrauchsfeststellung	Individuelle Wärmeverbrauchsermittlung und Heizkostenabrechnung
Systemtemperaturen	40/30
Lage Verteilleitungen	Nicht konditioniert

Lage Steigleitungen	Konditioniert
Dämmung Verteilleitungen	3/3 gedämmt
Dämmung Steigleitungen	3/3 gedämmt
Dämmung Anbindeleitungen	1/3 gedämmt
Dämmung Armaturen (Verteilleitungen)	Gedämmt
Dämmung Armaturen (Steigleitungen)	Gedämmt
Dämmung Armaturen (Anbindeleitungen)	Gedämmt
Raumheizungwärmebereitstellungssystem	Fernwärme (sekundär)
Aufstellungsort	Nicht konditioniert
Betriebsweise	Nicht modulierend
Betriebsweise	Gleitende Betriebsweise
Art des Wärmespeichers	Kein Speicher

Ausgehend von einer Basisvariante wurde jeweils einer der obig angeführten Parameter variiert. Für jeden Parameter wurden drei Varianten berechnet (siehe Tabelle 6). Die Wahl der Variationen zielte auf eine möglichst große Bandbreite der Möglichkeiten ab und diente einer Vorabschätzung des Einflusses der einzelnen Parameter. Die Basisvariante entspricht, sofern gegeben, den Normvorgaben und ist jeweils textlich hervorgehoben. Die von der Basisvariante abweichenden Kennwerte entsprechen dabei zum Teil nicht den Vorgaben für Flächenheizungen aus der Norm. So entsprechen beispielsweise die Variationen von $q_{H,WA,2}$, h_{HK} und $P_{H,WV,p}$ zum Teil den Normvorgaben für Gebläsekonvektoren. In Abbildung 3 findet sich eine Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bezüglich des Heizenergiebedarfs.

Tabelle 6: Parametervariationen für die Sensitivitätsanalyse, hervorgehobene Kennwerte entsprechen der Referenzvariante

Parameter	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Bauweise	Leicht	Mittelschwer	Schwer
Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems, $q_{H,WA,2}$	0,5 W/m²	0,25 W/m ²	0,125 W/m ²
Leitungslänge der Anbindeleitungen $l_{H,Anbindel}$	80 m	48 m	20 m

Heizkörperexponent h_{HK}	1,4	1,1	0,8
Elektrische Nennleistung der Umwälzpumpe $P_{H,WV,p}$	106,75 W	54,43 W	0 W
Korrekturfaktor Flächenheizung f_{FH}	1,72	1,37	1

Abbildung 3 macht deutlich, dass der Korrekturfaktor Flächenheizung, beziehungsweise die Wahl der Systemtemperaturen derzeit den größten Einfluss auf den Heizenergiebedarf und in weiterer Folge auch auf den Endenergiebedarf hat. Ausgehend von einem Korrekturfaktor von 1 (entspricht einer Flächenheizung, welche nicht in der thermischen Gebäudehülle integriert ist) wird bei einer in der Außenwand integrierten Flächenheizung und Systemtemperaturen von 60/35 °C ein um bis zu 19 % höherer Heizenergiebedarf erzielt, wie folgende Abbildung zeigt.

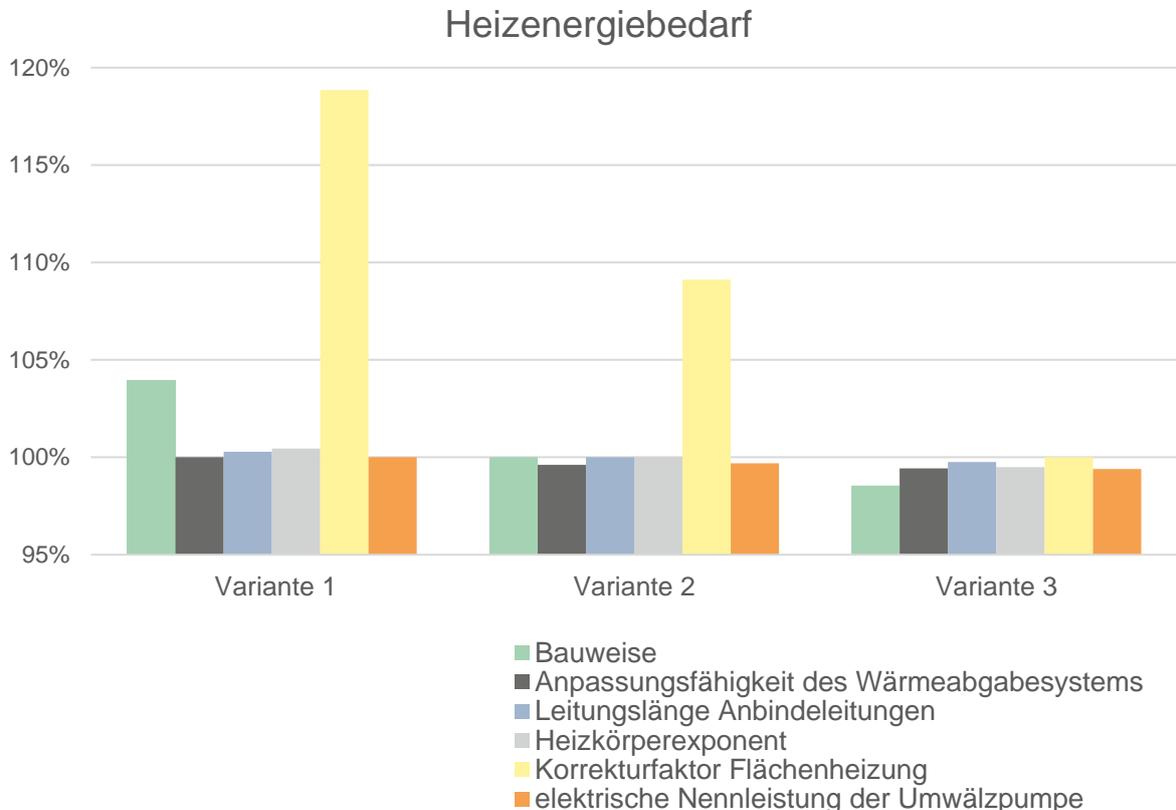


Abbildung 3: Sensitivitätsanalyse, Heizenergiebedarf

Ebenso einen merkbaren Einfluss erzielt die Wahl der Bauweise, welche, im Fall einer leichten Bauweise eine Erhöhung des Heizenergiebedarfs ausgehend von der Basisvariante um etwa 4 % und im Fall einer schweren Bauweise eine Verringerung um etwas mehr als 1 % bewirkt. Bei den übrigen Parametern liegt die Schwankungsbreite bei maximal ± 1 %, ausgehend von der Basisvariante.

2.4. Auswahl der zu variierenden Parameter

Das physikalische Modell für eine Gebäudesimulation umfasst eine Vielzahl an Parametern mit einer gegenseitigen Wechselwirkung, womit sich eine sehr große Anzahl an zu berechnenden Simulationen für die Parametervariation ergibt. Für eine Parametervariation mit n Parameter und m Stützpunkten müssen $(n \cdot m)^2$ Simulationen durchgeführt werden, was bereits für 20 Parametern und jeweils 5 Stützpunkten 62.500 durchzuführende Simulationen ergibt.

Im Rahmen des Projekts müssen die zu variierenden Parameter daher eingeschränkt werden. Dazu wurde zunächst eine Sammlung aller Parameter, bei denen eine Wechselwirkung mit TABS vorliegt oder vermutet wird gesammelt. Hier wurden auch die in Kapitel 2.3 beschriebenen Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse aufgenommen. Anschließend erfolgte auf Grundlage einer Diskussion mit Experten die Priorisierung und Auswahl der im Rahmen des Projekts zu variierenden Parameter. Das Ergebnis ist in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Priorisierung und Auswahl zu variierende Parameter

Parameter zur Variation:	Priorisierung (1-10)	Auswahl	Begründung	Anzahl Stützpunkte
Gebäudeart	10	x	Auswahl Standard Referenzgebäude	3
Lage der Aktivierung im Bauteil	10	x	Verschiedene Systeme möglich, Transmissionswärmeverluste	3
Rohrabstand	6-7		Auswahl Standard	1

Parameter zur Variation:	Priorisierung (1-10)	Auswahl	Begründung	Anzahl Stützpunkte
Rohrdurchmesser	2		Auswahl Standard	1
Lage des Bauteils (Wand / Decke / Innenbauteil, Außenbauteil...)	10		Verschiedene Systeme möglich, Transmissionswärmeverluste (z.B. Unterschied Zwischendecke/Außenwand)	1 (wird über Materialität / Bauteilaufbau abgebildet)
Materialität (Bauteilaufbau)	8	x	Definition von mehreren Aufbauten / Standards (Decke gegen Außenluft, Zwischendecke, Außenwand, Innenwand)	3x4 (Ziegel, Beton, Holz > je nach Variationen ein Vielfaches von 3x4)
Wärmeerzeuger (WP, Fernwärme, Gas...)	7 - 8	x	Definition von Standardwärmeerzeugungssystemen (WPL, WPS, Fernwärme, Gas, Öl, Pellets) keine Änderung der Errechnungsparameter der Erzeuger im EA angedacht	6
Raumweise Regelung	5			
Regelung: Oberflächentemperatur / Operative Temperatur / Raumlufttemperatur	4-5	x	Verwendung der Raumlufttemperatur als Regelgröße, die Basis bildet die operative Temperatur	2
Bauweise (Leicht / Mittel / Schwer)	7	x	Auswahl eines Standards (begleitende Bauteile ergeben sich aus den Aufbauten)	3
Interne Lasten (Betrag und Variabilität)	7		Sehr individueller Einfluss (unabhängig von TABS)	1
Luftwechsel / Lüftung (Lüftungsanlage, bedarfsgerecht, Fensterlüftung)	7		Auswahl Standard	1
Raumtemperaturen (Nachtabsenkung...)	3		Auswahl Standard	1
Zonierung	7		Zu komplex für EA	1
Anteil aktivierte Fläche	8		Nicht relevant für Berechnungen, aber relevant für Eingabe	1
Massenstrom	8		Auswahl Standard (Regelung über Temperatur)	1
Leitungsverluste	6	x	Berechnung aus Temperaturen basierend auf Simulation	3
Klima	6		Auswahl Standard	1
Verlegeart (Mäander...)	5 - 6		Auswahl Standard	1
Fenster (Fläche, Orientierung, ...)	7	x	Auswahl Standard (Basis ZEUS, Unterscheidung Sanierung und Neubau)	2

Parameter zur Variation:	Priorisierung (1-10)	Auswahl	Begründung	Anzahl Stützpunkte
U-Wert Fassade / Dach / Boden	7	x	Auswahl Standard (Basis ZEUS, Unterscheidung Sanierung und Neubau)	2

3. Gebäude- und Bauteilsimulation

Für den Vergleich von Ergebnissen zwischen Simulation und Energieausweis mussten zunächst Modellgebäude definiert werden. Im Folgenden sind die fixierten und die zu variierenden Gebäudeparameter, sowie die Gegenüberstellung dieser dargestellt.

3.1. Modellgebäudebildung Simulation

In gegenständlichem Forschungsprojekt erfolgte eine Eingrenzung der untersuchten Gebäude auf Wohngebäude (WG) der Kategorien mit einer oder zwei Nutzungseinheiten (Einfamilienhäuser - EFH), drei bis neun Nutzungseinheiten (Mehrfamilienhäuser - MFH) und zehn oder mehr Nutzungseinheiten (Geschosswohnbauten - GWB). Nicht-Wohngebäude (NWG) oder sonstige Arten Energie verbrauchender Gebäude (SKG) sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Diese Kategorisierung entstammt der OIB-Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019a) und dem zugehörigen Dokument zur Kostenoptimalität (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2018a).

Im Folgenden sind die unterschiedlichen Gebäudemodelle zu sehen, welche auf der OIB-Richtlinie 6, Kostenoptimalität basieren.

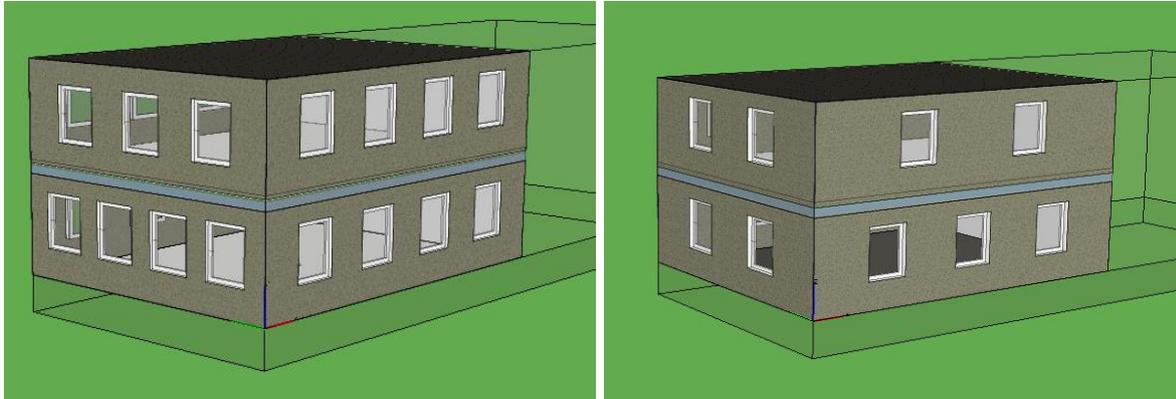


Abbildung 4: Modellgebäude EFH Neubau (links) und EFH Sanierung (rechts) in Ida Ice

- Abmessungen: 8 m x 10,72 m
- Geschoße: 2
- Gekuppelte Bauweise

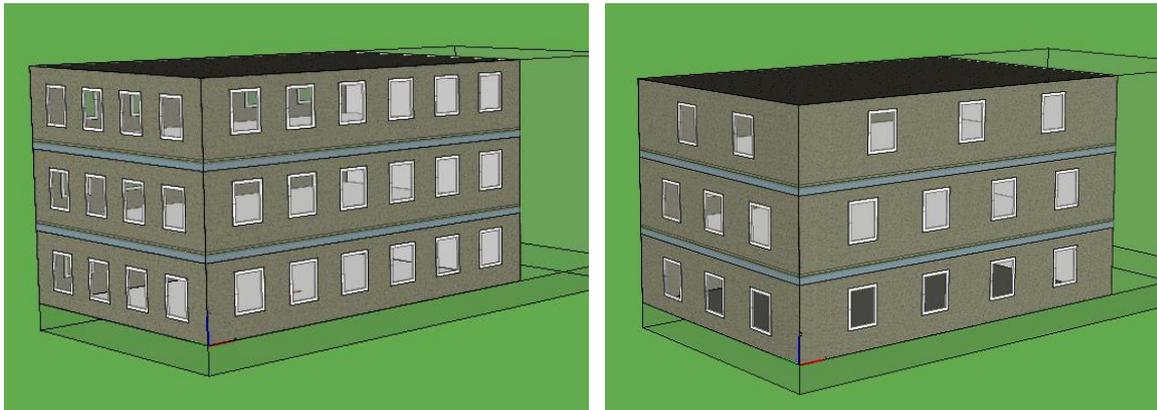


Abbildung 5: Modellgebäude MFH Neubau (links) und MFH Sanierung (rechts) in Ida Ice

- Abmessungen: 10 m x 14,84 m
- Geschoße: 3
- Gekuppelte Bauweise
-

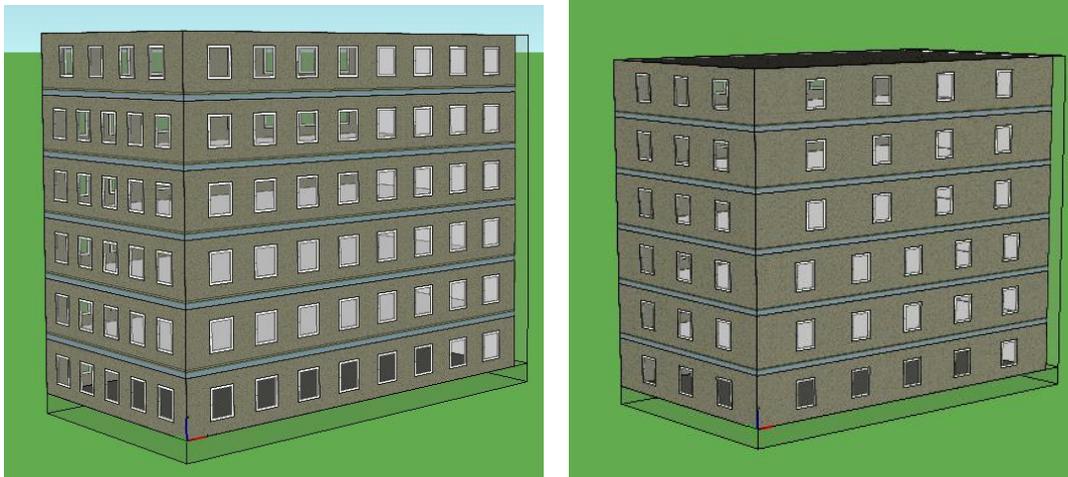


Abbildung 6: Modellgebäude GWB Neubau (links) und GWB Sanierung (rechts) in Ida Ice

- Abmessungen: 12 m x 20,42 m
- Geschoße: 6
- Gekuppelte Bauweise

3.1.1. Grundlagen

Den einzelnen Modellgebäuden wurde der ASHRAE IWE C 2 Klimadatensatz von Salzburg Flughafen zugrundegelegt. Die ASHRAE IWE C (International Weather for Energy Calculation) 2 Datenbank beinhaltet 3012 weltweite Klimadatensätze unterschiedlicher Orte. Die Daten beruhen dabei auf meteorologischen Messaufzeichnungen von Wetterstationen und beinhalten etwa Angaben zu Windgeschwindigkeit und Richtung, Bedeckung des Himmels beziehungsweise Bewölkung, Lufttemperatur, Luftdruck, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit und diffuser Strahlung sowie Direktstrahlung.

Die Infiltrationsrate wurde für einen Neubau mit $n_{50} = 0,6 \frac{1}{h}$ und eine Sanierung mit $3 \frac{1}{h}$ festgelegt. Das Basismodell wurde ohne Lüftungsanlage und Fensterlüftung modelliert. Für Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten wurde ein konstanter Luftwechsel von $0,28 \text{ h}^{-1}$ angesetzt, für Wohngebäude mit 3 oder mehr Nutzungseinheiten $0,38 \text{ h}^{-1}$. Dies entspricht dem hygienisch erforderlichen Luftwechsel gemäß ÖNORM B 8110-5.

Als innere Wärmegewinne wurden für Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten konstant $2,6875 \text{ W/m}^2$ angesetzt, und für Wohngebäude mit drei oder mehr Nutzungseinheiten $4,0625 \text{ W/m}^2$. Dies entspricht den Vorgaben der ÖNORM B 8110-5.

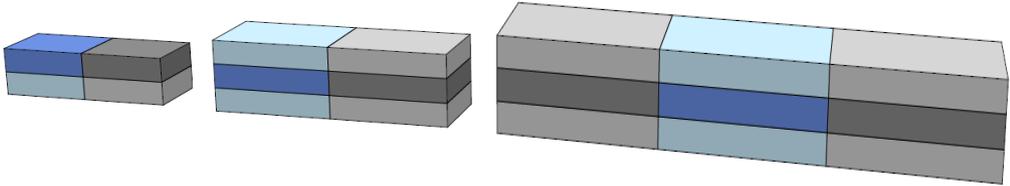
3.1.2. Geometrie

Die Festlegung der Geometrie der Beispielgebäude erfolgte in Anlehnung an das OIB-Dokument zur Kostenoptimalität (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2018a). Die Ermittlung der Gebäudegeometrie beruhte dabei wiederum auf Angaben der Statistik Austria. Für jede Kategorie der Wohngebäude wurden in diesem OIB-Dokument zwei Geometrievarianten abgebildet. Die Untersuchungen in gegenständlichem Projekt wurden jeweils für eine Geometrievariante aus jeder der drei Wohngebäudekategorien Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und Geschosswohnbauten (GWB) durchgeführt. Die gewählten Gebäudeabmessungen sind in Tabelle 8 dargestellt. Abweichend von den Angaben in den OIB-Dokumenten wurden für die folgenden Untersuchungen die Abmessungen als Netto-Gebäudeabmessungen zugrunde gelegt (in den OIB-Dokumenten werden Brutto-Gebäudeabmessungen zugrunde gelegt). Diese Abweichung entsprang praktischen Gründen. Da bei den untersuchten Simulationsmodellen eine Variation der Bauteilaufbauten erfolgte, hätte sich bei gleichbleibenden Brutto-Gebäudeabmessungen die Nettofläche zwischen den einzelnen Varianten verändert. Aus diesem Grund wurden die angeführten Abmessungen als Netto-Gebäudeabmessungen angesetzt. Dasselbe galt auch für die gewählte Raumhöhe. Im OIB-Dokument zur Kostenoptimalität wird als Geschosshöhe 3 m definiert. Da jedoch bei variierender Bauteilstärke und gleichbleibender Geschosshöhe das konditionierte Volumen differieren würde, wurde in gegenständlicher Untersuchung eine lichte Raumhöhe von 2,70 m angesetzt. Dadurch konnte die insgesamt Gebäudehöhe und das Bruttovolumen von Modell zu Modell variieren. In Tabelle 8 findet sich für jede Variante eine schematische Darstellung der Kubatur. Der blau hervorgehobene Gebäudeteil stellt dabei den untersuchten Gebäudeteil dar. An grau dargestellte Gebäudeteile angrenzende Bauteile wurden mit adiabaten Randbedingungen ohne

Wärmeverluste betrachtet. Die längere Seite der Gebäude wurde in den Simulationsmodellen als Nord-Süd orientiert angenommen. Bei diesen einseitig gekuppelten Modellen wurde die gekuppelte Seite als Ost-orientiert angenommen. Auf eine detaillierte Zonierung einzelner Räume wurde im Simulationsmodell verzichtet, jedes Geschoss wurde als eine Zone betrachtet.

Tabelle 8: Netto-Gebäudeabmessungen für Wohngebäude

Geometrie	EFH	MFH	GWB
Breite	8,00 m	10,00 m	12,00 m
Länge	10,72 m	14,84 m	20,42 m
Geschosse	2	3	6
Lichte Raumhöhe	2,70 m	2,70 m	2,70 m



Grundsätzlich wurde bei der Bildung der Modellgebäude der Ansatz verfolgt, das Basismodell so einfach wie möglich und so detailliert wie nötig zu modellieren. Dadurch konnten mögliche unerwünschte Einflussfaktoren auf die Simulationsergebnisse von Beginn an eliminiert werden. Im Zuge der Parametervariationen erfolgte anschließend wo nötig eine sukzessive Detaillierung der Simulationsmodelle.

3.1.3. Fensterflächen

In der OIB-Richtlinie 6 findet sich das Prüfnormmaß von 1,23 m x 1,48 m für Fenster. Dieses Normmaß wurde als Grundlage zur Ermittlung der Fensterflächen herangezogen. Die in den Berechnungen zur Kostenoptimalität angesetzten Fensterflächenanteile zwischen 11-21 % sind erfahrungsgemäß zu gering. In Abbildung 7 findet sich

eine Auswertung der Fensterflächenanteile je Baualtersklasse für Salzburg. Die Datengrundlage waren hierfür die mit Stichtag 21.09.2020 in die ZEUS-Umgebung des Landes Salzburg hochgeladenen letztgültigen Energieausweisdaten. Es zeigte sich, dass der Neubau ab 2011 einen durchschnittlichen Fensterflächenanteil von 24 % erzielte. Der geringste Fensterflächenanteil wurde in der Bauperiode von 1919-1944 mit einem Anteil von 14 % erzielt. Die Parametervariationen wurden für zwei Gebäudehüllvarianten durchgeführt. Variante 1 entspricht dem Neubaustandard, hierfür wurde ein Fensterflächenanteil von 24 % angesetzt. Variante 2 repräsentiert die Sanierung. Hierfür wurde der minimal auftretende Fensterflächenanteil von 14 % angesetzt. Dadurch konnte eine große Bandbreite möglicher Fensterflächenanteile abgedeckt werden.

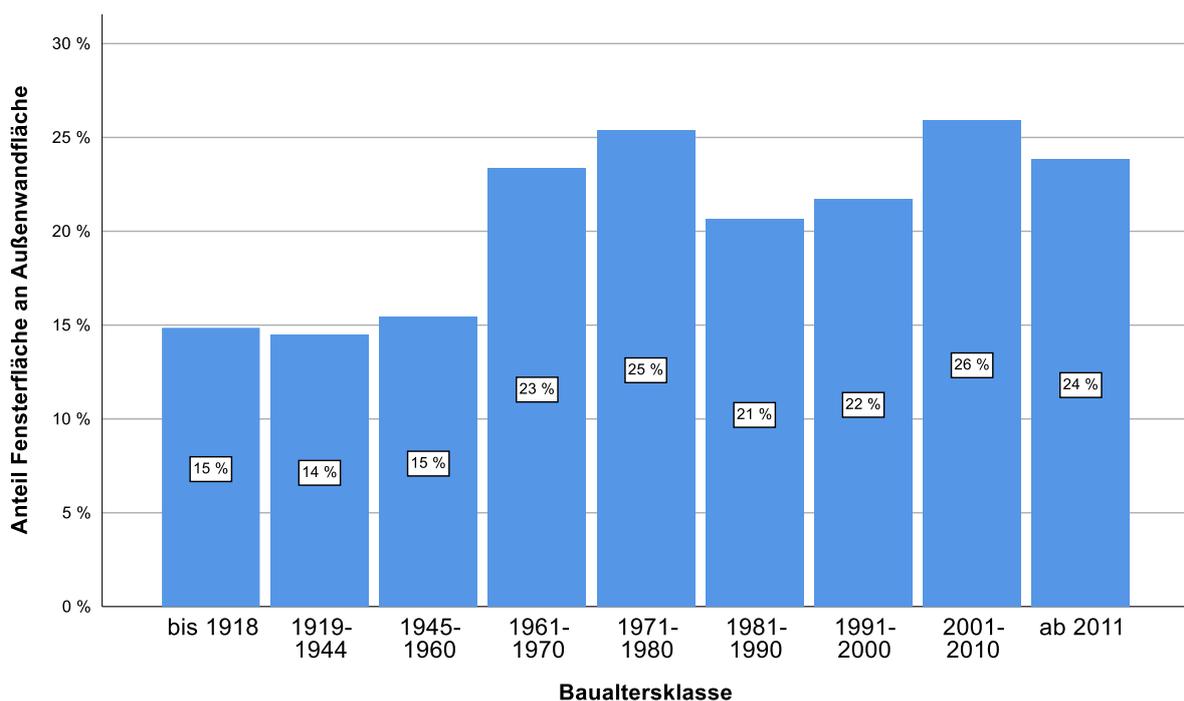


Abbildung 7: Fensterflächenanteil je Baualtersklasse (Gadocha et al, 2021)

Die Ausrichtung der Fensterflächen erfolgte entsprechend dem OIB-Dokument zur Kostenoptimalität gleichverteilt, wie folgende Abbildung zeigt.

		Neubau Fensterflächenanteil 24%						
		Anzahl Fenster			Fensterflächenanteil Ziel 24 %			
		Ausrichtung			Ausrichtung			
		Nord	Süd	West	Nord	Süd	West	Gesamt
Referenzgebäude 1 EFH								
	EG	4	4	4	22,64%	22,64%	30,33%	24,73%
	1OG	4	4	3	22,64%	22,64%	22,75%	22,67%
Referenzgebäude 2 MFH					22,64%	22,64%	26,54%	23,70%
	EG	6	6	4	24,53%	24,53%	24,27%	24,46%
	1OG	6	6	4	24,53%	24,53%	24,27%	24,46%
	2OG	5	6	4	20,44%	24,53%	24,27%	22,93%
Referenzgebäude 3 GWB					23,17%	24,53%	24,27%	23,95%
	EG	8	8	5	23,77%	23,77%	25,28%	24,11%
	1OG	8	8	5	23,77%	23,77%	25,28%	24,11%
	2OG	8	8	5	23,77%	23,77%	25,28%	24,11%
	3OG	8	8	5	23,77%	23,77%	25,28%	24,11%
	4OG	8	8	5	23,77%	23,77%	25,28%	24,11%
	5OG	8	8	4	23,77%	23,77%	20,22%	22,96%
					23,77%	23,77%	24,44%	23,92%

Abbildung 8: Fensterflächenanteil im Simulationsmodell im Neubau

Die Fensterflächen wurden so verteilt, dass jeweils die Gesamtfensterfläche in Prozent dem Zielwert möglichst nahekam und auch die Verteilung der Orientierungen möglichst gleichmäßig war. Da die Fenster ein Fixmaß aufwiesen, variierte dieser Wert leicht je Gebäudevariante. In der folgenden Tabelle ist die Verteilung der Fensterflächen für das Simulationsmodell in der Sanierung ersichtlich.

Sanierung Fensterflächenanteil 14%							
	Anzahl Fenster			Fensterflächenanteil Ziel 14%			
	Ausrichtung			Ausrichtung			
	Nord	Süd	West	Nord	Süd	West	Gesamt
Referenzgebäude 1 EFH							
EG	2	3	2	11,32%	16,98%	15,17%	14,42%
1OG	2	3	2	11,32%	16,98%	15,17%	14,42%
Referenzgebäude 2 MFH				11,32%	16,98%	15,17%	14,42%
EG	3	4	3	12,26%	16,35%	18,20%	15,29%
1OG	3	4	3	12,26%	16,35%	18,20%	15,29%
2OG	3	3	2	12,26%	12,26%	12,13%	12,23%
Referenzgebäude 3 GWB				12,26%	14,99%	16,18%	14,27%
EG	5	5	3	14,85%	14,85%	15,17%	14,93%
1OG	4	5	3	11,88%	14,85%	15,17%	13,78%
2OG	4	5	3	11,88%	14,85%	15,17%	13,78%
3OG	5	4	3	14,85%	11,88%	15,17%	13,78%
4OG	5	4	3	14,85%	11,88%	15,17%	13,78%
5OG	5	4	3	14,85%	11,88%	15,17%	13,78%
				13,86%	13,37%	15,17%	13,97%

Abbildung 9: Fensterflächenanteil im Simulationsmodell in der Sanierung

Mittels des jeweiligen Fensterflächenanteils wurde auf Basis des Prüfnormmaßes für Fenster die tatsächliche Fensterfläche je Modellgebäude je Orientierung ermittelt. Da durch das vorgegebene Maß der Fenster nicht der exakte Fensterflächenanteil von 24 % respektive 14 % erreicht werden konnte, wich dieser je nach Modellgebäude geringfügig davon ab. Weiters wurde dieser Fensterflächenanteil von den Innenabmessungen (Maße lt. OIB RL 6 Kostenoptimalität) berechnet, da die Außenwandaufbauten zwischen den Varianten stark variieren.

3.1.4. Gebäudetechnik

Bei der Entwicklung des Simulationsmodells lag der Fokus auf den notwendigen gebäudetechnischen Anlagen im Zusammenhang mit dem Wärmeabgabesystem. Im Basismodell erfolgte die Wärmeabgabe mittels eines idealen Heizelements je Geschoss, welcher die Wärme zu 100 % konvektiv an den Raum abgibt. Dieser wurde beim

Basismodell auf eine Raumtemperatur von 22 °C geregelt. Da sich bei Strahlungsheizungen und konvektiven Heizungen bei gleicher Raumlufttemperatur eine stark divergierende operative Temperatur ergab, wurde die sich beim Basismodell ergebende operative Temperaturkurve den Parametervariationen mit TABS als Regelgröße zugrunde gelegt. Dadurch wurde der Energieverbrauch der unterschiedlichen Modelle unter Berücksichtigung von Komfortaspekten vergleichbar. Die Regelung der Wärmeabgabeflächen erfolgte mittels PI-Regler. Beim Basismodell erfolgte die Wärmebereitstellung über einen Fernwärmeanschluss mit vorgegebenem Fixwert für die Effizienz der technischen Anlage von 0,9.

3.1.5. Bauteile

Die Bauteilaufbauten und die daraus resultierenden U-Werte orientierten sich an dem OIB-Dokument zur Kostenoptimalität (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2018a). Darin finden sich Bauteilaufbauten für Wände, Decken und Böden für verschiedene Bauweisen (Holzriegelbauweise, Massivholzbauweise, Stahlbetonbauweise, Ziegelbauweise). Eine Expertenbefragung im OIB-Dokument zur Kostenoptimalität (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2018a) ergab dabei, dass die Stahlbetonbauweisen und Ziegelbauweisen mit jeweils 40 % Anteil die bedeutendsten Bauweisen darstellen. Die Holzmassivbauweise und die Holzriegelbauweise kommen jeweils auf 10 %. Da unterschiedliche Bauteilaufbauten und Materialien im Zuge der Parametervariationen berücksichtigt wurden, unterscheiden sich diese von Modell zu Modell. Um eine Vergleichbarkeit der einzelnen Modellgebäude gewährleisten zu können, blieben die U-Werte bei allen Modellen mit unterschiedlicher Bauweise ident. Dies wurde durch eine Variation der Dämmstoffdicke erzielt. Beim Basismodell wurde jedoch grundsätzlich zwischen Neubau und Sanierung unterschieden. Daraus ergaben sich zwei Varianten hinsichtlich der U-Werte der einzelnen Modelle. In Abbildung 10 findet sich eine Darstellung der mittleren U-Werte der Außendecke/Dach, Fenster, Außenwand und des erdberührten Bodens für sanierte Gebäude, in Abbildung 11 für den Neubau. Die Datengrundlage bildeten dabei die bis zum Stichtag 21.09.2020 in die ZEUS-Umgebung des Landes Salzburg hochgeladenen letztgültigen Energieausweisdaten.

Enthalten waren dabei alle Sanierungen und Neubaufertigstellungen des Landes Salzburg, bei welchen ein Energieausweis erstellt wurde. Diese U-Werte bildeten die Grundlage für die Modellgebäude.

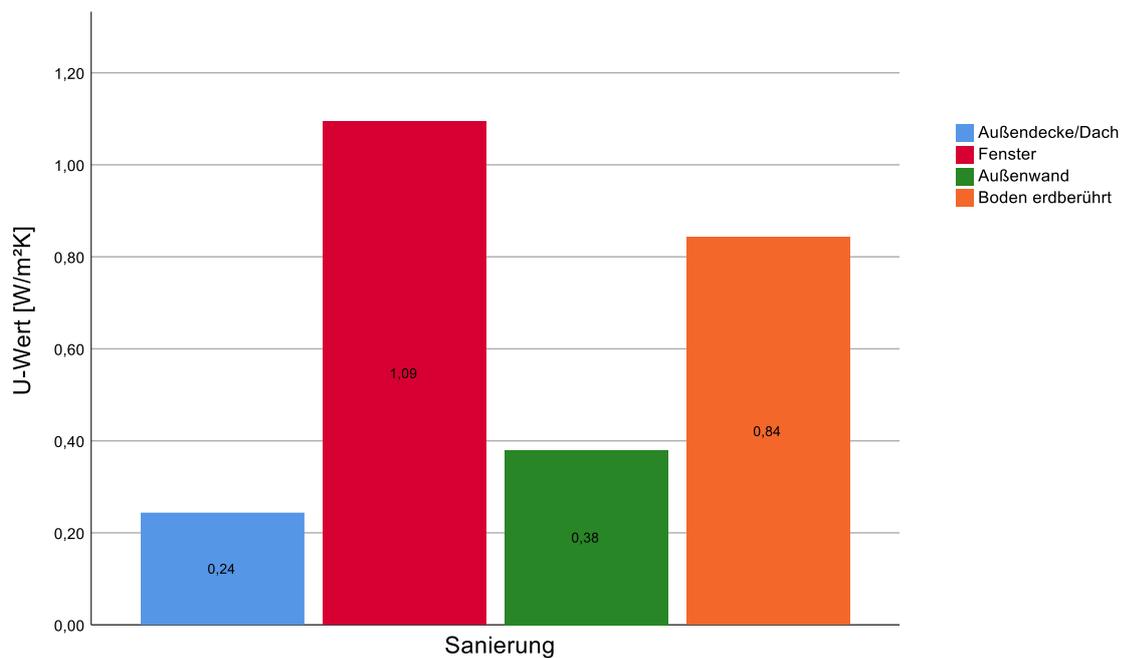


Abbildung 10: Mittlerer U-Wert der Bauteile von sanierten Gebäuden (Gadocha et al, 2021)

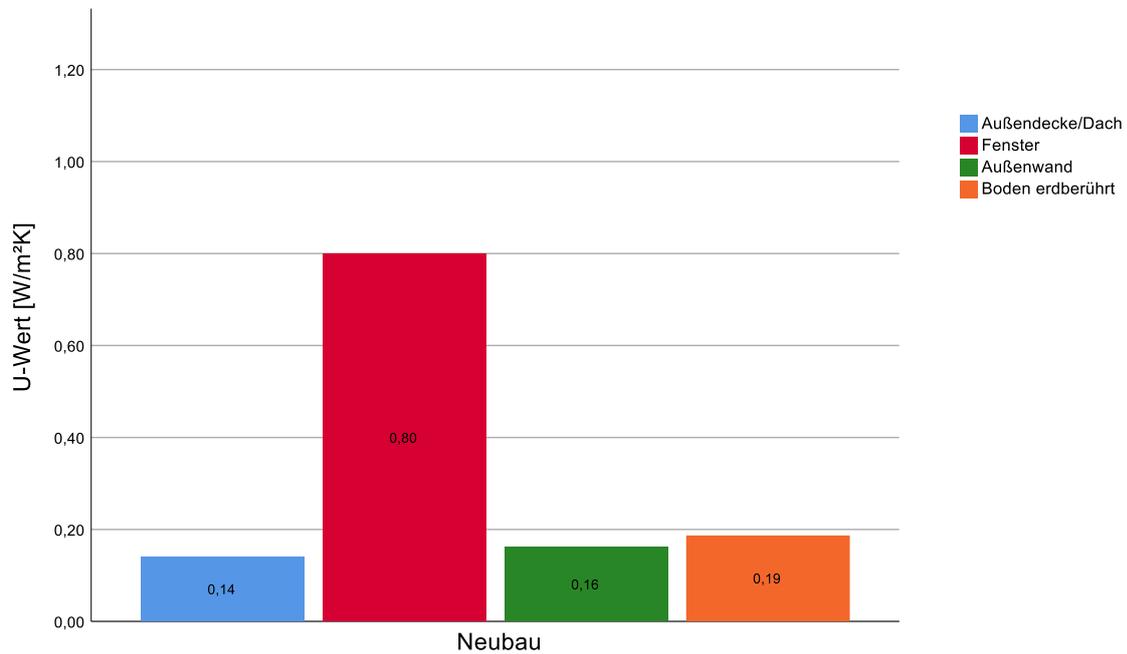


Abbildung 11: Mittlerer U-Wert der Bauteile von Neubaufertigstellungen (Gadocha et al, 2021)

Anhand dieser Werte und den Informationen zu den häufig verwendeten Materialien wurden die Bauteilaufbauten für die Simulationen gewählt. Im Folgenden sind die verwendeten Schichten dargestellt.



Tabelle 9: verwendete Bauteilaufbauten für die Simulationsmodelle

Neubau										
				Innen/Oben nach außen/unten						
Bauteil	Material	U-Wert	Bauteilstärke	Detailaufbau						
		[W/m²K]	[m]							
Bodenplatte	Stahlbeton	0,190	0,497	Parkett	Estrich	TSD (EPS)	Schüttung EPS	Stahlbeton		
Außenwand	Stahlbeton	0,160	0,420	Putz	Stahlbeton	EPS-F	Putz			
	Ziegel	0,160	0,456	Putz	Ziegel	EPS-F	Putz			
	Holz	0,160	0,355		Holz	EPS-F	Putz			
Zwischendecke	Stahlbeton	0,471	0,370	Parkett	Estrich	TSD (EPS)	Schüttung EPS	Stahlbeton		
	Ziegel	0,408	0,370	Parkett	Estrich	TSD (EPS)	Schüttung EPS	Ziegel		
	Holz	0,299	0,320	Parkett	Estrich	TSD (EPS)	Schüttung EPS	Holz		
Dach/Oberste Geschossdecke	Stahlbeton	0,140	0,500	XPS	Stahlbeton	Putz				
	Ziegel	0,140	0,486	XPS	Ziegel	Putz				
	Holz	0,140	0,398	XPS	Holz					
Sanierung										
				Innen/Oben nach außen/unten						
Bauteil	Material	U-Wert	Bauteilstärke	Detailaufbau						
		[W/m²K]	[m]							
Decke zu KG (statt Bodenplatte)	Stahlbeton	0,840	0,359	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Stahlbeton		
Außenwand	Stahlbeton	0,380	0,323	Putz	Stahlbeton	Putz	EPS	Putz		
	Ziegel	0,380	0,359	Putz	Ziegel	Putz	EPS	Putz		
	Holz	0,380	0,258		Holz	Putz	EPS	Putz		



FH Salzburg
Smart Building



Außenwand aktiviert außen	Stahlbeton	0,380	0,322	Putz	Stahlbeton	Putz	Mörtel	EPS		
	Ziegel	0,380	0,358	Putz	Ziegel	Putz	Mörtel	EPS		
	Holz	0,380	0,258		Holz	Putz	Mörtel	EPS		
Außenwand aktiviert innen	Stahlbeton	0,380	0,356	Putz	Mörtel	Putz	Stahlbeton	Putz	Putz	
	Ziegel	0,380	0,392	Putz	Mörtel	Putz	Ziegel	Putz	Putz	
	Holz	0,380	0,292	Putz	Mörtel	Holz	Putz	EPS		
Zwischendecke	Stahlbeton	0,863	0,370	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Stahlbeton		
	Ziegel	0,672	0,370	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Ziegel		
	Holz	0,419	0,320	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Holz		
Zwischendecke aktiviert	Stahlbeton	0,838	0,400	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Stahlbeton	Mörtel	Putz
	Ziegel	0,656	0,400	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Ziegel	Mörtel	Putz
	Holz	0,413	0,350	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Holz	Putz	
	Stahlbeton + Holz	0,635	0,420	Parkett	Estrich	TSD (MW)	Schüttung	Stahlbeton	Holz	
Dach/Oberste Geschossdecke	Stahlbeton	0,240	0,375	XPS	Stahlbeton	Putz				
	Ziegel	0,240	0,361	XPS	Ziegel	Putz				
	Holz	0,240	0,273	XPS	Holz					
Dach/Oberste Geschossdecke aktiviert	Stahlbeton	0,240	0,403	XPS	Stahlbeton	Putz	Mörtel	Putz		
	Ziegel	0,240	0,389	XPS	Ziegel	Putz	Mörtel	Putz		
	Holz	0,240	0,302	XPS	Holz	Mörtel	Putz			
	Stahlbeton + Holz	0,240	0,407	XPS	Stahlbeton	Putz	Holz			

Für die Fenster wurden die in Abbildung 10 und Abbildung 11 genannten U-Werte angenommen: Neubau 0,80 W/m²K und in der Sanierung: 1,09 W/m²K

Für die Modellgebäude wurden für Neubau und Sanierung unterschiedliche Annahmen getroffen.

Bei den Neubauten wurde angenommen, dass durch die Möglichkeit der gesamtheitlichen Planung von Beginn an, TABS in allen Decken umgesetzt wird. Der Boden im EG ist eine erdberührte Bodenplatte mit zusätzlicher Fußbodenheizung. Die Erfahrung einiger Umsetzungsprojekte mit TABS hat gezeigt, dass diese Maßnahme die Behaglichkeit in den Wohnräumen im Erdgeschoß erhöht.

Bei den Sanierungsobjekten wurde angenommen, dass TABS entweder in die Decken oder auch in die Außenwände nachträglich eingebracht wird. Die nachträgliche Einbringung von TABS an der Außenseite der tragenden Schicht der Außenwände erlaubt eine minimalinvasive Sanierung, wie es das Beispielprojekt in Hallein zeigt. (Weitere Informationen unter: <https://www.fh-salzburg.ac.at/forschung/forschungsgruppen/smart-building-und-smart-city/projekte#c8690>). Auch die Einbringung an der Innenseite stellt eine Variante dar. Diese Möglichkeit wurde auch bereits in einem Vorgängerprojekt untersucht (weitere Informationen unter: <https://www.zukunftbau.at/projekt/wohnbau/sanierung-hallein>)

Die Einbautiefe der TABS wurde bei den Sanierungsvarianten nicht variiert, da die nachträgliche Einbringung ohnehin nur mithilfe einer zusätzlichen Mörtelschicht möglich ist, welche dadurch wiederum die Einbautiefe festlegt.

Für die Modellgebäude des Typs Sanierung wurde weiters angenommen, dass der Boden im EG eine Decke zu einem unkonditionierten Keller darstellt. Eine zusätzliche Möglichkeit der Sanierung mit TABS wurde durch ein neu eingebrachtes Holzbauteil mit integrierter TABS berücksichtigt.

Um die Ergebnisse der Gebäudesimulation jenen des Energieausweis gegenüberstellen zu können, wurden die Energiekennwerte der Gebäudemodelle mithilfe eines Berechnungstools zur Energieausweisberechnung dargestellt. Im Energieausweis wird

die Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes nur anhand der Bauweise in die Berechnung aufgenommen. Hier wurden für jeden Gebäudetyp die leichte Bauweise sowie die mittelschwere Bauweise berechnet. Der Korrekturfaktor Flächenheizung wurde nach ÖNORM H5056-1 in den Berechnungen berücksichtigt. Der Korrekturfaktor Flächenheizung wurde mit Systemtemperaturen von 35°/28°C angenommen, da diese Temperaturen am ehesten mit jenen aus den Simulationen vergleichbar waren.

Der Korrekturfaktor wurde für eine Raumtemperatur von 22°C berechnet und ergibt für verschiedene Systemtemperaturen folgende Werte:

60°/35°	1,735
40°/30°	1,375
35°/28°	1,274
30°/25°	1,159

In bekannten Energieausweisprogrammen wird im Vergleich ein geringfügig abweichender Faktor verwendet, da hier eine Raumtemperatur von 20°C voreingestellt ist.

3.1.6. Abbildung und Überprüfung der Wärmeverluste laut H5056-1 in der Simulation

Eine weitere, direkt vom Wärmeabgabesystem abhängige Kenngröße mit Einfluss auf den Heizenergiebedarf stellen die **Verluste der Wärmeabgabe an den Raum** $Q_{H,WA}$ dar, welcher im Kapitel 2.2.2- Einflussfaktoren in der ÖNORM H 5056-1 ausführlich behandelt wird.

Für $q_{H,WA,1}$ werden in der Norm Fixwerte aufgrund der Regelfähigkeit der Raumheizung in Abhängigkeit von der Art der Regelung angegeben. Diese Fixwerte sind unabhängig vom Wärmeabgabesystem. Für $q_{H,WA,2}$ finden sich ebenfalls Fixwerte aufgrund der Anpassungsfähigkeit der Raumheizung wahlweise für Gebläsekonvektoren / Fan-Coils, kleinflächige Wärmeabgabesysteme oder Flächenheizungen in der Norm ($q_{H,WA,2} = 0,5 \text{ W/m}^2$ für Flächenheizungen). Für $q_{H,WA,3}$ hängt der ebenfalls in der

Norm vorgegebene Fixwert von der Art der Wärmeverbrauchsermittlung und Heizkostenabrechnung (individuell oder pauschal) ab.

Für die Modellabbildung wurde ein PI-Regler verwendet. Somit ergeben sich folgende Fixwerte aus der Norm aufgrund der Regelfähigkeit und des Wärmeabgabesystems:

$$q_{H,WA,1} = 0,58 \text{ W/m}^2$$

$$q_{H,WA,2} = 0,125 \text{ W/m}^2 \text{ bei Fancoils}$$

$$q_{H,WA,2} = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ bei Radiatoren}$$

$$q_{H,WA,2} = 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ bei Flächenheizungen}$$

$$q_{H,WA,3} = (\text{im Simulationsmodell nicht relevant})$$

Die spezifischen Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems setzen sich folgendermaßen zusammen:

$$q_{H,WA} = q_{H,WA,1} + q_{H,WA,2} + q_{H,WA,3} \quad (19)$$

$$q_{H,WA} = 0,58 + 0,5$$

$$q_{H,WA} = 1,08 \text{ W/m}^2$$

Somit unterscheiden sich die Fixwerte aus der Norm, wie in Abbildung 12 dargestellt, bei Verwendung eines PI-Reglers in Kombination mit einem Fancoil $0,705 \text{ W/m}^2$, Radiator von $0,83 \text{ W/m}^2$ und Flächenheizsysteme von $1,08 \text{ W/m}^2$.

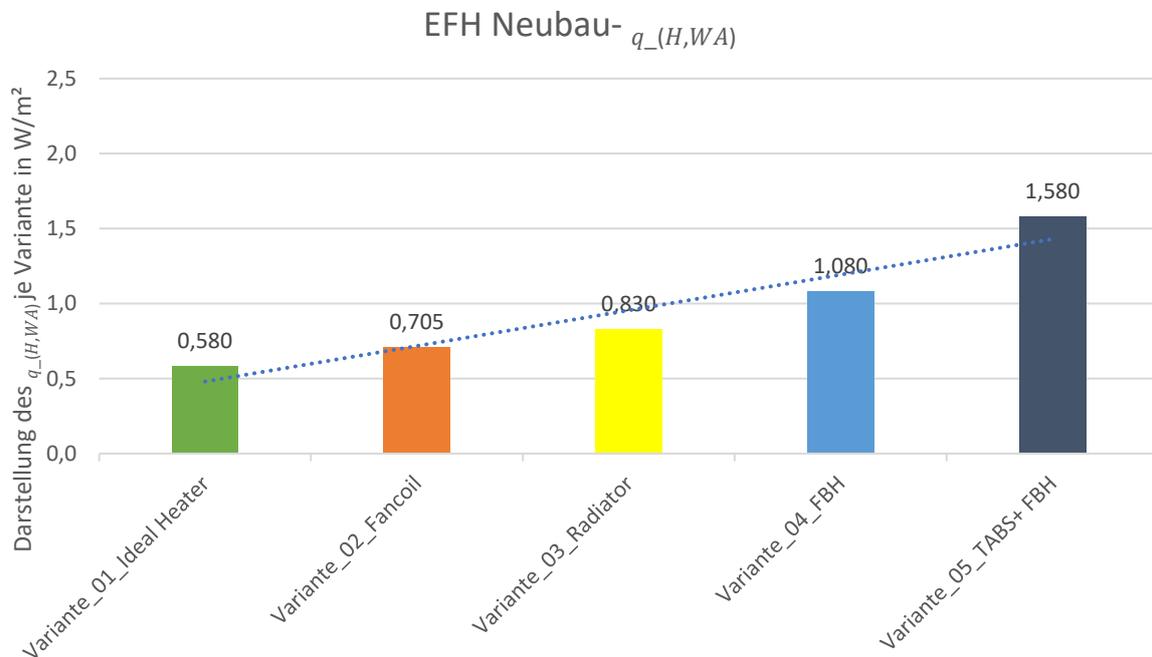


Abbildung 12: Darstellung des $q_{H,WA}$ der unterschiedlichen Wärmeübergabesysteme

Wird eine Gebäudesimulation mit dem Gebäudetyp EFH Neubau und gleichen bautechnischen Voraussetzungen durchgeführt, zeigen sich im HEB_{RH}^* folgende Ergebnisse, wie in der Abbildung 13 ersichtlich.

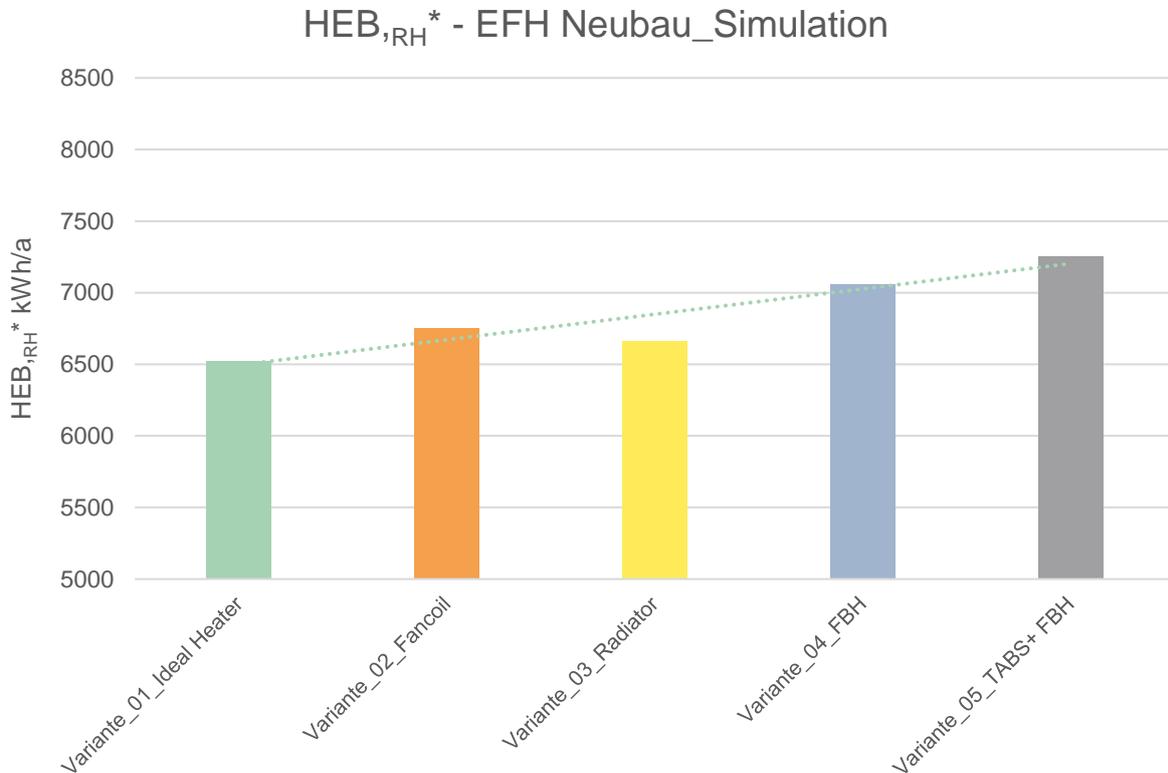


Abbildung 13: Simulation unterschiedlicher Wärmeübergabesysteme

Die Variante mit Ideal Heater besitzt den niedrigsten HEB_{,RH}*, die Variante Fußbodenheizung (FBH) und TABS den höchsten, was sich mit den Normfixwerten deckt. Allerdings kann festgestellt werden, dass die prozentuale Steigerung des HEB* nicht in derselben Relation zur Steigerung des $q_{H,WA}$ steht. Wie aus der Formel für die monatliche Berechnung der **Verluste der Wärmeabgabe an den Raum** $Q_{H,WA}$ (Gleichung (10)) hervorgeht, ist der $q_{H,WA}$ der einzige sich ändernde Faktor. Die Auswertung der Simulationen ergibt einen erhöhten HEB_{,RH}* von der Variante Ideal Heater auf die Variante FBH+TABS um lediglich 23 %, bzw. 19 % mit FBH und von Fancoil auf FBH von 9 %.

Der $q_{H,WA,2}$ -spezifischer Wärmeverlust im Bereich der Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems, in W/m^2 erhöht sich aber deutlicher.

$q_{H,WA,2} = 0,125 \text{ W/m}^2$ bei Fancoils

$q_{H,WA,2} = 0,25 \text{ W/m}^2$ bei Radiatoren

$q_{H,WA,2} = 0,5 \text{ W/m}^2$ bei Flächenheizungen

HEB_{,RH}* - EFH Neubau_Simulation

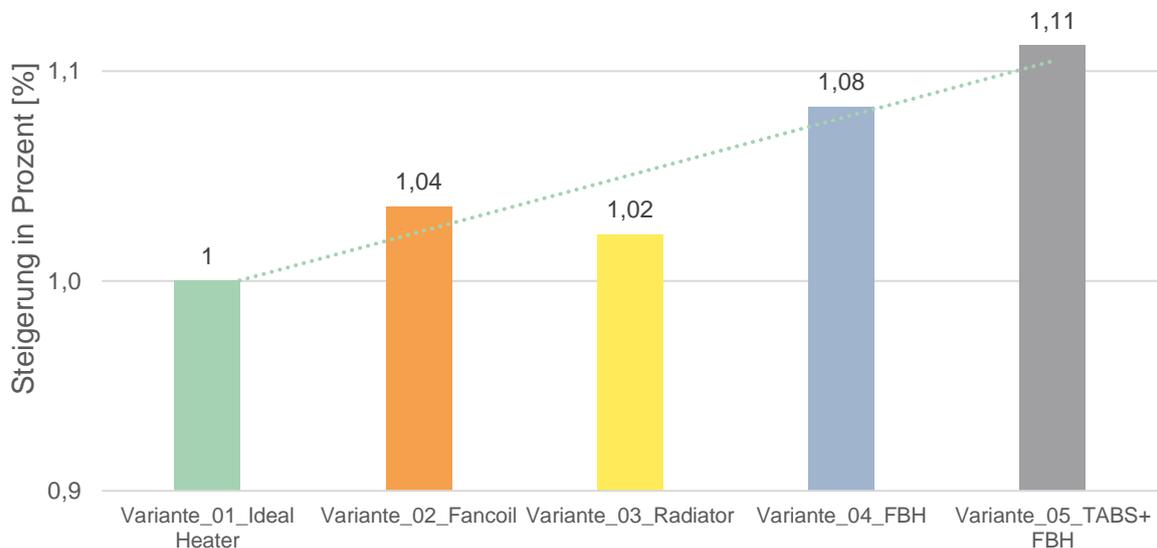


Abbildung 14: Steigerung des $q_{H,WA}$ in Prozent des HEB_{,RH}* in der Simulation

Wird die prozentuale Steigerung der Varianten herangezogen, so wird ersichtlich, dass der Radiator besser abschneidet als die Variante mit dem Fancoil. Bezogen auf den $q_{H,WA}$ aus der ÖNORM H5056-1 müsste der Radiator jedoch einen höheren HEB_{,RH}* besitzen. Bei Berechnung der $q_{H,WA}$ laut Gleichung (10) für das Beispielgebäude, ergibt sich folgende Wärmeverluste im Jahr, wie Abbildung 15 zeigt.

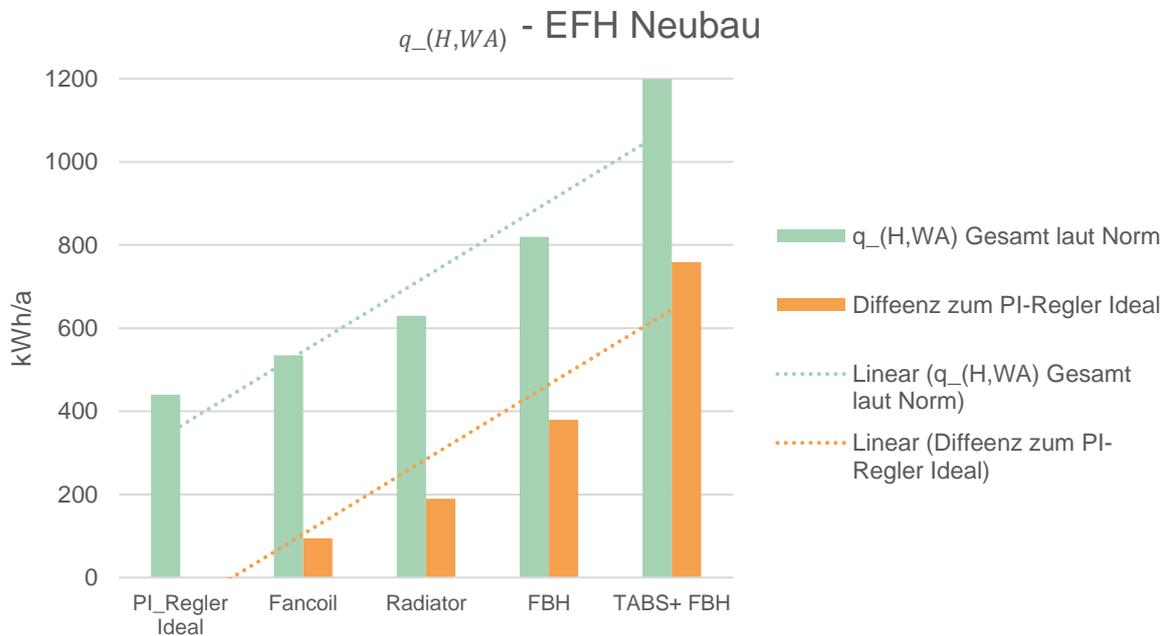


Abbildung 15: Abbildung des $q_{H,WA}$ laut ÖNORM 5056-1 je Variante im EFH Neubau

Die Basis bildet ein PI-Regler mit Idealem Heizelement in der Gebäudesimulation. Laut Norm wird für den PI-Regler ein Zuschlag von $q_{H,WA,1}$ von $0,58 \text{ W/m}^2$ angegeben, was 440 kWh/a bedeutet. Wird nun die Wärmeabgabesysteme verändert, wird je Wärmeabgabesystem ein höherer Zuschlag für den $q_{H,WA,2}$ laut Norm verwendet. Dieser ist in der Abbildung in Orange, als Differenz zum PI-Regler abgebildet sowie der Unterschied zur Gebäudesimulation. Der Korrekturfaktor Flächenheizung wird in dieser Grafik nicht abgebildet, somit wäre der Zuschlag im Vergleich zur Gebäudesimulation noch höher. In diesen Beispielen wird nur auf die Regelung und dem laut ÖNORM 5056-1 zugrundeliegenden $q_{H,WA}$ eingegangen. Wie die Abbildung zeigt, steigt der $q_{H,WA}$ stetig an, bis er bei der Variante 5 mit zwei Aktivierungsebenen seinen Höchststand erreicht. Einen weiteren Vergleich stellen die Varianten im MFH Neubau dar. Auch hier wurden die Varianten wie im EFH Neubau abgebildet. Die folgende Abbildung zeigt den $q_{H,WA}$ mit den unterschiedlichen Wärmeabgabesystemen für MFH Neubau.

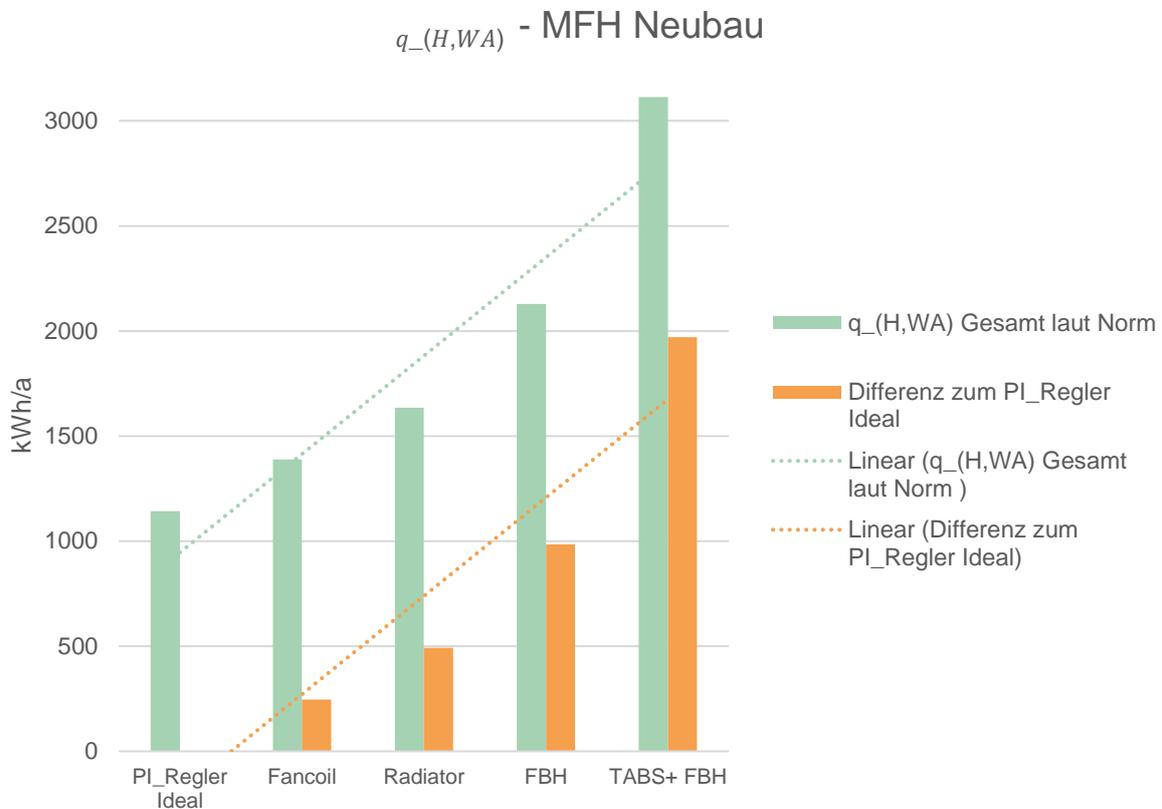


Abbildung 16: Abbildung des $q_{H,WA}$ laut ÖNRM 5056-1 je Variante im MFH Neubau

Die Basis bildet wieder ein PI-Regler mit idealem Heizelement in der Gebäudesimulation. Laut Norm wird für den PI-Regler ein Zuschlag von $q_{H,WA,1}$ von $0,58 \text{ W/m}^2$ angegeben, was 1143 kWh/a ergibt. Dieser ist in der Abbildung in Orange, als Differenz zum PI-Regler abgebildet sowie der Unterschied zur Gebäudesimulation. Wie die Abbildung zeigt, steigt der $q_{H,WA}$ stetig an, bis er bei der Variante 5 mit zwei Aktivierungsebenen seinen Höchststand erreicht. In der Simulation wurde dann nur das Wärmeabgabesystem verändert, und deren Auswirkungen betrachtet, welche in folgender Abbildung für die Varianten im EFH Neubau dargestellt sind.

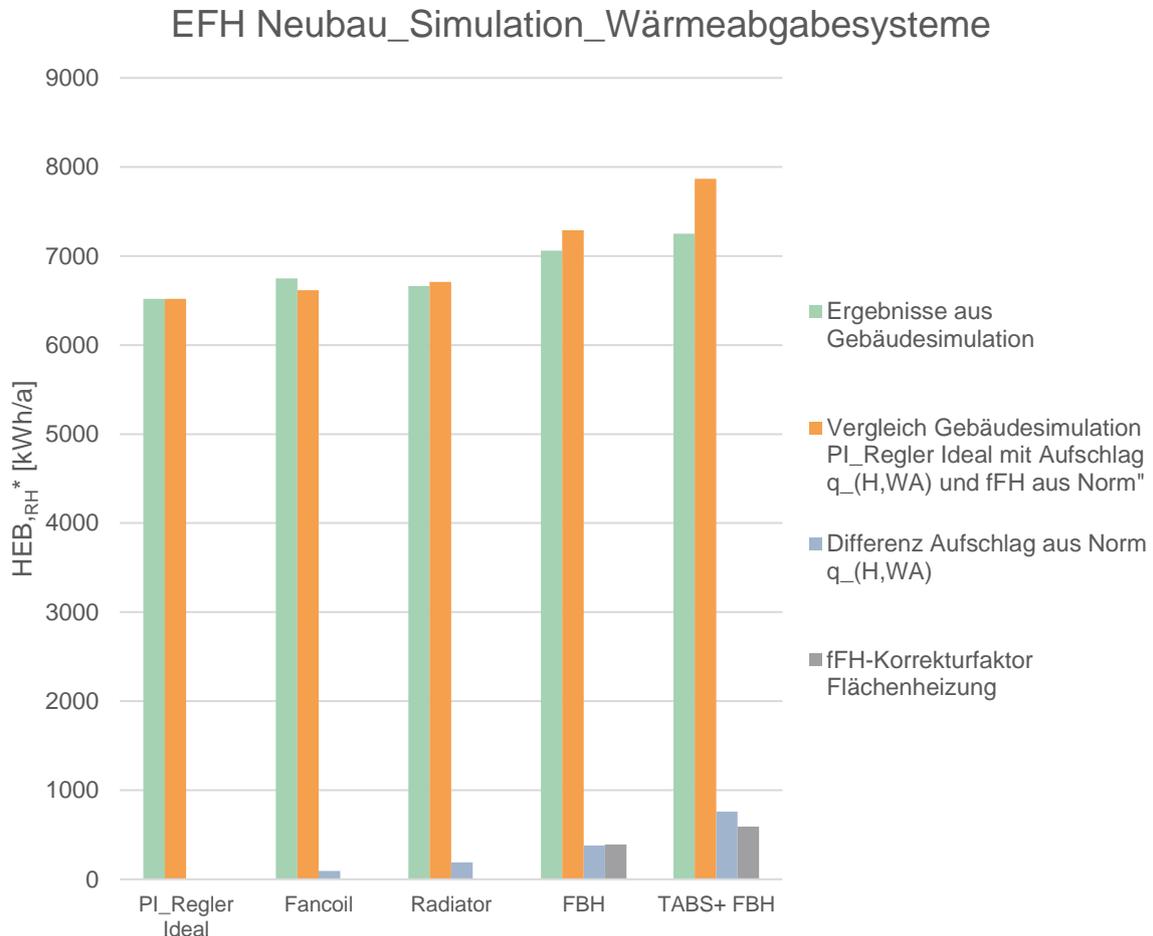


Abbildung 17: Abbildung unterschiedlicher Wärmeabgabesysteme in der Gebäudesimulation sowie Vergleich mit den Zuschlägen des $q_{H,WA}$ zum PI-Regler aus der Norm

Die Ergebnisse aus der Gebäudesimulation zeigen, dass die Abbildungen mit dem Fancoil einen höheren HEB_{RH}^* besitzen als jene mit Radiatoren. Bei den Flächenheizungssystemen stimmen die Simulationsergebnisse mit denen der rechnerischen Überprüfung besser überein, wie in Variante 5 ersichtlich wird.

In Hellblau dargestellt ist der Differenzbetrag vom PI- Regler des $q_{H,WA}$ zum jeweiligen Wärmeabgabesystem laut Normberechnung.

In Grau dargestellt ist der Korrekturfaktor Flächenheizung für Systemtemperaturen 35/28°C. Wird der $q_{H,WA}$ mit dem Korrekturfaktor Flächenheizung addiert, ergibt sich die Summe, mit welcher ohne zusätzliche Transmissionswärmeverluste die Gebäudesimulation verglichen werden kann, um die Defaultwerte in der Norm zu beurteilen. Sind diese insgesamt über dem Wert aus der Simulation, bedarf es einer Anpassung. Die Differenz im EFH Neubau beträgt hier wie abgebildet 618 kWh oder 8,5%.

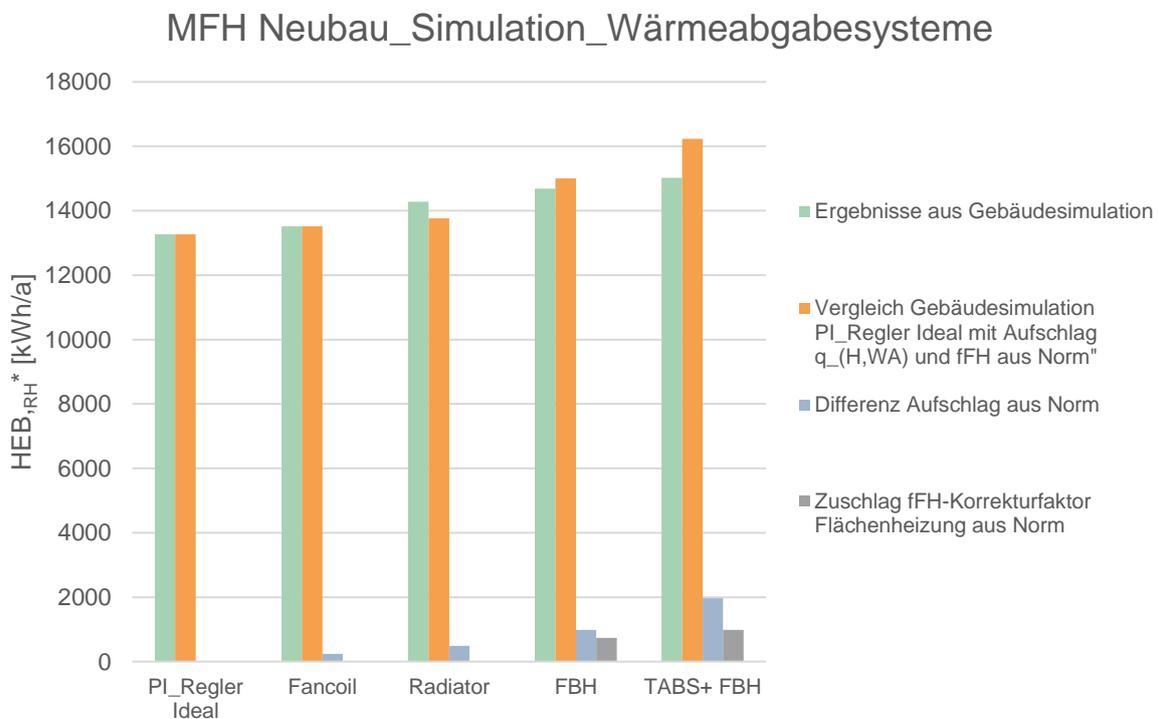


Abbildung 18: Abbildung des $q_{H,WA}$ laut ÖNORM 5056-1 je Variante in der Gebäudesimulation sowie Vergleich mit den Zuschlägen des $q_{H,WA}$ zum Ideal Heater im MFH Neubau

Die Ergebnisse aus der Gebäudesimulation zeigen, dass die Flächenheizungssysteme mit den Simulationsergebnissen mit der rechnerischen Überprüfung 315 kWh bei der FBH und bei TABS+ FBH 1204 kWh Differenz aufweisen, was 2,1% bei FBH und 8% bei TABS+ FBH bedeutet. Wird der $q_{H,WA}$ bei der Eingabe im Energieausweis um

0,2 W/m² auf 0,880 reduziert, ergibt sich folgendes Ergebnis, wie die nächste Abbildung zeigt.

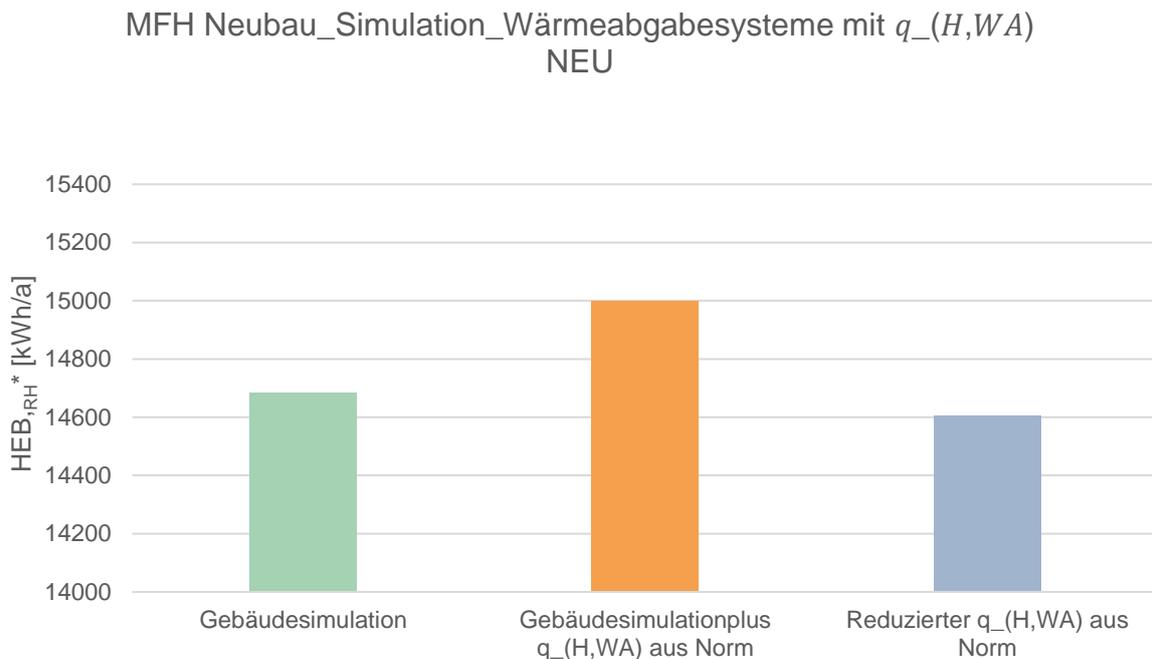


Abbildung 19: Abbildung der Flächenheizung mit adaptierten $q_{H,WA}$ aus der Norm

Links abgebildet in grün ist die Gebäudesimulation wie zuvor, mittig mit Aufschlägen aus dem $q_{H,WA}$ aus der Norm und rechts als Vergleich mit dem um 0,2 W/m² reduzierten $q_{H,WA}$. Zu erkennen ist, dass sich der HEB_{RH}* durch die Reduzierung merkbar senkt und sich somit auf 80 kWh der Gebäudesimulation annähert. Dies stellt ein praktikables Mittel dar, um die Flächenheizungen im Energieausweis verbessert abbilden zu können. Eine weitere Option besteht in der generellen Anpassung des Korrekturfaktors Flächenheizung. Wie im Kapitel 5 folgend ausgeführt, kann durch eine neue Berechnung das Ergebnis deutlich verbessert werden, wie folgende Abbildung zeigt.

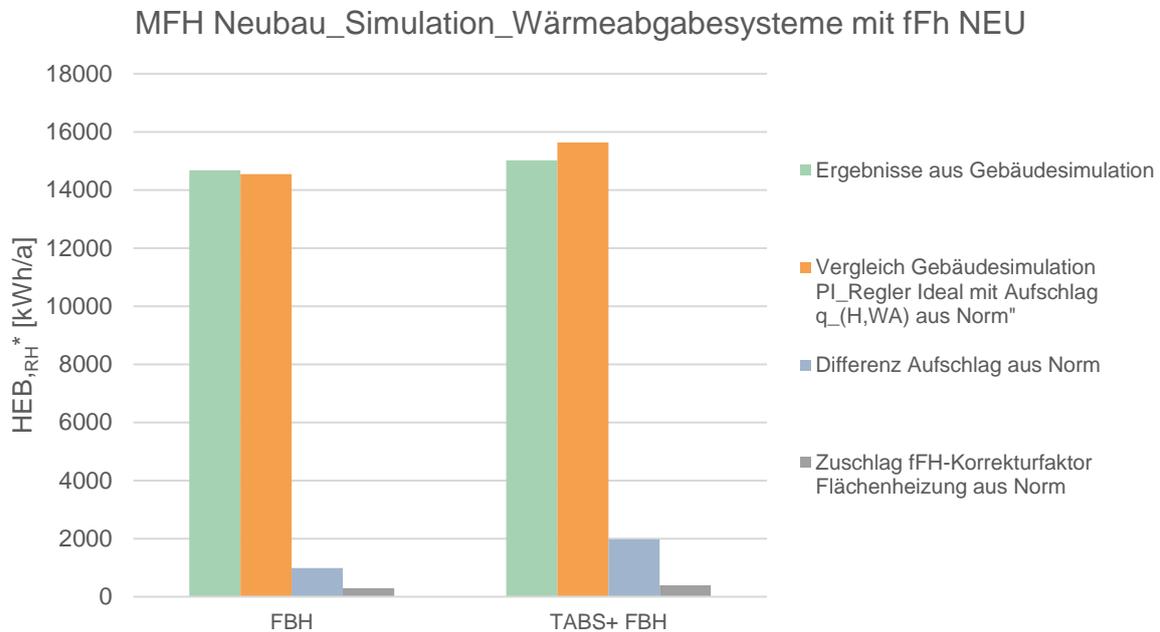


Abbildung 20: Abbildung der Flächenheizung mit adaptierten f_{FH} - Korrekturfaktor Flächenheizung

Durch die Reduzierung des Korrekturfaktors Flächenheizung von 1,27 (35/28°C) auf 1,11 konnte das Ergebnis deutlich an die Simulation herangeführt werden, wie in Orange dargestellt. Bei der Variante FBH ist der HEB_{RH}^* mit 130 kWh unterhalb der Gebäudesimulation. Bei der Variante FBH und TABS Deckenaktivierung besteht eine Differenz von knapp 4 % durch diese Adaption. Eine mögliche Lösung bei der Eingabe im Energieausweis ist die Wahl reduzierter der Systemtemperaturen von 30/25, um einen möglichst geringen Korrekturfaktor Flächenheizung zu erreichen. Für die Abbildung von TABS in der Gebäudesimulation werden standardmäßig andere Regelkonzepte verwendet als die des PID, PI oder P-Regler, um die Systemträgheit besser Einbinden zu können. Werden die TABS Regler von Standard PI-Regler adaptiert, mit einem längeren gleitenden Mittelwert sowie um einen pulsierenden Betrieb erweitert, stellen sich folgende Ergebnisse ein:

- Variante 6: TABS mit Regler, flache Heizgradkennlinie im Dauerbetrieb, Außentemperaturgeführt.
- Variante 7: TABS mit Regler, flache Heizgradkennlinie im pulsierenden Betrieb der Ladepumpe (12h Beladung, 12h Pause), Außentemperaturgeführt.
- Variante 8: TABS mit Regler, flache Heizgradkennlinie im pulsierenden Betrieb der Ladepumpe (16h Beladung, 8h Pause), Außentemperaturgeführt.

Durch die Regelung können die Speichermassen von TABS besser genutzt werden sowie Vorlauftemperatur verringert werden.

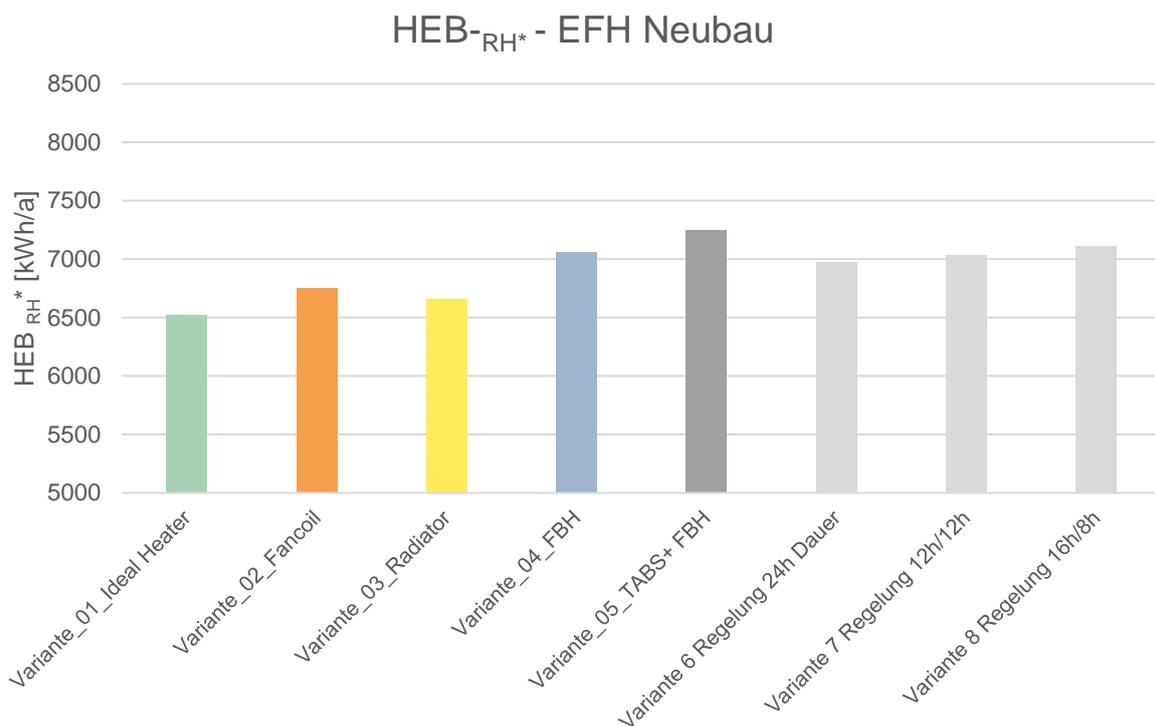


Abbildung 21: Simulation unterschiedlicher Wärmeübergabesysteme zuzüglich TABS-Regelungsvarianten

Aus den Simulationsergebnissen zeigt sich, dass die Varianten 6-8 mit TABS Regelung einen niedrigeren HEB_{RH}* aufweisen im Gegensatz zum Standardregler, was bei

der Eingabe im Energieausweis berücksichtigt werden muss und sich folglich auch auf alle Gebäudetypen übertragen lässt.

Die Abbildung des $q_{H,WA}$ wie er aktuell in der Norm abgebildet ist, kann mithilfe der Defaultwerte im Energieausweis im Bereich EFH gut abgebildet werden, wenn kleine Eingabeänderungen vorgenommen werden. Für großflächigere Bauvolumina zeigt sich aber eine Abweichung des $q_{H,WA}$, sodass hier die Defaultwerte zu hoch angesetzt sind und eine flächenmäßige Degression der Defaultwerte angedacht werden sollte. Um die Eingabe der Bauteilaktivierung im Energieausweis besser darstellen zu können, sollte nicht der PI-Regler sondern der noch bessere Einzelraumregler mit Optimierungsfunktion als Defaultwert verwendet werden, um eine Reduzierung von 0,2 W/m² und somit eine bessere Abbildbarkeit zu erreichen. Bedingt durch die Formel in der Energieausweisberechnung zeichnen sich die erhöhten Wärmeabgabeverluste in der Gebäudesimulation deutlicher ab als im Energieausweis. Genaue Eingabeempfehlungen folgen im Kapitel Handlungsempfehlungen für die Eingabe TABS im Energieausweis.

4. Vergleich und Ergebnisse

Um die Ergebnisse der Simulationen und der Energieausweisberechnung vergleichen zu können wurde als Vergleichswert der HEB_{RH}^* festgelegt. Dieser Heizenergiebedarf beinhaltet nur jene Energiemenge, die für die Konditionierung des Gebäudes notwendig wäre. Das heißt, dass der Warmwasserwärmebedarf für diese Untersuchung ausgeklammert wurde. Des Weiteren wurden die Verluste wie beispielsweise die Verteilverluste nicht weiter berücksichtigt. Lediglich die erhöhten Verluste aufgrund der Art des Wärmeabgabesystems sowie jene aufgrund der Auswahl der Regelung (siehe Kapitel 3.1.6) sind in den Berechnungen enthalten, da diese Werte für diesen Untersuchungsrahmen sehr relevant sind.

4.1. Ergebnisse der Gebäudesimulation

Legende für Grafiken:

D:	Dach/ Geschossdecke Materialität
AW:	Außenwand Materialität
Ü10	Überdeckung TABS 10cm
Ü3	Überdeckung TABS 3cm
L	PI-Regler nach Lufttemperatur
O	PI-Regler nach Oberflächentemperatur
STB	Stahlbeton
AW-I	Aktivierte AW innen
AW-A	Aktivierte AW außen

EFH Neubau

Folgende Abbildung zeigt den HEB_{RH}^* der Varianten im EFH Neubau mit unterschiedlichen Materialitäten, Überdeckungen und Regelungen.

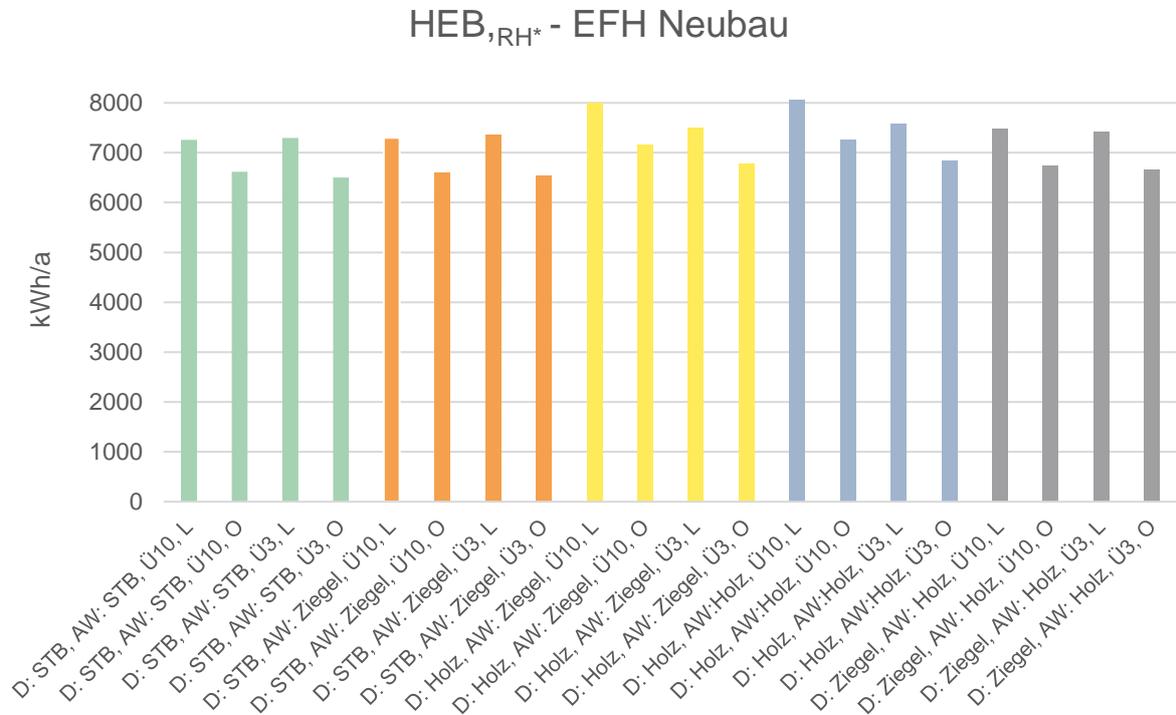


Abbildung 22: HEB_{RH*} der Varianten im EFH Neubau

Die Abbildungen der einzelnen Varianten je Gebäudetyp zeigen den HEB_{RH*} für unterschiedliche Parameter wie oben in der Tabelle angeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Varianten variieren, bedingt durch die Eingabeparameter sowie durch die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der verwendeten Materialität. Auch ob nach Oberflächentemperatur oder Raumtemperatur geregelt wird, zeichnet sich in den Ergebnissen deutlich ab. So besitzen beispielsweise die Varianten mit mittelschwerer Bauweise, in grün abgebildet, einen um 7,5% niedrigeren HEB_{RH*} als die Varianten in hellblau, mit leichter Bauweise.

MFH Neubau

In den Varianten im MFH Neubau zeigt sich ein sehr ähnliches Bild wie jene im EFH Neubau. Die Varianten in Stahlbeton-Bauweise haben als Referenz den geringsten HEB_{RH*}, bedingt durch deren gute physikalischen Eigenschaften für TABS. Den

höchsten HEB_{RH^*} haben, wie die folgende Abbildung zeigt, die Varianten mit Holzaußenwand und Holzdecke, begingt durch die niedrige Wärmeleitfähigkeit von Holz.

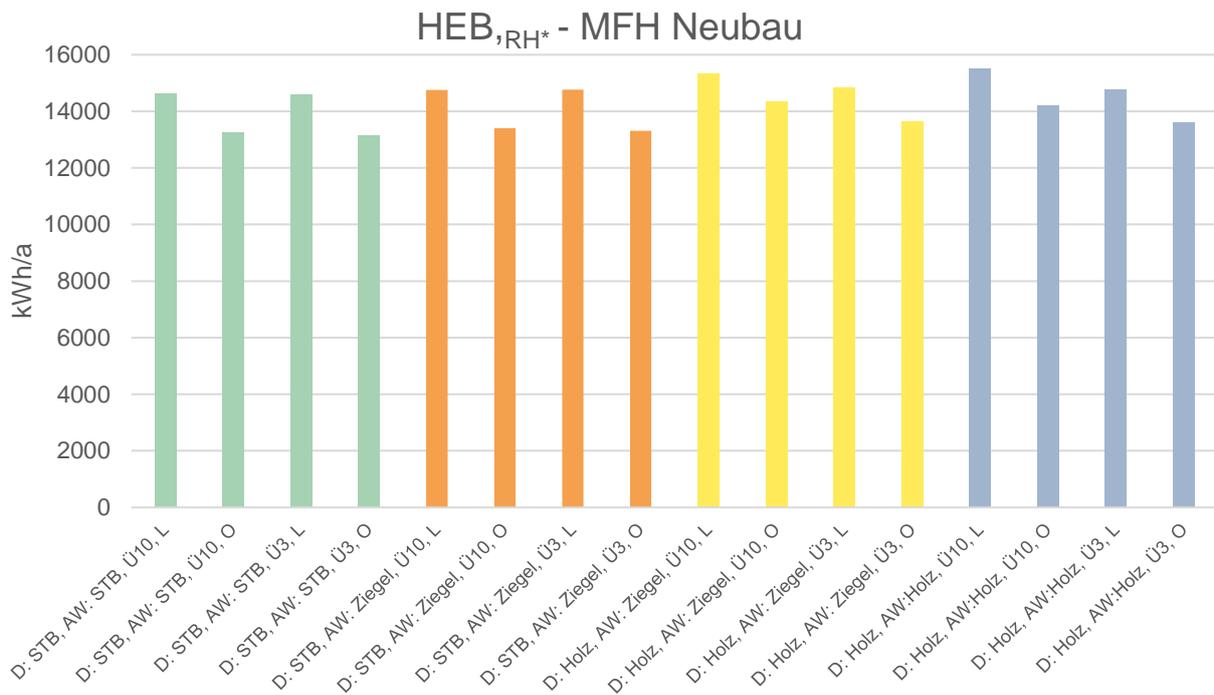


Abbildung 23: HEB_{RH^*} der Varianten im MFH Neubau

GWB Neubau

Im Geschosswohnbau setzt sich dieses Bild fort. Die Varianten mit Stahlbeton haben den geringsten HEB_{RH^*} , jene mit Holzaktivierung und Holzaußenwand den höchsten, wie in folgender Abbildung zu sehen ist.

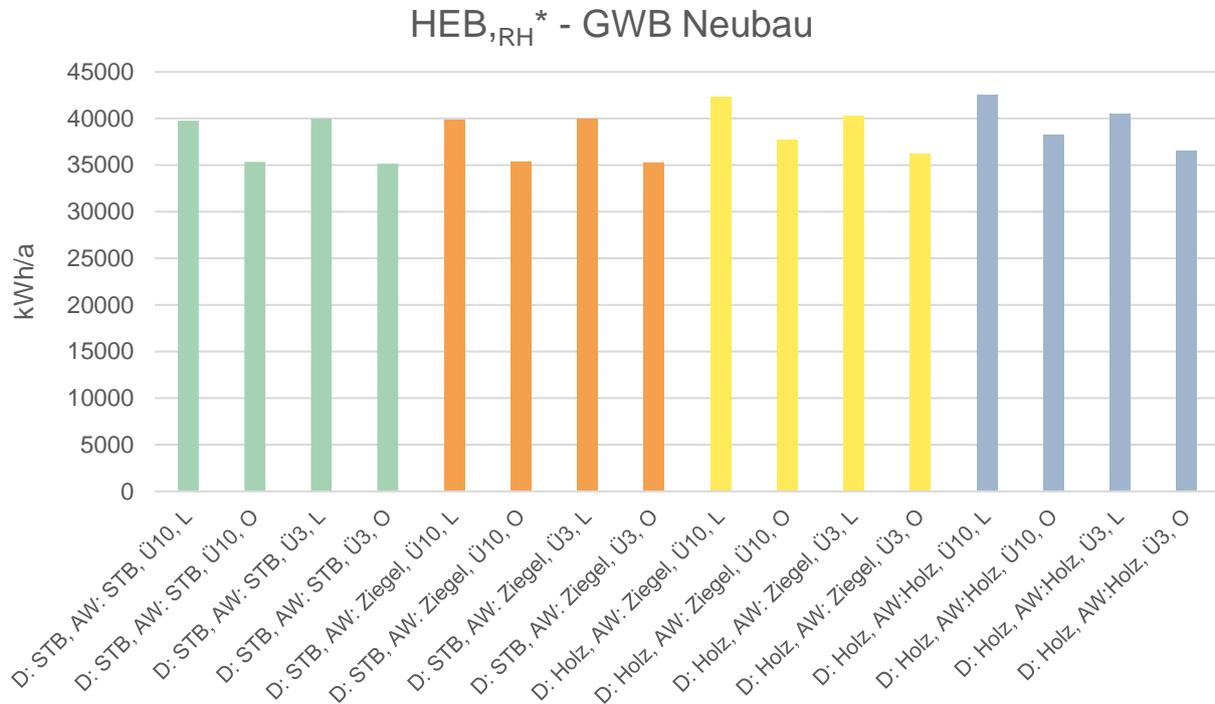


Abbildung 24: HEB_{RH}* der Varianten im GWB Neubau

EFH Sanierung

In den Varianten der Gebäudetypen EFH Sanierung sind mehrere Aufbaumöglichkeiten abgebildet. Die ersten 10 Varianten besitzen wie die im Neubau eine Deckenaktivierung, die darauffolgenden Varianten eine Aktivierung der Außenwand, entweder von außen oder von innen angebracht.

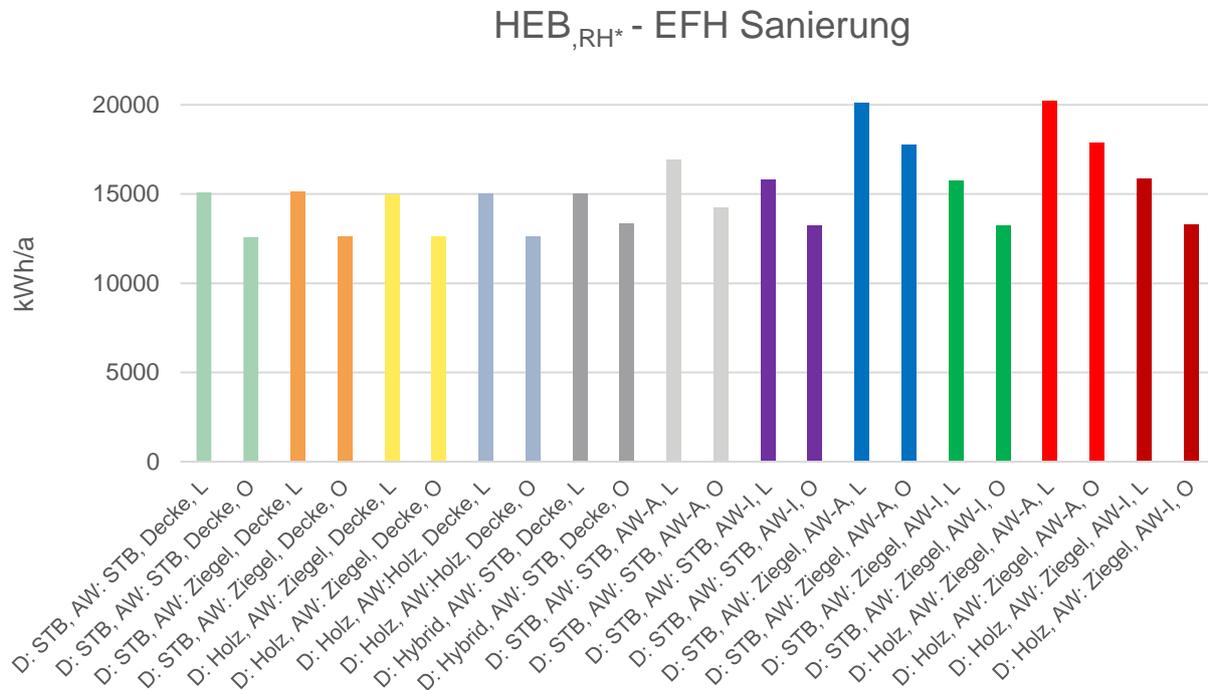


Abbildung 25: HEB_{,RH*} der Varianten im EFH Sanierung

Die Varianten mit der aktivierten Außenwand, welche von außen angebracht wurde, haben den höchsten HEB_{,RH*} durch die erhöhten Transmissionswärmeverluste. Ein kleiner Unterschied ist erkennbar, wenn das Gebäude eine hohe oder niedrige Speichermasse besitzt, wie die Balken in Dunkelblau und Rot zeigen.

MFH Sanierung

Im Bereich MFH Sanierung sind weniger Varianten abgebildet als im EFH Sanierung, bedingt durch die in der Realität umsetzbaren Möglichkeiten und verwendeten Materialien.

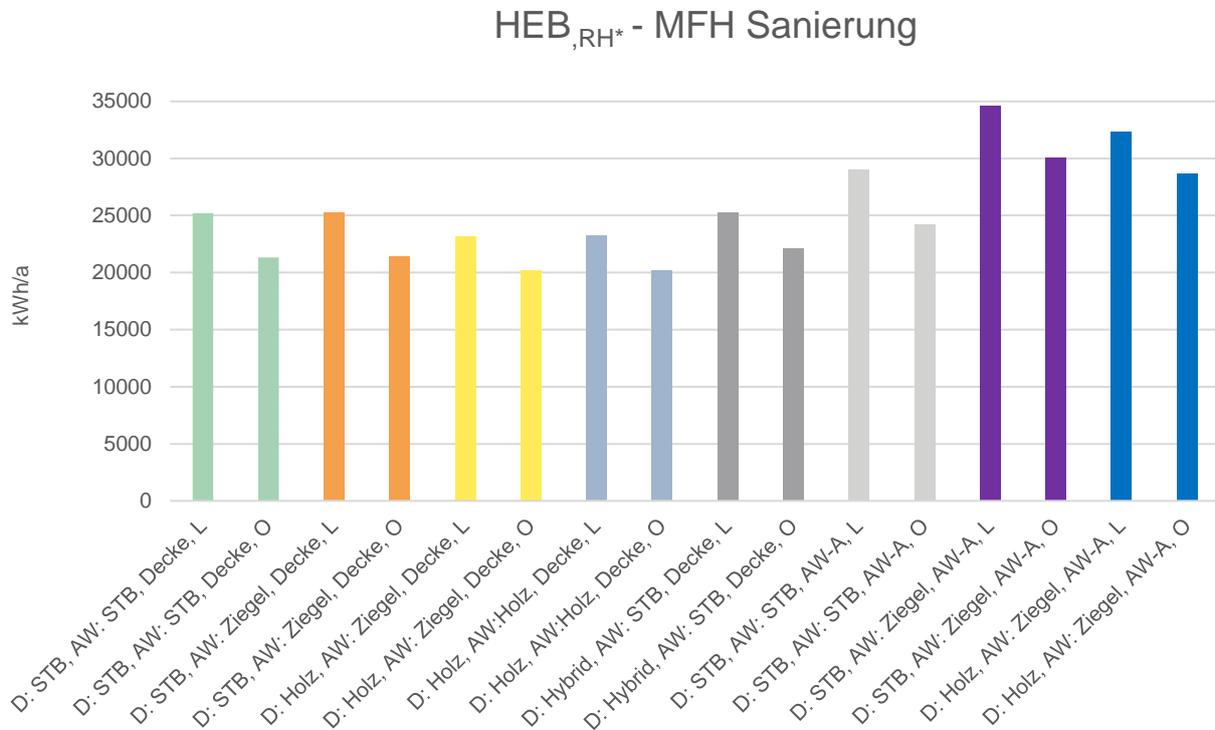


Abbildung 26: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im MFH Sanierung

Die ersten Varianten mit Deckenaktivierung befinden sich allesamt in einem ähnlichen Bereich. Auffallend ist hierbei, dass die Varianten in Gelb und Hellblau, also diejenigen mit Holzdecke einen geringeren $HEB_{,RH^*}$ aufweisen als jene mit Ziegel und Stahlbeton. Das liegt daran, dass in der Gebäudesimulation mit den Standardeinstellungen für alle Varianten die Zieltemperatur im Raum nicht immer erreicht werden konnte, sodass sich hier ein geringerer $HEB_{,RH^*}$ ergibt. Die durchschnittliche Raumtemperatur beträgt im Heizbetrieb 21.01°C, bei 22°C Zielwert. Die Varianten mit außenliegender Aktivierung in der Außenwand haben auch hier den höchsten $HEB_{,RH^*}$.

GWB Sanierung

Im Geschosswohnbau zeigt sich ein sehr ähnliches Bild wie im MFH Sanierung. Auch hier ist die Variante in Gelb mit Holzdecke leicht besser im $HEB_{,RH^*}$ als die mit Ziegel

oder Stahlbetondecke. Auch hier ist dies auf die marginal geringere Raumtemperatur zurückzuführen, wie dies in folgender Abbildung ersichtlich wird.

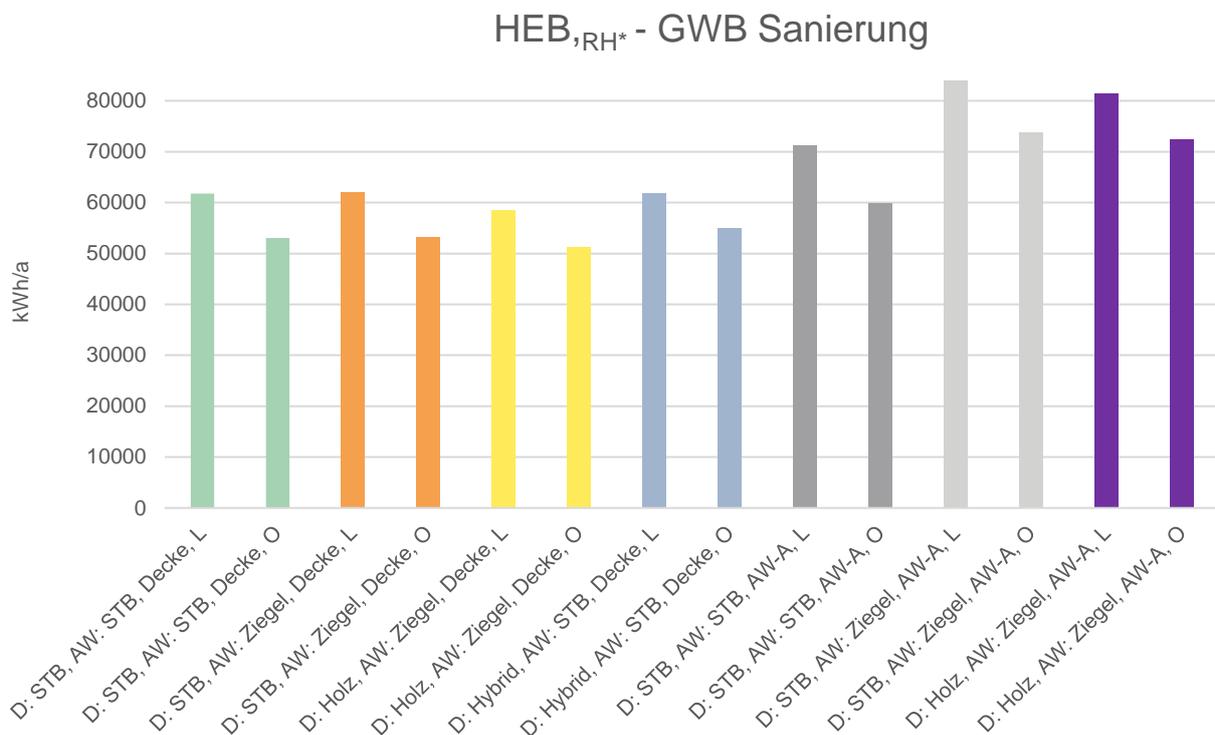


Abbildung 27: HEB_{,RH*} der Varianten im GWB Sanierung

Die Varianten mit der Aktivierung in der Außenwand haben auch hier einen deutlich erhöhten HEB_{,RH*} als jene mit Deckenaktivierung.

4.2. Ergebnisse aus der Energieausweisberechnung

Die Energieausweisberechnung wurde mithilfe eines Exceltools (Pöhn et al, 2016) durchgeführt. Die Basis für die Eingaben stellen die vorher definierten Varianten vom EFH bis hin zum GWB und deren Variationen dar. Die Eingaben der Simulationen verlangen einen viel tieferen Detaillierungsgrad als jene im Energieausweis. Genau die hier dargestellten Unterscheidungen sind im Energieausweis nicht möglich und führen zu verallgemeinerten Aussagen über die Energiekennzahlen eines Gebäudes. Während beispielsweise in den Simulationen die genauen Bauteilaufbauten, die Lage

der Aktivierung im Bauteil, die Überdeckung und die Regelung anzugeben ist, wird in der Energieausweisberechnung lediglich die Bauweise, in diesem Fall leicht und mittelschwer, sowie das aktivierte Bauteil angegeben. Somit ergeben sich auch aus der Gebäudesimulation mehrere Ergebnisse je Untervariante, welche so aber nicht im Energieausweis abbildbar sind.

Die Grunddaten der Modellgebäude wurden zuerst im Exceltool eingegeben und durch das ausklammern aller Verluste mit den Ergebnissen der Simulation abgestimmt. Danach wurden die Verluste lt. Norm wieder hinzugefügt und die Varianten gegenübergestellt. Alle Berechnungen in diesem Exceltool basierten auf die aktuellen Normen zur Berechnung von Energieausweisen. Lediglich die Klimadaten wurden aus dem Klimadatensatz ASHRAE IWEK 2 von Salzburg Flughafen verwendet, um dieselben klimatischen Voraussetzungen wie bei den Simulationen zu erzeugen und somit einer Verfälschung der zu betrachtenden Energiekennwerte entgegenzuwirken.

Während der Auswertung der Gebäudesimulationen wurde festgestellt, dass es vor allem in der Übergangszeit durch den solaren Eintrag zu einer erhöhten Raumtemperatur kommt und sich dies folglich auch in dem Heizenergiebedarf in der Übergangszeit widerspiegelt. Dieser Umstand sollte mit einem außenliegenden Sonnenschutz ausgeschlossen werden. In der Energieausweisberechnung stellt sich aber heraus, dass die Eingabe eines außenliegenden Sonnenschutzes in der Energieausweisberechnung keinen Einfluss in Endergebnis hat, und somit für die direkten Vergleiche zur Gebäudesimulation nicht verwendet werden kann, da der außenliegende Sonnenschutz in der Gebäudesimulation einen deutlichen Einfluss darstellt. Für die folgenden Vergleiche zwischen Energieausweis und Gebäudesimulation wurde daher kein Sonnenschutz in der Gebäudesimulation verwendet.

Die erste Gegenüberstellung zeigte das beschriebene Problem der verschiedenen Detaillierungsgrade bei den Ergebnissen der Simulationen zum Energieausweis bereits sehr gut. Abbildung 28 zeigt, dass das einzelne Ergebnis eines Energieausweises einer Bandbreite von Ergebnissen der Simulationen gegenüberstehen.

Diese Bandbreite ergibt sich durch das Variieren der in Kapitel 4.1 beschriebenen Parameter wie Materialität, Überdeckung und Regelung.

Legende für Grafiken:

EFH	Einfamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus
GWB	Geschoßwohnbau
NB	Neubau
SAN	Sanierung
STB	Stahlbeton (Bauweise)
Mittel	Mittelschwere Bauweise

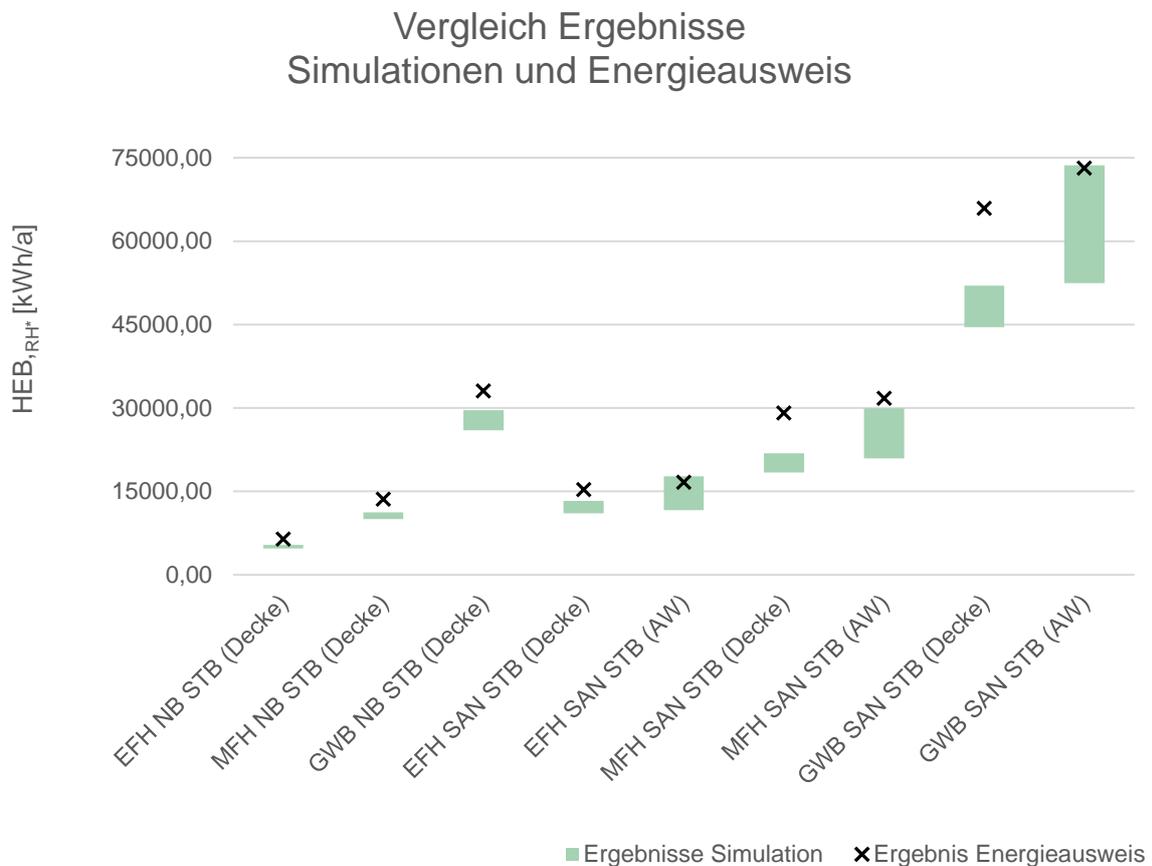


Abbildung 28: Vergleich Ergebnisse Simulationen mit Ergebnis Energieausweis in kWh/a

Zu erkennen ist, dass das Ergebnis der Gebäudesimulation in fast jeder Variante unter jenem des Energieausweis bleibt. Einzelne Untervarianten haben aber einen höheren HEB_{RH^*} als im Energieausweis, wie die grünen Balken als Bandbreite der einzelnen Untervarianten darstellen. Um die Abweichungen der Ergebnisse nochmals übersichtlicher darstellen zu können, wurde in der folgenden Abbildung (Abbildung 29) das Ergebnis des Energieausweises je Modellgebäude als Basis verwendet und die Simulationsergebnisse im jeweiligen Prozentbereich davon angeordnet.

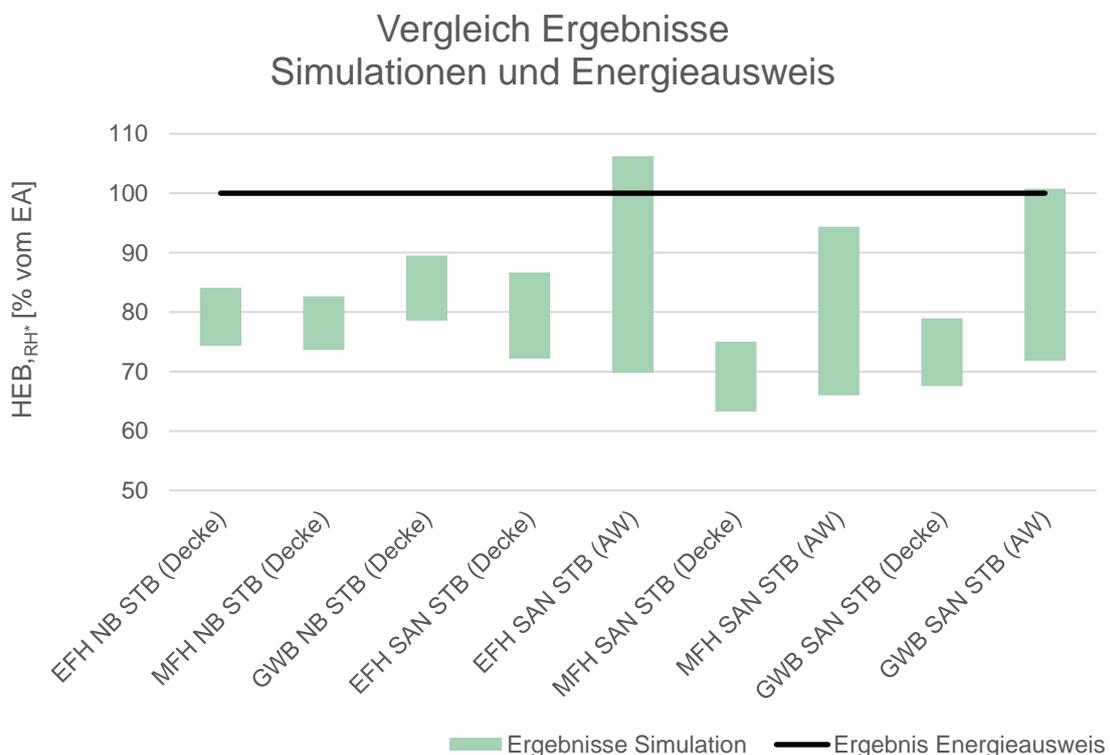


Abbildung 29: Vergleiche Ergebnisse Simulationen und Energieausweis in %

Durch diese Darstellung kann die Abweichung der Simulationsergebnisse zur Energieausweisberechnung noch besser gezeigt werden. Die größten Bandbreiten von Simulationsergebnissen stellen jene Varianten dar, in denen TABS in der Außenwand

angebracht wurde. Hierbei sind wiederum die Varianten mit dem höchsten HEB_{RH^*} jene, bei denen die aktivierte Fläche an der Außenseite der Außenwand angebracht wurde. Nur die Varianten dieses Spezialfalls in der Sanierung übersteigen auch das Ergebnis aus dem Energieausweis aufgrund der extrem hohen Wärmeverluste nach außen.

Auf folgender Abbildung sind nochmals die Varianten im Neubau im Detail zu sehen.

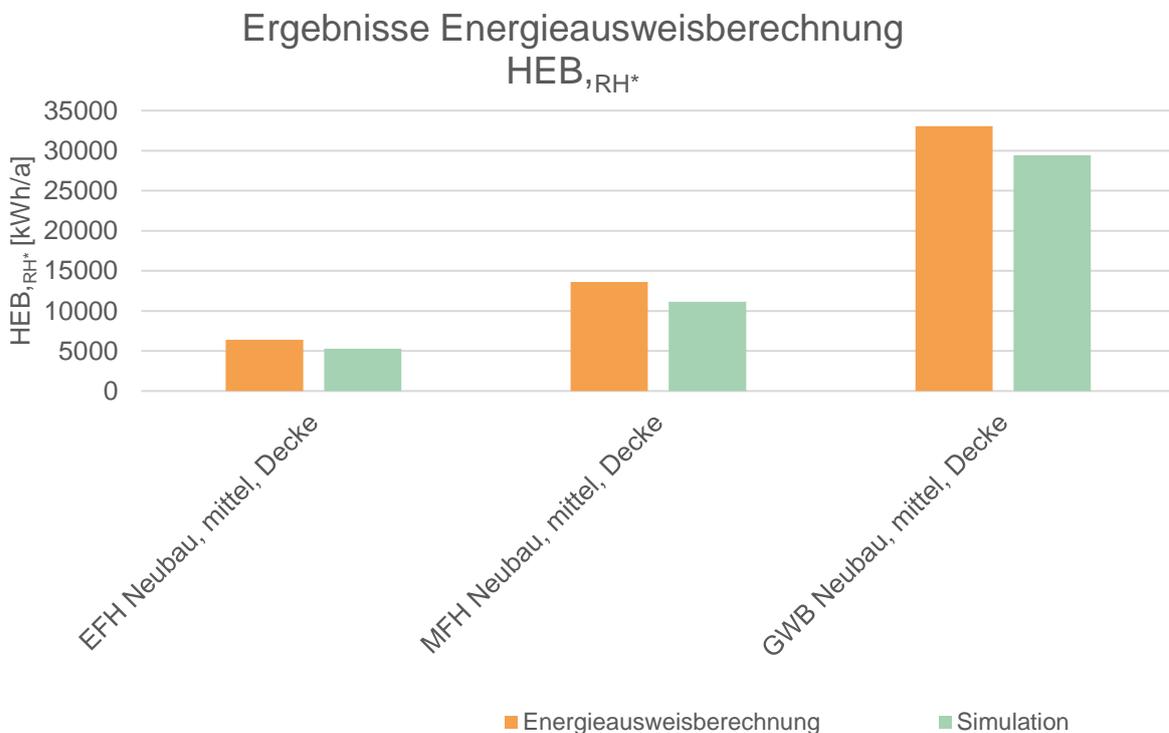


Abbildung 30: HEB_{RH^*} im Neubau mittelschwere Bauweise der Energieausweisberechnung verglichen mit der Gebäudesimulation

Die aktuelle Energieausweisberechnung schafft aktuell keine adäquate Abbildung der Bauteilaktivierung verglichen mit der Gebäudesimulation. Die Abweichung von Energieausweis zur Gebäudesimulation beträgt aktuell 20,6 % in der Variante EFH Neubau, mittelschwere Bauweise mit Deckenaktivierung. Die Abweichung beim MFH

Neubau, mittelschwere Bauweise mit Deckenaktivierung beträgt 22,2 %. Im Geschosswohnbau beträgt die Abweichung 12,4 %. Demnach wird in Energieausweis die Bauteilaktivierung mit 12,4% bis 22,2 % zu hoch abgebildet.

In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse für die Varianten der Sanierung zu sehen. Auch hier zeigt sich ein Unterschied von Energieausweisberechnung und Gebäudesimulation.

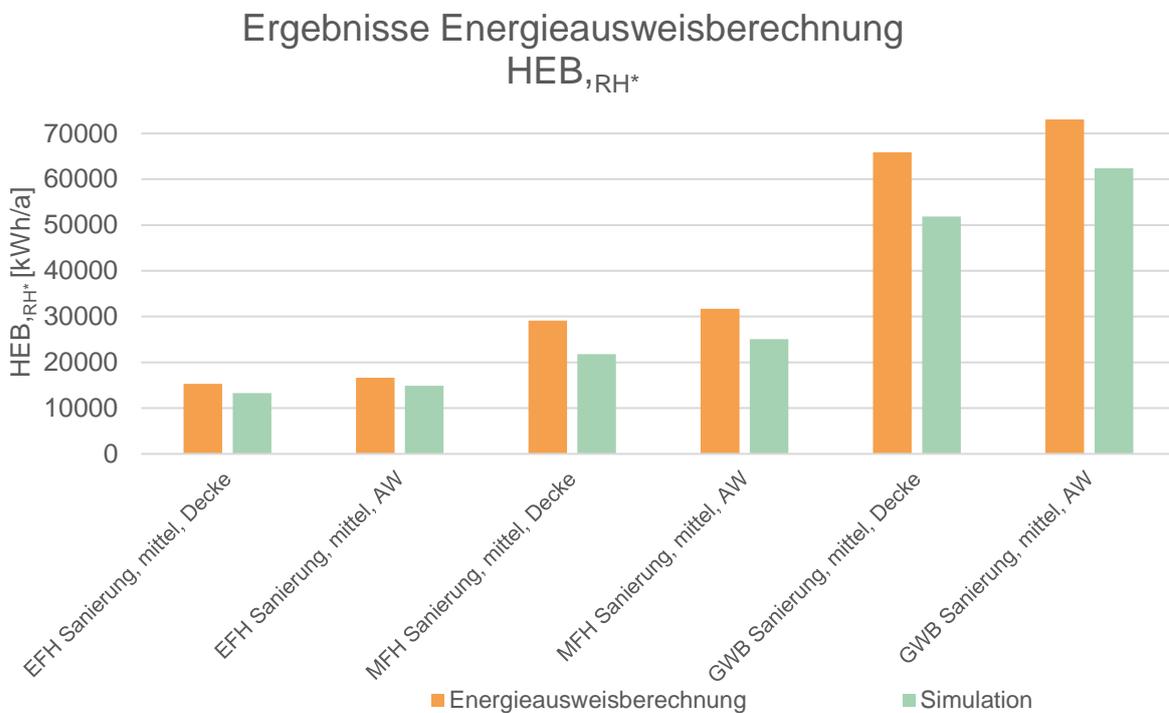


Abbildung 31: HEB_{RH^*} in der Sanierung der Energieausweisberechnung verglichen mit der Gebäudesimulation

Beginnend mit dem EFH mit Deckenaktivierung zeigt sich eine Differenz von 2074 kWh, was eine Abweichung von 15,6 % bedeutet. Das EFH mit außenliegender Aktivierung hat eine Abweichung von 1783 kWh, was 12 % ausmacht. Auch in den anderen Gebäudetypen mit MFH und GWB ist zu erkennen, dass die Differenz der

Varianten mit Deckenaktivierung größer ist als jene mit außenliegender Aktivierung im Vergleich zur Simulation. Im MFH mit Deckenaktivierung ist die Abweichung bei 33,6%, im GWB bei 26,9 %. Den erhöhten Energiebedarf durch erhöhte Transmissionswärmeverluste bei einer außenliegenden Bauteilaktivierung werden im Energieausweis schlechter abgebildet als in der Gebäudesimulation, sodass sich hier die Abweichung zwischen Gebäudesimulation und Energieausweisberechnung reduziert.

5. Korrekturfaktor Flächenheizung

Wie in der Sensitivitätsanalyse in Kapitel 2.3 zu erkennen ist, hat der Korrekturfaktor Flächenheizung einen großen Einfluss auf den Heizenergiebedarf im Energieausweis.

Um Bauteilaktivierungen der tatsächlichen Situation entsprechend abbilden zu können wird daher insbesondere die Berechnung des Korrekturfaktor Flächenheizung untersucht und neue Methoden für dessen Berechnung vorgeschlagen. Bisher wird der Korrekturfaktor Flächenheizung laut Norm, wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, berechnet.

5.1. Vorschlag neue Berechnung

Der Transmissionsverlust eines aktivierten Bauteils hängt wesentlich von dessen Aufbau und Betrieb ab. Bei der aktuellen Berechnung des Korrekturfaktors Flächenheizung fließt der Aufbau und Betrieb des aktivierten Bauteils bisher jedoch nicht ein. Daher wird eine neue Berechnungsmethode vorgeschlagen, mit welcher genauere Ergebnisse unter Berücksichtigung des Aufbaus und Betriebs als die bisherige Berechnung berechnet werden können.

5.1.1. Herleitung

Der Korrekturfaktor Flächenheizung (f_{FH}) für den Wärmeverlust über ein aktiviertes Bauteil kann als das Verhältnis des über die Außenseite des Bauteils abgegebenen Wärmestrom \dot{q}_{tabs} zu dem eines nicht aktivierten Bauteils \dot{q}_{ref} definiert werden:

$$f_{FH} = \frac{\dot{q}_{tabs}}{\dot{q}_{ref}} \quad (20)$$

\dot{q}_{tabs} Wärmestrom über die Außenseite des aktivierten Bauteils in $\frac{W}{m^2}$

\dot{q}_{ref} Wärmestrom über das nicht aktivierte Bauteil in $\frac{W}{m^2}$ (Referenz)

Der Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} ist dabei der Transmissionsleitwert L_e des Bauteils multipliziert mit der Differenz aus dem Monatsmittelwert der Innentemperatur und der Außentemperatur:

$$\dot{q}_{ref} = L_e \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (21)$$

L_e Transmissionsleitwert des nicht aktivierten Bauteils in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

Der Wärmeverlust \dot{q}_{tabs} eines aktivierten Bauteils kann dabei auf unterschiedliche Weisen ermittelt werden:

1. Nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 (siehe Kapitel 5.1.2)
2. Aus der Auswertung der Wärmeströme und Temperaturen einer Gebäudesimulation (siehe Kapitel 5.1.3)
3. Aus den Wärmeströmen und Temperaturen einer detaillierten stationären Bauteilsimulation (siehe Kapitel 5.1.4)

5.1.2. Auswertung des Korrekturfaktor Flächenheizung nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04

Nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 können die Wärmeströme über die Oberflächen eines aktivierten Bauteils berechnet werden. In Abbildung 32 ist das verwendete Schaltbild der Widerstände für ein aktiviertes Bauteil dargestellt. Der Wärmestrom \dot{q}_{tabs} entspricht dabei dem Wärmestrom \dot{q}_1 oder \dot{q}_2 , der in die angrenzende Raumseite strömt, welche der Außenseite entspricht.

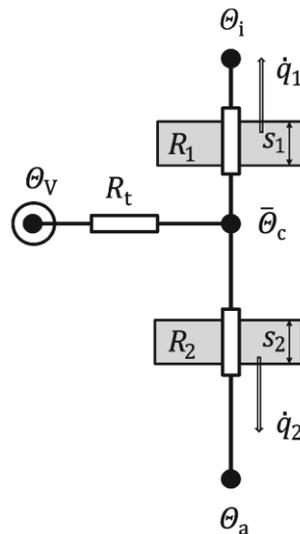


Abbildung 32: Schaltbild der Widerstände eines aktivierten Bauteils (DIN EN ISO 11855-2:2022-04)

Die Wärmeströme \dot{q}_1 und \dot{q}_2 über die jeweilige Seite des Bauteils lassen sich nach den folgenden Formeln berechnen (DIN EN ISO 11855-2:2022-04):

$$\dot{q}_1 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} \cdot [R_t \cdot (\theta_2 - \theta_1) + R_2 \cdot (\theta_v - \theta_1)] \quad (22)$$

$$\dot{q}_2 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} \cdot [R_t \cdot (\theta_1 - \theta_2) + R_1 \cdot (\theta_v - \theta_2)] \quad (23)$$

\dot{q}_1 Stationäre Wärmestromdichten in angrenzende Raumseite $i = 1$, in $\frac{W}{m^2}$

- \dot{q}_2 Stationäre Wärmestromdichten in angrenzende Raumseite $i = 2$, in $\frac{W}{m^2}$
- R_1 Thermischer Widerstand zwischen der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht und der Temperatur Θ_1 der Raumseite $i = 1$, in $\frac{m^2 K}{W}$
- R_2 Thermischer Widerstand zwischen der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht und der Temperatur Θ_2 Raumseite $i = 2$, in $\frac{m^2 K}{W}$
- R_t Widerstand zwischen der Vorlauftemperatur Θ_v und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht $\bar{\Theta}_c$, in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$;
- Θ_1 Temperatur der Raumseite $i = 1$, in $^{\circ}C$
- Θ_2 Temperatur der Raumseite $i = 2$, in $^{\circ}C$

Der Widerstand R_t zwischen der Vorlauftemperatur Θ_v und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht $\bar{\Theta}_c$ ist dabei:

$$R_t = \frac{1}{\dot{m}_{H,sp} \cdot c \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{\left(R_w + R_r + R_x + \frac{1}{U_1 + U_2}\right) \cdot \dot{m}_{H,sp} \cdot c}\right)} \right]} - \frac{1}{U_1 + U_2} \quad (24)$$

- $\dot{m}_{H,sp}$ Spezifischer Auslegungs-Heiz- oder -Kühlmittelmassenstrom (bezogen auf die mit Rohren abgedeckte Fläche) (je m^2 Bauteilfläche), in $\frac{kg}{s}$;
- c spezifische Wärmekapazität des Heiz- oder Kühlmittels, in $\frac{J}{kg \cdot K}$
- U_1 Wärmeübergangskoeffizient zwischen der wärmeleitenden Schicht und der Raumseite $i = 1$ (einschließlich dem Wärmeübergangskoeffizienten t)
- U_2 Wärmeübergangskoeffizient zwischen der wärmeleitenden Schicht und der Raumseite $i = 2$ (einschließlich dem Wärmeübergangskoeffizienten t)
- R_w Widerstand zwischen der Flüssigkeit und der Rohrwand $\left(\frac{1}{h_w}\right)$, in $\frac{m^2 K}{W}$;
- R_r Widerstand der Rohrwand, in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$;
- R_x Widerstand zwischen der Temperatur der Rohraußenseite und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht, in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$;

Mit:

$$R_w = \frac{W^{0.13}}{8.0 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{d_a - 2 \cdot s_r}{\dot{m}_{H,sp} \cdot l} \right)^{0.87} \quad (25)$$

W Rohrabstand, in m

d_a Außendurchmesser des Rohrs, in m

s_r Dicke der Rohrwand, in m

l Länge des Rohrkreislaufs (je m² Bauteilfläche), in m

$$R_r = \frac{W \cdot \ln \left(\frac{d_a}{d_a - 2 \cdot s_r} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \quad (26)$$

λ_r Widerstand der Rohrwand, in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$;

$$R_x = \frac{W \cdot \ln \left(\frac{W}{\pi \cdot d_a} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_b} \quad (27)$$

λ_b Wärmeleitfähigkeit der Konstruktion (Beton), in $\frac{W}{m \cdot K}$

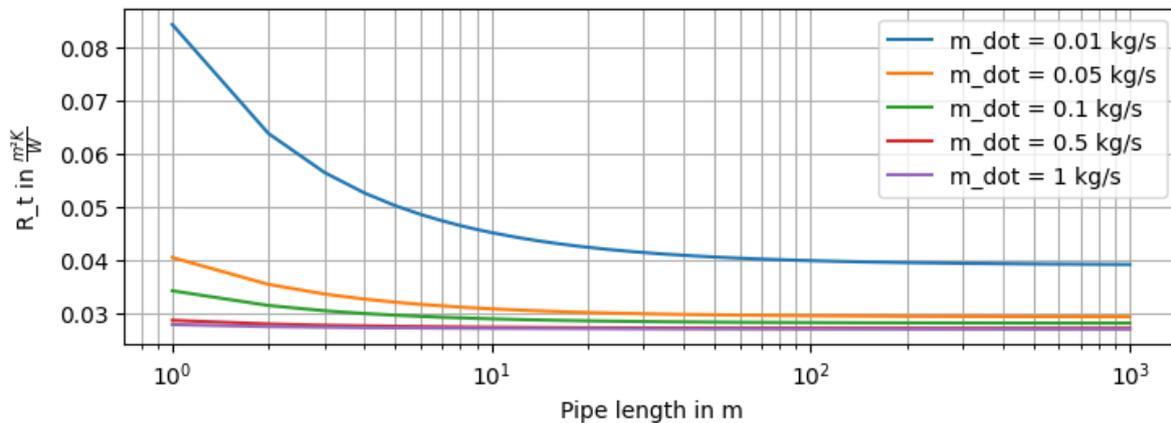
In der Norm ist nicht beschrieben, ob sich die Rohrlänge auf das gesamte Bauteil oder eine Referenzfläche bezieht. Wie in Abbildung 33 dargestellt, sinkt der Widerstand mit einer höheren Rohrlänge und einem höheren Heizmittel-Massenstrom, was jedoch nur unter der Annahme korrekt ist, dass die höhere Rohrlänge innerhalb der gleichen Bauteilfläche installiert wird. Daher muss die Rohrlänge und der Heizmittel-Massenstrom auf eine Referenzfläche bezogen sein, hier wird eine Referenzfläche von einem Quadratmeter angenommen.

Damit ist die Länge des Rohrkreislaufs l :

$$l = \frac{1}{W} \quad (28)$$

$$\dot{m}_{H,sp} = \frac{\dot{m}_{ges}}{A_{ref}} \quad (29)$$

Resistance between the inlet temperature and the average temperature of the heat-conducting layer as a function of the pipe length



Resistance between the inlet temperature and the average temperature of the heat-conducting layer as a function of the mass flow rate

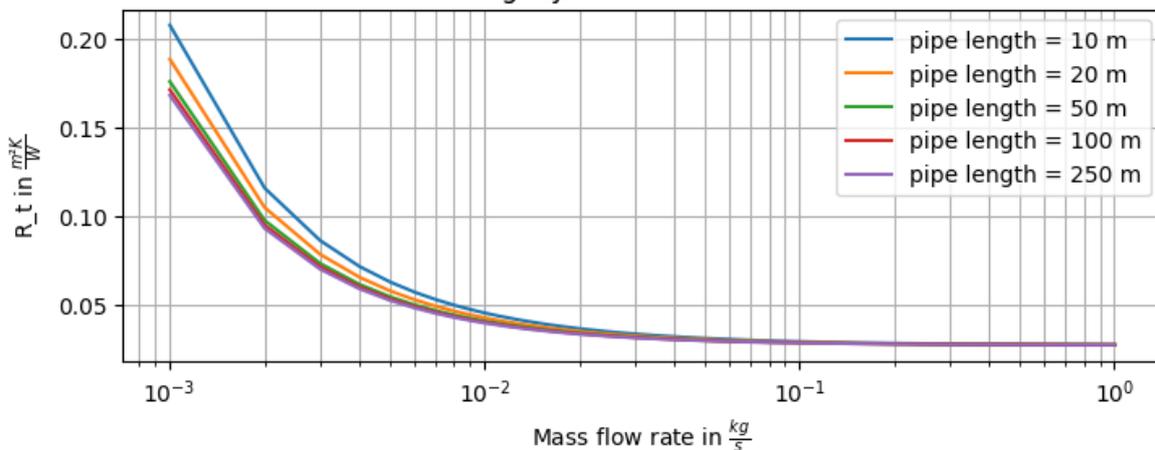


Abbildung 33: Widerstand R_t zwischen der Eintrittstemperatur und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht in Abhängigkeit der Rohrlänge und des Heizmittel-Massenstroms für die Variante Neubau, oberste Geschossdecke in Stahlbeton mit den Parametern in Tabelle 10.

Der Widerstand sinkt mit einer höheren Rohrlänge, was jedoch nur unter der Annahme korrekt ist, dass die höhere Rohrlänge innerhalb der gleichen Bauteilfläche installiert wird. Ein höherer Massenstrom bewirkt ebenfalls eine Reduktion des Widerstands, wobei sich dieser ebenfalls auf die gleiche Referenzfläche beziehen muss.

5.1.2.1. Beispiel oberste Geschossdecke Neubau

Im Folgenden ist die Berechnung des f_{FH} am Beispiel der Variante des Neubaus für die oberste Geschossdecke in Stahlbeton mit den Parametern in Tabelle 10 dargestellt.

Der Massenstrom \dot{m}_{ges} und die Rohrlänge l_{ges} beziehen sich auf die gesamte Bauteilfläche, weshalb diese in der Berechnung skaliert werden.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
\dot{m}_{ges}	$0.02512 \frac{kg}{s}$	λ_b	$2.3 \frac{W}{m \cdot K}$
A_{ref}	85.76 m ²	λ_r	$0.35 \frac{W}{m \cdot K}$
θ_v	32.81 °C	W	0.2 m
θ_1	-0.71 °C	c	$4190 \frac{J}{kg \cdot K}$
θ_2	21.78 °C	U_1	$0.14325 \frac{W}{m \cdot K}$
d_a	0.02 m	U_2	$4.5825 \frac{W}{m \cdot K}$
s_r	0.0023 m	A	85.76 m ²
l_{ges}	160.57		

Tabelle 10: Parameter für die Variante Neubau oberste Geschossdecke

R_w	$R_w = \frac{W^{0.13}}{8.0 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{d_a - 2 \cdot s_r}{\dot{m}_{H,sp} \cdot l} \right)^{0.87} = \frac{0.2 \text{ m}^{0.13}}{8.0 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{0.02 \text{ m} - 2 \cdot 0.0023 \text{ m}}{\frac{0.02512 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{85.76 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \cdot 5 \text{ m}} \right)^{0.87} = 0.249962 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
R_r	$R_r = \frac{W \cdot \ln\left(\frac{d_a}{d_a - 2 \cdot s_r}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} = \frac{0.2 \text{ m} \cdot \ln\left(\frac{0.02 \text{ m}}{0.02 \text{ m} - 2 \cdot 0.0023 \text{ m}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.35 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 0.02377 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
R_x	$R_x = \frac{W \cdot \ln\left(\frac{W}{\pi \cdot d_a}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_b} = \frac{0.2 \text{ m} \cdot \ln\left(\frac{0.2 \text{ m}}{\pi \cdot 0.02 \text{ m}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 2.3 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 0.01602 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
R_t	$R_t = \frac{1}{\dot{m}_{H,sp} \cdot c \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{(R_w + R_r + R_x + \frac{1}{U_1 + U_2}) \cdot \dot{m}_{H,sp} \cdot c}\right)\right]} - \frac{1}{U_1 + U_2} = 0.8029 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
$\dot{q}_1 = \dot{q}_{tabs}$	$\dot{q}_1 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} \cdot [R_t \cdot (\theta_2 - \theta_1) + R_2 \cdot (\theta_v - \theta_1)] = 3.4685 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
\dot{q}_2	$\dot{q}_2 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} \cdot [R_t \cdot (\theta_1 - \theta_2) + R_1 \cdot (\theta_v - \theta_2)] = 8.1232 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
\dot{q}_{ref}	$\dot{q}_{ref} = L_e \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0.14 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot (21.78 \text{ }^\circ\text{C} - -0.71 \text{ }^\circ\text{C}) = 3.1171 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
f_{FH}^*	$f_{FH} = \frac{\dot{q}_{tabs}}{\dot{q}_{ref}} = \frac{4.5869 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{3.1240 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 1.1127$

Tabelle 11: Berechnung des f_{FH} mit dem Widerstand R_t zwischen der Eintrittstemperatur und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 für die Variante Neubau oberste Geschossdecke

5.1.2.2. Limitationen der Berechnung nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04

Mit der Berechnung nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 können die äquivalenten Widerstände und der f_{FH} nur näherungsweise berechnet werden.

Zum einen verweist die Norm darauf, dass "Einige der äquivalenten Widerstände [...] jedoch durch die Finite-Elemente- oder Finite-Differenzen-Methode bestimmt werden" können. Zum anderen beziehen sich die berechneten Wärmeströme \dot{q}_1 und \dot{q}_2 auf die Vorlauftemperatur in dem jeweiligen Rohrabschnitt, so dass die Berechnung des f_{FH} mittels der Formeln aus DIN EN ISO 11855-2:2022-04 näherungsweise nur für sehr hohe Heizmittel-Massenströme, eine geringe Referenzfläche sowie geringe Wärmeströme \dot{q}_1 und \dot{q}_2 für das gesamte Bauteil verwendet werden kann.

Eine Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse für den Widerstand R_t nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 und der Berechnung aus der Strömungssimulation ist in

Tabelle 12 für die Variante Neubau oberste Geschossdecke für die Vorlauftemperatur $\Theta_v = 32.81 \text{ °C}$ und einem Rohrabstand $W = 15 \text{ cm}$ dargestellt. Zu erkennen ist, dass der Widerstand R_t nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 für geringe Heizmittel-Massenströme immer weiter von den Berechnungsergebnissen mit openFOAM abweicht. Auch liegt die Rücklauftemperatur Θ_{rt} bei geringen Massenströmen rechnerisch unterhalb der mittleren Temperatur der Wärmeleitenden Schicht $\bar{\Theta}_c$. Grund dafür ist die Annahme der konstanten Vorlauftemperatur.

$\dot{m}_{H,sp}$	Parameter	DIN EN ISO 11855-2	openFOAM
$10 \frac{kg}{s}$	R_t	$0.02689 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
	$\bar{\Theta}_c$	38.78 °C	°C
	Θ_{rt}	41.00 °C	°C
$1 \frac{kg}{s}$	R_t	$0.02699 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$0.03485 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
	$\bar{\Theta}_c$	38.78 °C	37.97 °C
	Θ_{rt}	40.51 °C	38.89 °C
$0.1 \frac{kg}{s}$	R_t	$0.02813 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$0.06798 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
	$\bar{\Theta}_c$	38.69 °C	36.48 °C
	Θ_{rt}	36.11 °C	37.92 °C
$0.05 \frac{kg}{s}$	R_t	$0.02929 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$0.09708 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
	$\bar{\Theta}_c$	38.61 °C	35.29 °C
	Θ_{rt}	31.26 °C	36.60 °C
$0.03 \frac{kg}{s}$	R_t	$0.02939 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
	$\bar{\Theta}_c$	38.60 °C	°C
	Θ_{rt}	31.26 °C	°C

Tabelle 12: Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse für den Widerstand R_t nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 und der Berechnung aus der Strömungssimulation mit openFOAM.

Der Widerstand R_t nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 weicht für geringe Heizmittel-Massenströme immer weiter von den Berechnungsergebnissen mit openFOAM ab. Grund dafür ist die Annahme der konstanten Vorlauftemperatur.

5.1.3. Auswertung des Korrekturfaktor Flächenheizung aus einer Gebäudesimulation

Aus einer Gebäudesimulation kann der Wärmestrom über die Außenseite der aktivierten Bauteile ebenfalls ausgewertet werden. Mit den angrenzenden Temperaturen können dann der Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} und der f_{FH} berechnet werden.

5.1.3.1. Beispiel oberste Geschossdecke Neubau

Für die durchgeführten Simulationen der Referenzgebäude mittels IDA ICE wurde monatlich gemittelten Wärmeströme \dot{q}_{tabs} über die Außenseite der obersten Geschossdecke für das Referenzgebäude EFH mittelschwer mit Deckenaktivierung und FBH im EG ausgewertet und in Abbildung 34 oben dargestellt (orangene Balken). Im Vergleich dazu ist der Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} über das nicht aktivierte Bauteil dargestellt (grüne Balken). Aus diesen beiden Wärmeströmen lassen sich die f_{FH} nach Gleichung 12 in der ÖNORM H 5056-1 für die jeweiligen Monate berechnen, welche in Abbildung 35 dargestellt sind.

Zunächst ist zu erkennen, dass der Wärmestrom \dot{q}_{tabs} in der Heizperiode jeweils höher als der Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} ist, womit sich erwartungsgemäß auch jeweils ein f_{FH} größer 1 ergibt. Die Heizperiode wird dabei zwischen November und März angenommen, da hier wie in Abbildung 34 unten eine Heizleistung des Bauteils benötigt wird. Im April und Oktober kann ein Übergangsbereich beobachtet werden, in dem nur in einem geringen Zeitraum eine geringe Heizleistung benötigt wird. Im Übergangsbereich und in der heizfreien Periode ergeben sich f_{FH} , welche kleiner als 1 sind. Es wird vermutet, dass sich hier unter anderem aufgrund von solarer Einstrahlung und der thermischen Speichermasse die Wärmeströme nicht vereinfacht nach Norm berechnen lassen. Daher muss die Anwendbarkeit des hier vorgeschlagenen Verfahrens zur Berechnung des f_{FH} auf die Heizperiode beschränkt werden, in welcher der f_{FH} größer 1 ist.

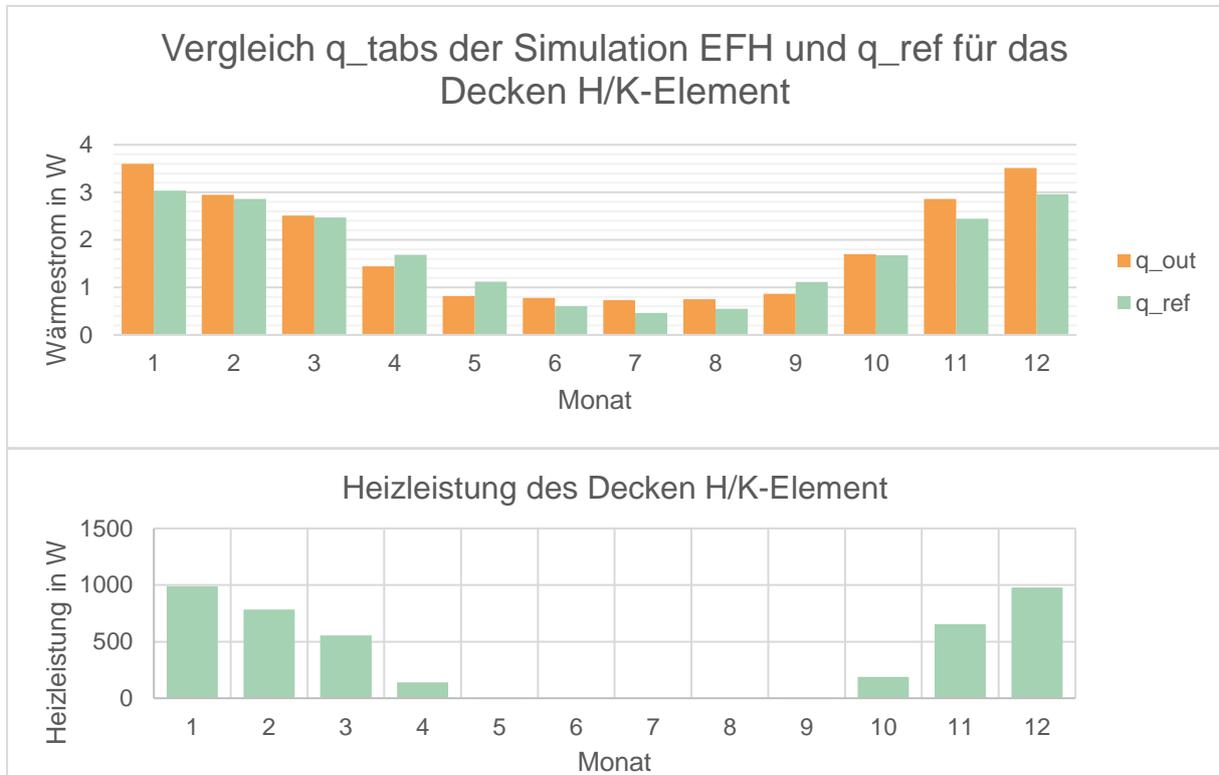


Abbildung 34: Oben: Vergleich des simulierten, monatlich gemittelten Wärmestroms \dot{q}_{tabs} mit dem Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} . Unten: Heizleistung des Bauteils, ermittelt aus dem Massenstrom und den Vor-/Rücklauftemperaturen.

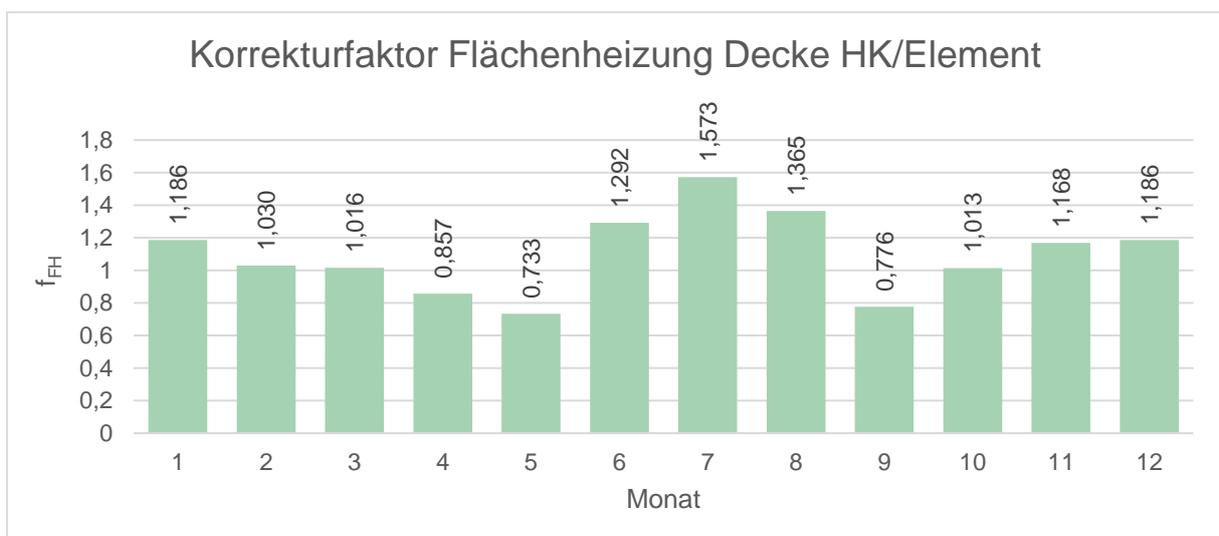


Abbildung 35: Korrekturfaktor Flächenheizung Decke H/K-Element für die Variante Neubau oberste Geschossdecke aus den Ergebnissen der IDA-ICE Simulation.

Eine weitere Einschränkung ergibt sich für erdberührte Bauteile. Für die durchgeführten Simulationen der Referenzgebäude mittels IDA ICE wurden die monatlich gemittelten Wärmeströme \dot{q}_{tabs} über die Außenseite der Bodenplatte für das Referenzgebäude EFH Neubau, Mittelschwer ausgewertet. Der Referenz-Wärmestrom \dot{q}_{ref} wurde hierfür nach EN ISO 13370 mit den in Tabelle 13 dargestellten Parametern ausgewertet. In Abbildung 36 sind hierfür die monatlich gemittelten Wärmeströme \dot{q}_{tabs} über die Außenseite der Bodenplatte für das Referenzgebäude ausgewertet dargestellt (orangene Balken). Im Vergleich dazu ist der Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} über das nicht aktivierte Bauteil dargestellt (grüne Balken). Die f_{FH} für die jeweiligen Monate sind in der Abbildung unten dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Wärmeströme in der Simulation \dot{q}_{out} einen anderen Verlauf haben als die nach EN ISO 13370 berechneten. Auch ist der Betrag der Wärmeströme in der Simulation wesentlich geringer als in der nach EN ISO 13370. Der daraus resultierende f_{FH} ist damit in der Heizperiode kleiner als 1, was zunächst nicht Plausibel erscheint. Hier ist weiterer Forschungsbedarf notwendig, um die Berechnung des f_{FH} auch für erdberührte Bauteile zu ermöglichen.

5.1.3.2. *Limitationen der Berechnung mittels Gebäudesimulation*

Die Berechnung der Korrekturfaktoren Flächenheizung mittels einer Gebäudesimulation ist vordergründig durch den hohen Aufwand und das benötigte Expertenwissen für das Tool und numerische Lösungsverfahren limitiert. Auch sind die Simulationsergebnisse aufgrund der in der Simulation gewählten Randbedingungen nicht in jedem Fall für die Auswertung geeignet.

Eine weitere Limitierung ist meist das verwendete Modell für das thermisch aktivierte Bauteil. Meist wird in einer Gebäudesimulation für die Wärmeleitung ein eindimensionales Modell verwendet, wobei die thermische Aktivierung des Bauteils durch eine Wärmequelle in der aktivierten Schicht modelliert wird. Der Wärmestrom der Quelle wiederum wird über einen thermischen Widerstand zwischen der Vorlauftemperatur und der Wärmeleitenden Schicht berechnet.

In der verwendeten Software ICA ICE z.B. wird der Wärmestrom wiederum über den thermischen Widerstand HTC zwischen der Vorlauftemperatur und der Wärmeleitenden Schicht berechnet:

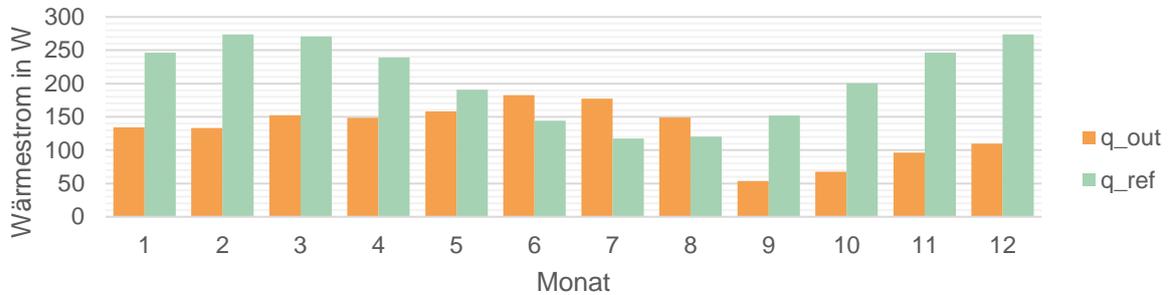
$$\frac{1}{HTC} = R_w + R_r + R_x \quad (30)$$

Die Berechnung dieses Widerstands ist jedoch genau wie bei der Berechnung des Widerstands R_t nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 mit einem gewissen Fehler behaftet.

Parameter	Wert	Beschreibung
$\bar{\theta}_i$	23,49	Jahresmittelwert Innentemperatur in °C
$\bar{\theta}_e$	9,51	Jahresmittelwert Außentemperatur in °C
$\hat{\theta}_e$	9,18	Amplitude der Jahresschwingung Außen in K
τ	1	Nummer des Monats mit minimaler Außentemperatur
A	85,76	Fläche der Bodenplatte in m ²
P	37,04	Perimeterlänge (Umfang der Bodenplatte) in m
w	0,4965	Dicke der Außenwand in m
λ	3	Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs in W/mK
R_{se}	0	Wärmeübergangswiderstand außen in m ² K/W
R_{si}	0,17	Wärmeübergangswiderstand innen in m ² K/W
R_f	5,09	Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte in m ² K/W
c	1111	Erdreich spezifische Wärmekapazität in J/kgK
ρ	1800	Erdreich Dichte in kg/m ³

Tabelle 13: Parameter für die Berechnung des Wärmestroms über die Außenseite der Bodenplatte Variante Neubau oberste Geschossdecke nach EN ISO 13370.

Vergleich q_{ref} für Boden HK/Element



Korrekturfaktor Flächenheizung Boden H/K-Element

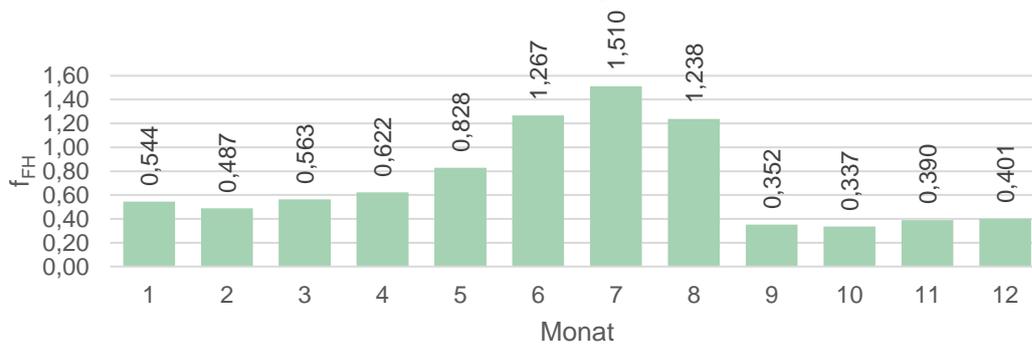


Abbildung 36: Oben: Vergleich des simulierten, monatlich gemittelten Wärmestroms \dot{q}_{tabs} mit dem Referenzwärmestrom \dot{q}_{ref} . Unten: Korrekturfaktor Flächenheizung Boden H/K-Element für die Variante Neubau aus den Ergebnissen der IDA-ICE Simulation.

5.1.4. Berechnung mittels detaillierter stationärer Bauteilsimulation

Der Wärmestrom über die Außenseite des aktivierten Bauteils \dot{q}_{tabs} kann mittels eines Wärmedurchgangskoeffizient k_{out} zwischen der aktivierten Schicht und der Außenseite des Bauteils berechnet werden:

$$\dot{q}_{tabs} = k_{out} \cdot (\theta_{VL} - \theta_{out}) \quad (31)$$

k_{out} *Wärmedurchgangskoeffizient zwischen der aktivierten Schicht und der Umgebung*
in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

Dieser Wärmedurchgangskoeffizient kann aus einer detaillierten Bauteilsimulation einfach ausgewertet werden, wenn der Wärmestrom über die Außenseite sowie die Temperaturen des Vorlaufs und der Außenseite bekannt sind (siehe Abbildung 37):

$$k_{out} = \frac{\dot{q}_{tabs}}{\theta_{VL} - \theta_{out}} \quad (32)$$

Eine Validierung in Form eines Vergleichs mit den Ergebnissen des vorgestellten Verfahrens und den Werten des Validierungsbeispiels in der DIN EN ISO 11855-2:2022-04 ist im Anhang zu finden.

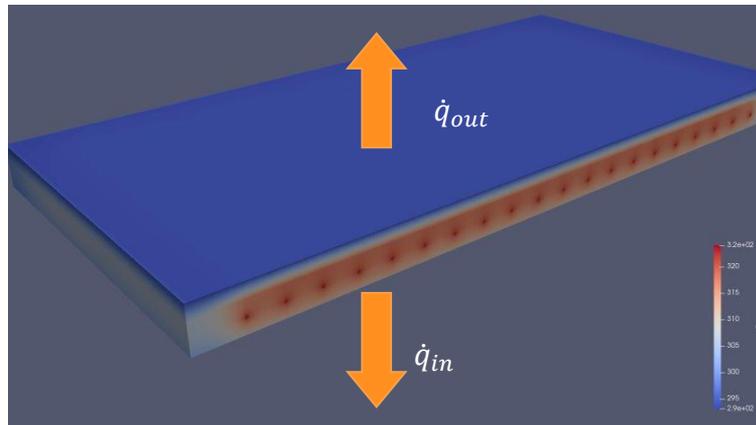


Abbildung 37: Auswertung der Wärmeströme über die Innen- und Außenseite eines aktivierten Bauteils aus seiner detaillierten Bauteilsimulation zur Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten

5.1.4.1. Beispiel oberste Geschossdecke Neubau

Im Folgenden ist die Berechnung des f_{FH} am Beispiel der Variante des Neubaus für die oberste Geschossdecke in Stahlbeton mit den Parametern in Tabelle 14 dargestellt. Die Randbedingungen entsprechen dabei den Randbedingungen der durchgeführten IDA ICE Simulation im Jänner, wobei für die Referenzfläche eine Fläche mit 16 m^2 ($4 \times 4 \text{ m}$) gewählt wurde, da die oberste Geschossfläche mit einer Fläche von 85.76 m^2 in Realität ebenfalls mittels mehrerer Kreise ausgeführt werden würde. Die Rohrlänge beträgt in der kleineren Fläche 119 m , was im Gegensatz zu einer Rohrlänge von 647 m in der gesamten Fläche nicht die Richtlinie von maximal 100 m Rohrlänge wesentlich überschreitet. Der Massenstrom wurde dabei entsprechend auf $0.005597 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ skaliert.

Parameter	Wert	Parameter	Wert
\dot{m}_{ges}	$0.005 \frac{kg}{s}$	λ_b	$2.3 \frac{W}{m \cdot K}$
θ_v	32.81 °C	λ_r	$0.35 \frac{W}{m \cdot K}$
θ_1	-0.71 °C	W	0.15 m
θ_2	21.78 °C	c	$4190 \frac{J}{kg \cdot K}$
d_a	0.02 m	U_1	$0.14325 \frac{W}{m \cdot K}$
s_r	0.0023 m	U_2	$4.5825 \frac{W}{m \cdot K}$
l	119.14 m	A_{ref}	16 m ²
R_{si}	$0.17 \frac{m^2 K}{W}$	R_{se}	$0.04 \frac{m^2 K}{W}$
Parameter	Wert	Beschreibung	
d_e	0.1 m	Abstand der Verrohrung vom Rand des Bauteils in m	
R_b	0,05	Biegeradius in m	
R_{si}	$0.17 \frac{m^2 K}{W}$	Wärmeübergangswiderstand innen in $\frac{m^2 K}{W}$	
R_{se}	$0.04 \frac{m^2 K}{W}$	Wärmeübergangswiderstand außen in $\frac{m^2 K}{W}$	
d_0	0,1 m	Überdeckung (Tiefe der aktivierten Schicht) in m	

Tabelle 14: Simulationsparameter für die detaillierte Bauteilsimulation der Variante des Neubaus für die oberste Geschossdecke in Stahlbeton

Für das Bauteil wurde zunächst eine CAD-Geometrie inklusive der Verrohrung im Bauteil generiert. Die Verrohrung im Bauteil ist in einem Doppelmäander verlegt, wobei der Rohrabstand W 0,20 m beträgt, der Abstand der Verrohrung vom Bauteilrand d_e beträgt 0,1 m, der Biegeradius 0,05 m und die Überdeckung 0,1 m. Die Geometrie wurde anschließend vernetzt und in openFOAM mit den entsprechenden Randbedingungen simuliert.

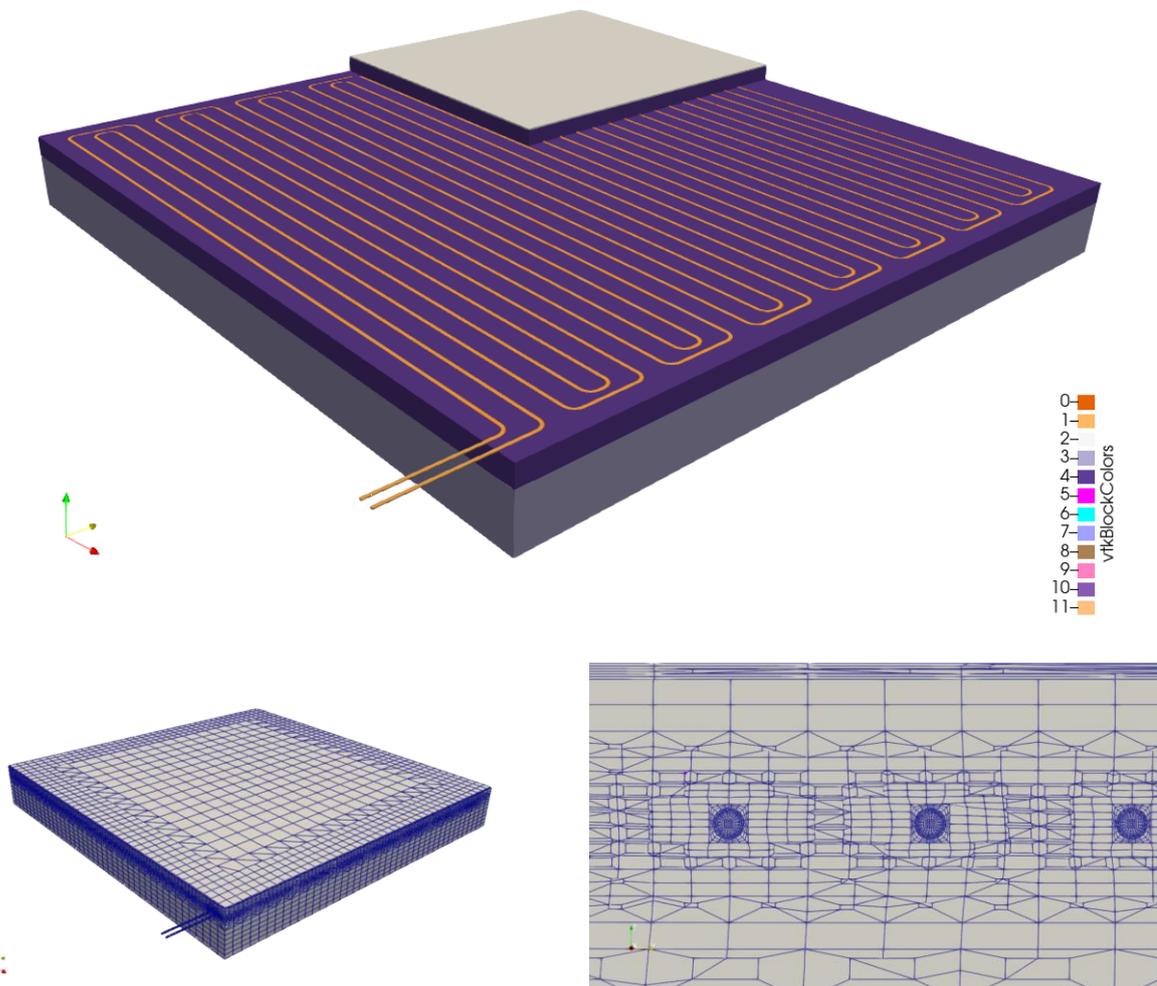


Abbildung 38: Geometrie und Rechenetz der Variante oberste Geschosdecke Neubau Stahlbeton

Die Ergebnisse der Simulation sind in Tabelle 15 sowie in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellt. Aus der Simulation lässt sich ein Wärmestrom von 57.824 W über die Außenseite des Bauteils auswerten. Der Wärmedurchgangskoeffizient nach außen berechnet sich damit zu $0.1078 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ und der f_{FH} zu 1.1365. Dieser f_{FH} passt sehr gut mit den Ergebnissen der IDA ICE Simulation zusammen, in welcher der f_{FH} 1.1585 beträgt.

R_t	$R_t = \frac{1}{\frac{\dot{q}_t}{(\theta_v - \theta_c) \cdot a}} = \frac{1}{\frac{237.33 \text{ W}}{(32.81 \text{ °C} - 24.45 \text{ °C}) \cdot 16 \text{ m}^2}} = \mathbf{0.5635 \frac{m^2 \cdot K}{W}}$
k_{out}	$k_{out} = \frac{\dot{q}_{tabs}}{\theta_{VL} - \theta_{out}} = \frac{\frac{57.83 \text{ W}}{16 \text{ m}^2}}{32.81 \text{ °C} - -0.71 \text{ °C}} = \mathbf{0.1078 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$
k_{in}	$k_{in} = \frac{\dot{q}_2}{\theta_{VL} - \theta_{out}} = \frac{\frac{172.36 \text{ W}}{16 \text{ m}^2}}{32.81 \text{ °C} - 22 \text{ °C}} = \mathbf{0.9965 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$
\dot{q}_{tabs}	$\begin{aligned} \dot{q}_{ref} &= k_{out} \cdot (\theta_v - \theta_1) = 0.1078 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (32.81 \text{ °C} - -0.71 \text{ °C}) \\ &= \mathbf{3.6134 \frac{W}{m^2}} \end{aligned}$
\dot{q}_{ref}	$\dot{q}_{ref} = L_e \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0.14 \frac{W}{m \cdot K} \cdot (22 \text{ °C} - -0.71 \text{ °C}) = \mathbf{3.1794 \frac{W}{m^2}}$
f_{FH}^*	$f_{FH} = \frac{\dot{q}_{tabs}}{\dot{q}_{ref}} = \frac{3.6134 \frac{W}{m^2}}{3.1794 \frac{W}{m^2}} = \mathbf{1.1365}$

Tabelle 15: Ergebnisse der detaillierten Bauteilsimulation für die Variante des Neubaus für die oberste Geschosdecke in Stahlbeton

In den Abbildungen ist außerdem zu erkennen, dass durch den geringen Massenstrom keine gleichmäßige Erwärmung des Bauteils erfolgt und auch die Wärmeströme über die Bauteilober- und Unterseite stark von der Verrohrung und dem Massenstrom abhängen. Dieses komplexe Temperaturfeld in Abhängigkeit der Verrohrung und des Massenstromes lässt sich mittels einer numerischen Simulation berechnen, was eine hohe Genauigkeit der Berechnungsergebnisse der dargestellten Methode bedeutet.

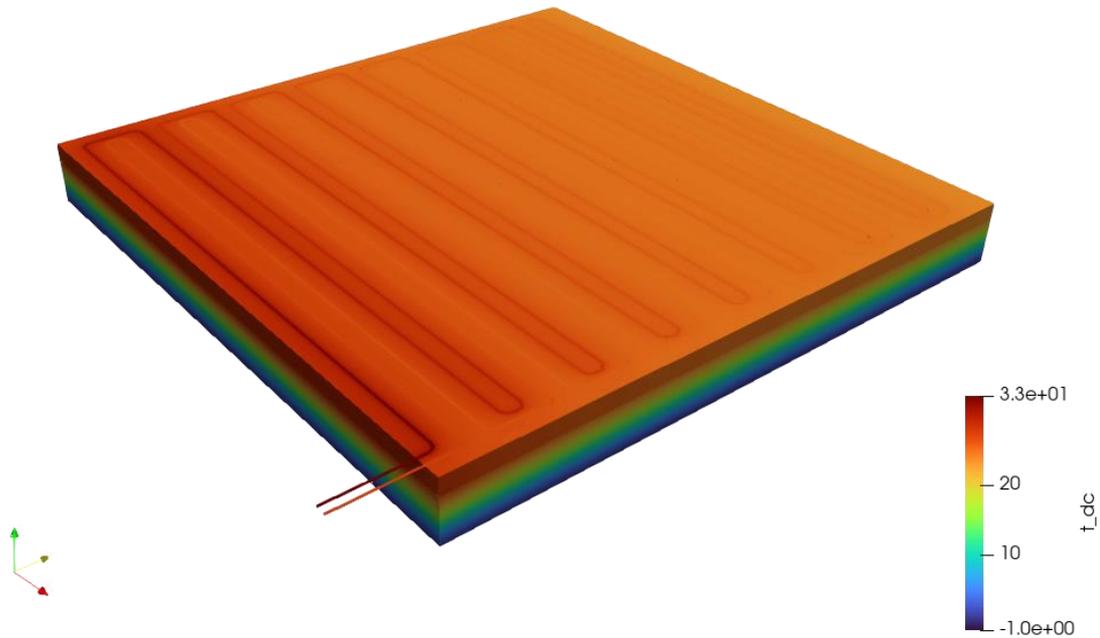


Abbildung 39: Temperaturverteilung in der wärmeleitenden Schicht in °C.

Es ist erkennbar, dass das Bauteil aufgrund des geringen Heizmittel-Massenstroms nicht gleichmäßig erwärmt wird, weshalb auch der Widerstand R_t zwischen der Vorlauftemperatur θ_v und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht $\bar{\theta}_c$ wesentlich höher ausfällt als in der Berechnung nach DIN.

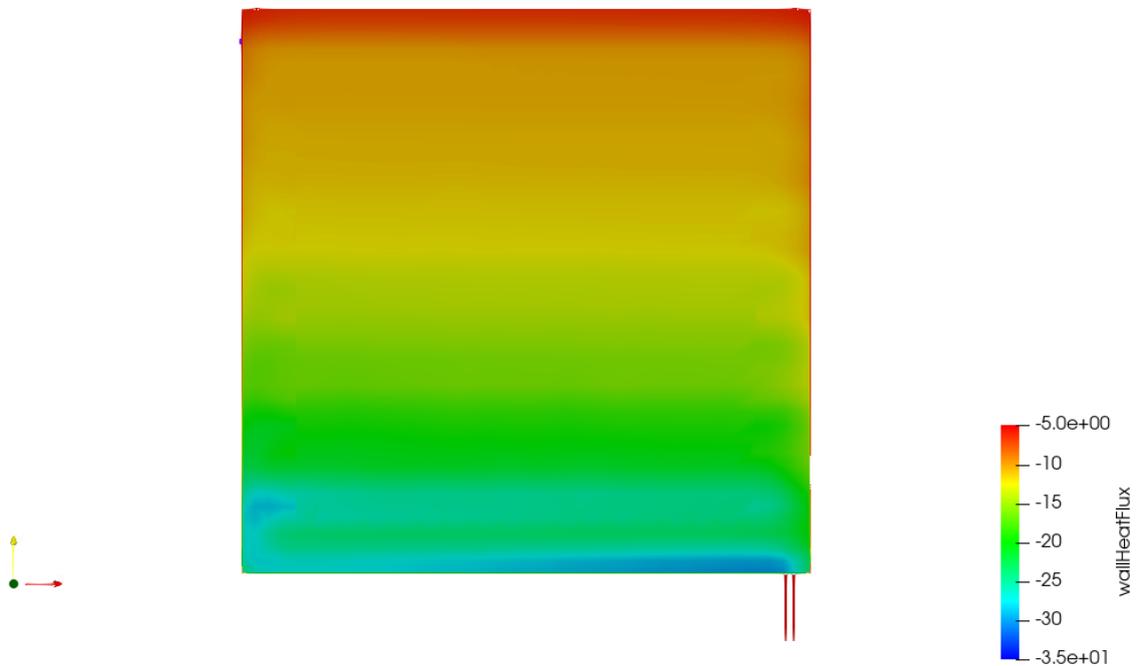


Abbildung 40: Wärmestromdichte auf der Innenseite des Bauteils.

Es kann eine ungleichmäßige Verteilung der Wärmestromdichte über das Bauteil beobachtet werden.

5.1.4.2. *Limitationen der Berechnung mittels Bauteilsimulation*

Die Berechnung des Korrekturfaktor Flächenheizung mittels einer stationären Bauteilsimulation ist aufgrund des stationären Ansatzes dahingehend limitiert, dass dynamische Effekte sowie Steuerungs- und Regelungsmechanismen nicht berücksichtigt werden können. Dies ist vor allem auch im Vergleich der Ergebnisse mit der Gebäudesimulation erkennbar, wo in der Übergangsperiode und im Sommer keine übereinstimmenden Ergebnisse beobachtet werden können.

Eine weitere Limitation ist der vergleichsweise hohe Berechnungsaufwand, welcher jedoch durch die in Kapitel 5.1.5 eingeführte Bauteildatenbank wesentlich reduziert werden kann.

5.1.5. Bauteildatenbank

Für die genaue Berechnung des Wärmestroms \dot{q}_{tabs} über die Außenseite eines aktivierten Bauteils ist eine Gebäudesimulation oder eine detaillierte Bauteilsimulation notwendig, welche meist jedoch sehr aufwändig und nur von geschultem Personal durchführbar ist.

Um dies zu vereinfachen wurde eine Muster-Tabelle erstellt, in welcher die Wärmedurchgangskoeffizienten k_{in} und k_{out} für unterschiedliche Bauteilaufbauten und Randbedingungen enthalten sind. Die Wärmedurchgangskoeffizienten basieren dabei auf einer automatisiert durchgeführten detaillierten Bauteilsimulation wie oben dargestellt.

Dafür wurde ein Berechnungstool erstellt, welches mit den in Tabelle 14 dargestellten Parametern automatisiert ein Simulationsmodell erstellt, die Simulation durchführt und auswertet. Zusätzlich zu k_{in} und k_{out} sind dabei weitere für die Auslegung hilfreiche Daten wie der Druckverlust Δp , absolute Rohrlänge, Norm-Ergebnisse R_t und Rücklauftemperaturen Θ_{rt} enthalten. Ein Ausschnitt dieser Tabelle ist in Tabelle 16 für die Variante des Neubaus, oberste Geschossdecke in Stahlbeton mit der Parametrisierung in Tabelle 14 dargestellt. Die Ergebnisse werden in einer Datenbank gespeichert und können z.B. in Form einer Excel-Tabelle exportiert werden, um eine einfache Handhabung zu gewährleisten. Die Excel-Tabelle erhält zusätzlich ein Arbeitsblatt, welches eine einfache Berechnung des f_{FH} ermöglicht, indem die ID der Variante, die Außentemperatur, Referenzfläche und die Heizlast eingegeben werden (siehe Abbildung 41).

Vorschlag Anpassung Flächenkorrekturfaktor					
ID Variante:	39				
Normaussentemperatur:	0	°C			
Raumtemperatur:	22	°C			
Aktiviere Fläche:	30	m ²			
Heizlast:	300	W			
Skalierter Heizmittel-Massenstrom:	0,009375	kg/s			
Vorlauftemperatur:	35,06	°C			
Rücklauftemperatur:	24,84	°C			
q_dot_ref:	3,05	W/m ²			
q_dot_tabs:	3,38	W/m ²			
Flächenkorrekturfaktor Vorschlag:		1,11			
Variante:					
ID	k_in in W/m ² K	k_out in W/m ² K	U-Wert Bauteil in W/m ² K	Referenzfläche in m ²	m_dot in kg/s
39	0,76573668	0,096381635	0,139	16,000	0,0050
Eingabe					

Abbildung 41: Arbeitsblatt zur Berechnung des f_{FH}

Erforderlich ist die Eingabe der ID der Variante, die Außentemperatur, Referenzfläche und die abzudeckende Heizlast.



I D	W	d_e	A_{ref}	s_{1A}	l	m	Θ_v	Θ_{RT}	Θ_1	Θ_2	R_{si}	R_{se}	R_T	$R_{T,norm}$	k_{in}	k_{out}	Δp	\dot{q}_{out}	\dot{q}_{in}	$\bar{\Theta}_c$	VTK Link	Residual Link
0	0,1 5	0,1	16	399, 5	104,6 5	0,000 5	60	30,6 3	22	-5	0,1 3	0,04 0	2,22 9	7,504	0,30 7	0,06 4	314	- 67,00	- 186,63	24,2 2	VTK Link	Residual Link
1	0,2	0,1	16	399, 5	74,45	0,005	32,8 1	25,6 1	22	-	0,1 7	0,04 0	0,56 3	0,752	0,99 7	0,10 8	223 2	- 57,82	- 172,36	24,4 5	VTK Link	Residual Link
2	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	30	23,0 1	22	-5	0,1 7	0,04 0	2,12 1	3,906	0,04 4	0,11 0	406	- 61,66	5,69	21,9 3	VTK Link	Residual Link
3	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	30	22,8 0	22	0	0,1 7	0,04 0	3,57 4	3,906	0,15 4	0,10 4	406	- 49,75	19,76	21,7 3	VTK Link	Residual Link
4	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	30	22,7 9	22	5	0,1 7	0,04 0	4,63 2	3,906	0,13 7	0,09 6	406	- 38,38	17,56	21,7 6	VTK Link	Residual Link
5	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	35	23,2 5	22	-5	0,1 7	0,04 0	4,33 0	3,906	0,11 4	0,09 5	406	- 61,10	23,68	21,6 8	VTK Link	Residual Link
6	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	35	23,2 6	22	0	0,1 7	0,04 0	5,18 2	3,906	0,10 2	0,08 9	406	- 49,74	21,18	21,7 2	VTK Link	Residual Link
7	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	35	23,3 8	22	5	0,1 7	0,04 0	5,65 2	3,906	0,06 8	0,08 0	406	- 38,53	14,13	21,8 2	VTK Link	Residual Link
8	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	40	23,8 7	22	0	0,1 7	0,04 0	5,43 5	3,906	0,04 5	0,07 8	406	- 50,03	13,04	21,8 5	VTK Link	Residual Link
9	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	40	24,0 9	22	5	0,1 7	0,04 0	5,57 2	3,906	0,01 6	0,06 9	406	- 38,87	4,67	21,9 7	VTK Link	Residual Link
10	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	60	26,4 9	22	-5	0,1 7	0,04 0	5,18 2	3,906	0,03 1	0,06 0	406	- 62,63	-18,55	22,3 4	VTK Link	Residual Link
11	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	60	26,6 2	22	0	0,1 7	0,04 0	5,42 1	3,906	0,03 9	0,05 3	406	- 51,36	-23,53	22,4 1	VTK Link	Residual Link
12	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,001	60	26,8 3	22	5	0,1 7	0,04 0	5,49 2	3,906	0,05 3	0,04 6	406	- 40,21	-32,30	22,5 4	VTK Link	Residual Link
13	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,005	30	23,0 4	22	-5	0,1 7	0,04 0	0,80 8	0,813	0,48 7	0,11 4	203 1	- 63,94	-62,32	22,9 2	VTK Link	Residual Link
14	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,005	30	23,0 8	22	0	0,1 7	0,04 0	0,84 2	0,813	0,51 9	0,11 0	203 1	- 52,63	-66,42	22,9 8	VTK Link	Residual Link
15	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,005	30	23,1 7	22	5	0,1 7	0,04 0	0,86 1	0,813	0,57 1	0,10 4	203 1	- 41,41	-73,07	23,0 7	VTK Link	Residual Link
16	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,005	35	24,0 1	22	-5	0,1 7	0,04 0	0,88 6	0,813	0,55 1	0,10 3	203 1	- 65,72	-	23,6 9	VTK Link	Residual Link
17	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,005	35	24,1 2	22	0	0,1 7	0,04 0	0,88 2	0,813	0,59 9	0,09 7	203 1	- 54,60	-	23,8 3	VTK Link	Residual Link
18	0,2 5	0,1	16	399, 5	67,78	0,005	35	24,2 1	22	5	0,1 7	0,04 0	0,88 5	0,813	0,63 9	0,09 0	203 1	- 43,43	-	23,9 5	VTK Link	Residual Link
22	0,2	0,1	9	399, 5	44,10	0,005	50	34,0 1	22	-5	0,1 7	0,04 0	0,34 3	0,435	1,65 1	0,09 8	132 6	- 48,49	-	32,4 7	VTK Link	Residual Link



FH Salzburg
Smart Building



ZUKUNFTS
AGENTUR
BAU

24	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,005	45	29,82	22	-5	0,17	0,040	0,410	0,435	1,419	0,099	1326	-	44,47	-	293,66	29,40	VTK Link	Residual Link
25	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,005	40	27,99	22	-5	0,17	0,040	0,410	0,435	1,389	0,104	1326	-	42,20	-	225,05	27,67	VTK Link	Residual Link
26	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,005	35	26,18	22	-5	0,17	0,040	0,412	0,435	1,333	0,111	1326	-	-	-	155,91	25,93	VTK Link	Residual Link
27	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,01	50	35,21	22	-5	0,17	0,040	0,213	0,237	2,202	0,107	2651	-	-	-	53,02	35,94	VTK Link	Residual Link
28	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,01	45	33,45	22	-5	0,17	0,040	0,204	0,237	2,245	0,111	2651	-	-	-	50,05	33,67	VTK Link	Residual Link
29	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,01	40	30,89	22	-5	0,17	0,040	0,203	0,237	2,225	0,115	2651	-	-	-	46,61	31,05	VTK Link	Residual Link
30	0,2	0,1	9	399,5	44,10	0,01	35	28,32	22	-5	0,17	0,040	0,203	0,237	2,188	0,120	2651	-	-	-	43,17	28,42	VTK Link	Residual Link
31	0,15	0,1	4	399,5	24,83	0,001	30	24,69	22	-5	0,17	0,040	0,627	0,872	0,824	0,117	150	-	-	-	16,32	23,49	VTK Link	Residual Link
32	0,2	0,1	16	439,5	74,45	0,005	50	32,17	22	-5	0,17	0,040	0,568	0,755	1,312	0,090	2232	-	-	-	79,35	29,53	VTK Link	Residual Link
33	0,15	0,1	16	399,5	104,65	0,001	40	25,28	22	-5	0,13	0,040	3,610	3,698	0,015	0,086	628	-	-	-	62,05	22,09	VTK Link	
34	0,2	0,1	16	399,5	74,45	0,001	40	24,74	22	-5	0,17	0,040	3,604	3,771	0,002	0,086	446	-	-	-	61,92	22,03	VTK Link	Residual Link
36	0,2	0,1	16	399,5	74,45	0,001	50	27,85	22	-5	0,17	0,040	2,096	3,771	0,258	0,075	446	-	-	-	65,80	23,68	VTK Link	Residual Link
37	0,2	0,1	16	399,5	74,45	0,005	50	31,90	22	-5	0,17	0,040	0,569	0,752	1,101	0,089	2233	-	-	-	78,47	29,03	VTK Link	Residual Link
38	0,15	0,1	16	399,5	104,65	0,001	60	30,86	22	-5	0,13	0,040	1,807	3,698	0,378	0,066	628	-	-	-	68,29	24,76	VTK Link	Residual Link
39	0,2	0,1	16	399,5	74,45	0,005	40	26,53	22	-5	0,17	0,040	0,758	0,752	0,766	0,093	2233	-	-	-	69,39	25,16	VTK Link	Residual Link
41	0,2	0,1	16	399,5	74,45	0,005	45	28,03	22	-5	0,17	0,040	0,756	0,752	0,803	0,093	2233	-	-	-	71,95	26,24	VTK Link	Residual Link
42	0,2	0,1	16	399,5	74,45	0,005	35	25,10	22	-5	0,17	0,040	0,757	0,752	0,703	0,104	2233	-	-	-	66,86	24,10	VTK Link	Residual Link
43	0,15	0,1	4	399,5	24,83	0,001	30	24,02	22	0	0,17	0,040	0,963	0,872	0,485	0,109	150	-	-	-	13,11	22,89	VTK Link	Residual Link
44	0,2	0,1	16	439,5	74,45	0,005	45	28,35	22	-5	0,17	0,040	0,755	0,755	1,002	0,091	2232	-	-	-	72,80	26,71	VTK Link	Residual Link
45	0,15	0,1	4	399,5	24,83	0,001	30	24,01	22	5	0,17	0,040	1,041	0,872	0,493	0,103	150	-	-	-	10,26	22,90	VTK Link	Residual Link
46	0,15	0,1	4	399,5	24,83	0,001	35	24,64	22	-5	0,17	0,040	1,255	0,872	0,370	0,101	150	-	-	-	16,11	23,11	VTK Link	Residual Link
47	0,2	0,1	16	439,5	74,45	0,005	40	26,82	22	-5	0,17	0,040	0,751	0,755	0,973	0,097	2232	-	-	-	70,13	25,57	VTK Link	Residual Link



FH Salzburg
Smart Building



48	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	35	24,6 8	22	0	0,1 7	0,04 0	1,31 8	0,872	0,38 1	0,09 5	150	- 13,28	-19,84	23,1 5	VTK Link	Residual Link
49	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	35	24,8 2	22	5	0,1 7	0,04 0	1,34 3	0,872	0,41 1	0,08 7	150	- 10,47	-21,38	23,2 4	VTK Link	Residual Link
50	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	40	25,7 4	22	-5	0,1 7	0,04 0	1,33 4	0,872	0,39 6	0,09 1	150	- 16,44	-28,52	23,6 5	VTK Link	Residual Link
51	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	40	25,9 4	22	0	0,1 7	0,04 0	1,33 9	0,872	0,42 4	0,08 5	150	- 13,65	-30,52	23,7 7	VTK Link	Residual Link
52	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	40	26,0 7	22	5	0,1 7	0,04 0	1,35 8	0,872	0,44 6	0,07 7	150	- 10,84	-32,14	23,8 6	VTK Link	Residual Link
53	0,2	0,1	16	439, 5	74,45	0,005	35	25,3 3	22	-5	0,1 7	0,04 0	0,74 9	0,755	0,91 3	0,10 5	223 2	- 67,40	- 189,94	24,4 1	VTK Link	Residual Link
54	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	60	30,7 4	22	-5	0,1 7	0,04 0	1,36 1	0,872	0,47 3	0,06 9	150	- 17,94	-71,87	26,1 7	VTK Link	Residual Link
55	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	60	30,9 0	22	0	0,1 7	0,04 0	1,36 3	0,872	0,48 7	0,06 3	150	- 15,15	-73,99	26,2 9	VTK Link	Residual Link
56	0,1 5	0,1	4	399, 5	24,83	0,001	60	31,0 5	22	5	0,1 7	0,04 0	1,36 6	0,872	0,50 1	0,05 6	150	- 12,36	-76,12	26,4 1	VTK Link	Residual Link
58	0,2	0,1	16	399, 5	74,45	0,005	35	26,4 5	22	2,5	0,1 7	0,04 0	0,57 0	0,752	1,04 6	0,10 0	223 3	- 52,00	- 217,57	25,1 0	VTK Link	Residual Link

Tabelle 16: Ausschnitt aus der Bauteil-Datenbank für die Berechnung des f_{FH}

In der Tabelle sind k_{in} und k_{out} sowie weitere, für die Auslegung hilfreiche Berechnungsergebnisse für unterschiedliche Randbedingungen dargestellt. Der zugrundeliegende Bauteilaufbau entspricht hier der Variante des Neubaus für die oberste Geschosdecke in Stahlbeton (siehe Tabelle 14)

5.1.5.1. Wahl einer Variante in der Bauteil-Datenbank

Ausschlaggebend für die Auswahl einer Variante ist neben konstruktiven und wirtschaftlichen Aspekten, dass mit deren Heizleistung die erforderliche Heizlast abgedeckt werden kann. Für einen gewählten Bauteilaufbau hängt die Heizleistung von den in Tabelle 17 aufgelisteten Parametern ab.

Randbedingungen

Vorlauftemperatur	Θ_v	Temperatur der Raumseite $i = 2$	Θ_2
Temperatur der Raumseite $i = 1$	Θ_1	Heizmittel-Massenstrom	\dot{m}
Wärmeübergangswiderstand der Raumseite $i = 1$	R_{si}	Wärmeübergangswiderstand der Raumseite $i = 2$	R_{se}

Bauteil

Bauteilfläche	A_{ref}		
---------------	-----------	--	--

Verrohrung

Rohrabstand	W	Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand	λ_r
Außendurchmesser des Rohrs	d_a	Dicke der Rohrwand	s_r
Randabstand Bauteil	d_e	Biegeradius	R_b
Abstand der aktivierten Schicht zur Raumseite 1	s_{1A}		

Tabelle 17: Parameter zur Auswahl einer Variante aus der Bauteildatenbank

Mit Rücksicht auf die abzudeckende Heizleistung kann eine Variante in der Bauteildatenbank mit den entsprechenden Parametern ausgewählt werden, für welche die Ergebnisse für k_{in} und k_{out} aus der Tabelle abgelesen bzw. interpoliert werden können (siehe auch Kapitel 5.1.5.3).

Die erforderliche Vorlauftemperatur kann dabei entweder wie in Kapitel 5.1.5.2 beschrieben nach ÖNORM H 5056-1:2019 oder anhand der berechneten Heizlast erfolgen.

5.1.5.2. Auswahl der Vor- und Rücklauftemperatur

Die Auswahl der Vorlauftemperatur kann auf zwei unterschiedliche Weisen erfolgen:

1. Nach ÖNORM H 5056-1:2019 01 15

Die ÖNORM H 5056-1:2019 01 15 gibt Fixwerte für die Systemtemperaturen von Flächenheizungen an, wobei 60/35, 40/30, 35/28 und 30/25°C als mögliche Vor- und Rücklauftemperaturen angegeben werden.

2. Mittels Heizlast

Mit Hilfe der Wärmedurchgangskoeffizienten k_{in} und k_{out} für eine ausgewählte Variante kann die erforderliche Vorlauftemperatur Θ_v berechnet, werden um eine benötigte Heizlast \dot{q}_{heat} über die aktivierte Fläche A_{ref} abzudecken:

$$\Theta_v = \Theta_1 + \frac{\dot{q}_{heat}}{k_{in} \cdot A_{ref}} \quad (33)$$

Dabei ist unter Umständen ein iterativer Prozess notwendig, da sich mit einer ausgewählten Variante in Abhängigkeit der Heizlast eine andere Vorlauftemperatur ergibt als die, für welche die Variante simuliert wurde.

Wird z.B. die Variante mit der ID 41 aus Tabelle 18 für ein Bauteil mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C ausgewählt, mit dem eine Heizlast von 150 W abgedeckt werden soll, so berechnet sich die notwendige Vorlauftemperatur zu 35,33 °C.

$$\Theta_v = \Theta_1 + \frac{\dot{q}_{heat}}{k_{in} \cdot A_{ref}} = 22 \text{ °C} + \frac{150 \text{ W}}{0.7032 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 16 \text{ m}^2} = 35.33 \text{ °C} \quad (34)$$

ID	Θ_v	Θ_2	Θ_1	k_{in}	k_{out}	Θ_{rt}	\dot{q}_{out}	\dot{q}_{in}
41	35	22	-5	0,7032	0,1045	25,10	-66,86	-146,27
40	40	22	-5	0,7657	0,0964	26,53	-69,39	-220,53
39	45	22	-5	0,8032	0,0899	28,03	-71,95	-295,59
38	50	22	-5	1,1014	0,0892	31,90	-78,47	-493,43

Tabelle 18: Auswahl der Vorlauftemperatur einer Variante

Soll jedoch eine Heizleistung von z.B. 300 W abgedeckt werden, so berechnet sich die Vorlauftemperatur zu 48.66 °C, was stark von der initialen Annahme einer Vorlauftemperatur von 35 °C abweicht und bedeutet, dass die Heizlast mit dieser Variante nicht gedeckt werden kann.

$$\Theta_v = \Theta_1 + \frac{\dot{q}_{heat}}{k_{in} \cdot A_{ref}} = 22 \text{ °C} + \frac{300 \text{ W}}{0.7032 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 16 \text{ m}^2} = 48.66 \text{ °C} \quad (35)$$

Hier muss eine andere Variante z.B. mit passender Vorlauftemperatur oder einem höheren Massenstrom gewählt werden, in diesem Fall z.B. die Variante mit der ID 39. Die Werte für k_{in} und k_{out} können auch durch Interpolation für die jeweilige Vorlauftemperatur berechnet werden (siehe Kapitel 5.1.5.3).

$$\Theta_v = \Theta_1 + \frac{\dot{q}_{heat}}{k_{in} \cdot A_{ref}} = 22 \text{ °C} + \frac{300 \text{ W}}{0.8032 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 16 \text{ m}^2} = 45.34 \text{ °C} \quad (36)$$

In der Datenbank ist für jede Variante auch die Heizleistung \dot{q}_{in} des Bauteils angegeben. Anhand dieses Wertes kann für eine Heizlast ebenfalls eine Variante ausgesucht und die Vorlauftemperatur abgelesen werden.

Die Rücklauftemperatur Θ_{rt} berechnet sich mit k_{in} und k_{out} unter Annahme einer konstanten spezifischen Wärmekapazität c des Heizmittels mit:

$$\Theta_{rt} = \Theta_v - \frac{[(\Theta_v - \Theta_2) \cdot k_{out} + (\Theta_v - \Theta_1) \cdot k_{in}] \cdot A_{ref}}{\dot{m} \cdot c} \quad (37)$$

5.1.5.3. Interpolation

Im aktuellen Stand der Datenbank sind bisher nur verhältnismäßig wenige Varianten für unterschiedliche Bauteile und Randbedingungen enthalten. Um die Daten einer Variante mit Parametern zu erhalten, welche nicht in der Datenbank enthalten sind, kann zwischen einzelnen Varianten interpoliert werden. Hierfür ist jedoch für die jeweiligen Parameter und -Kombination die Zulässigkeit einer Interpolation sowie die Wahl des Interpolationsverfahrens zu klären (siehe Abbildung 42), was in zukünftigen Projekten behandelt werden muss.

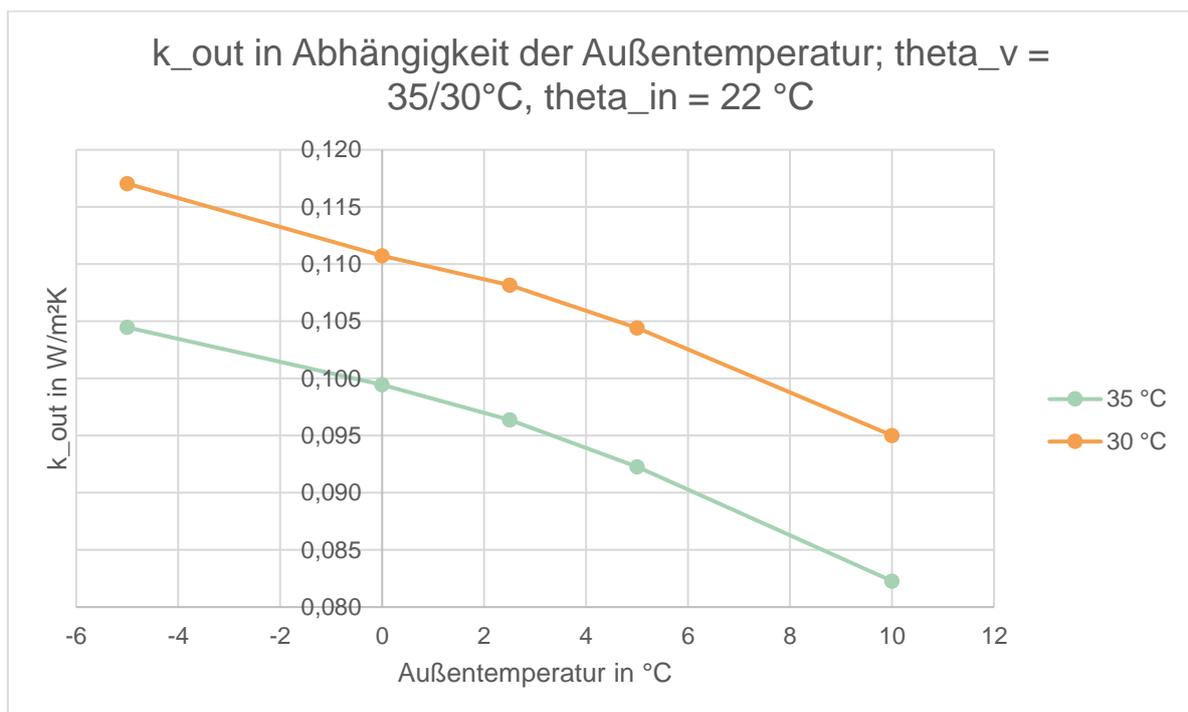


Abbildung 42: k_{out} in Abhängigkeit der Außentemperatur für die Variante Neubau oberste Geschossdecke in Stahlbeton (rote Datenpunkte) bei einer Vorlauftemperatur von 35°C und 22°C Innenraumtemperatur. Zwischen den Datenpunkten ist eine lineare Interpolation möglich (Kurve).

Für die Praxis bietet jedoch auch bereits eine kleine Datenbank mit häufig genutzten Standard-Varianten und Randbedingungen einen großen Vorteil, auch um damit Bauteile besser auszulegen und Varianten zu vergleichen. Zudem ist eine Erweiterung der Datenbank durch das automatisierte Tool ohne hohen Aufwand möglich.

5.2. Vergleich des vorgestellten Berechnungsverfahren mit der aktuellen Berechnung

Das folgende Kapitel enthält einen Vergleich des Korrekturfaktor Flächenheizung (f_{FH}) nach ÖNORM B 8110-6-1 mit dem zuvor vorgestellten Verfahren. Da keine Gebäudesimulation mit fixierten Vor- und Rücklauftemperaturen möglich ist, ist der Vergleich mit der Gebäudesimulation nur mit an die Ergebnisse der der Gebäudesimulation angepasste Vor- / Rücklauftemperatur möglich.

5.2.1. Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit einer fixierten Vor-/ Rücklauftemperatur von 35/28 °C

In Abbildung 43 und Tabelle 19 sind die Korrekturfaktoren Flächenheizung (f_{FH}) mit einer fixierten Vor-/ Rücklauftemperatur von 35/28 °C dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die ÖNORM H 5056-1 jeweils die höchsten Werte für den f_{FH} ansetzt, während mittels der Bauteildatenbank in der Heizperiode die niedrigsten angesetzt werden.

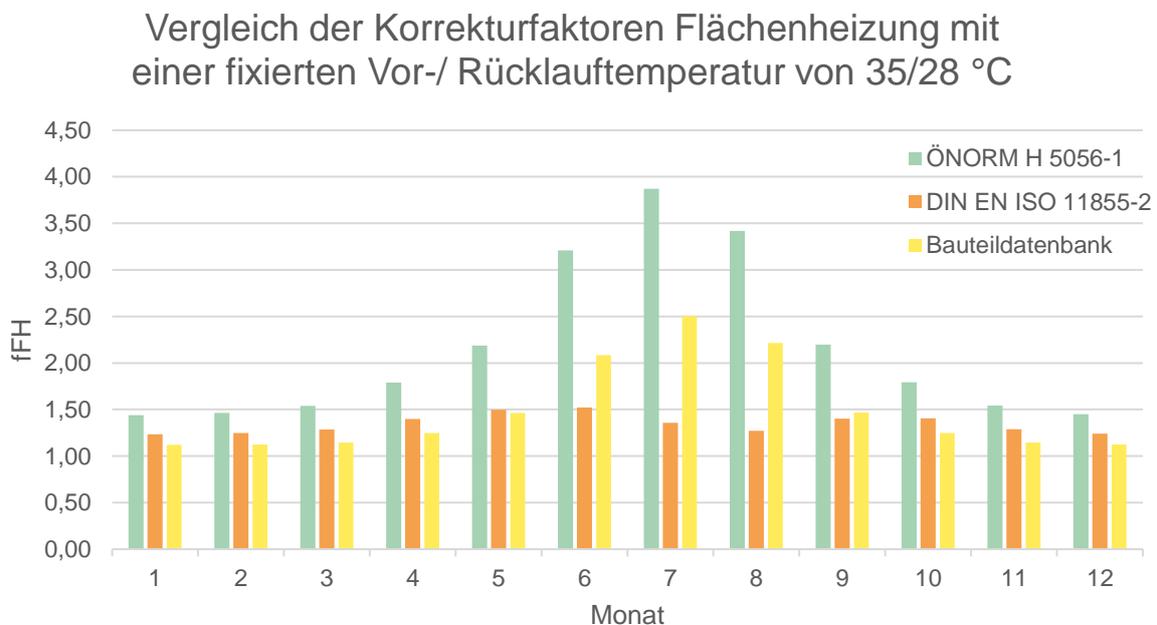


Abbildung 43: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/ Rücklauftemperatur von 35/28 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.

Monat	θ_v	θ_{RL}	θ_1	θ_2	ÖNORM H 5056-1	DIN EN ISO 11855-2	Bauteil- datenbank
1	35	28	22	0,34	1,44	1,24	1,12
2	35	28	22	1,59	1,47	1,25	1,13
3	35	28	22	4,36	1,54	1,29	1,14
4	35	28	22	9,97	1,79	1,40	1,25
5	35	28	22	14,01	2,19	1,50	1,46
6	35	28	22	17,7	3,21	1,52	2,09
7	35	28	22	18,69	3,87	1,36	2,50
8	35	28	22	18,07	3,42	1,27	2,22
9	35	28	22	14,06	2,20	1,40	1,47
10	35	28	22	10,01	1,79	1,41	1,25
11	35	28	22	4,53	1,54	1,29	1,15
12	35	28	22	0,87	1,45	1,24	1,12

Tabelle 19: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/ Rücklauftemperatur von 35/28 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.

5.2.2. Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit einer fixierten Vor-/ Rücklauftemperatur von 30/25 °C

In Abbildung 44 und Tabelle 20 sind die Korrekturfaktoren Flächenheizung mit einer fixierten Vor-/ Rücklauftemperatur von 30/25 °C dargestellt.

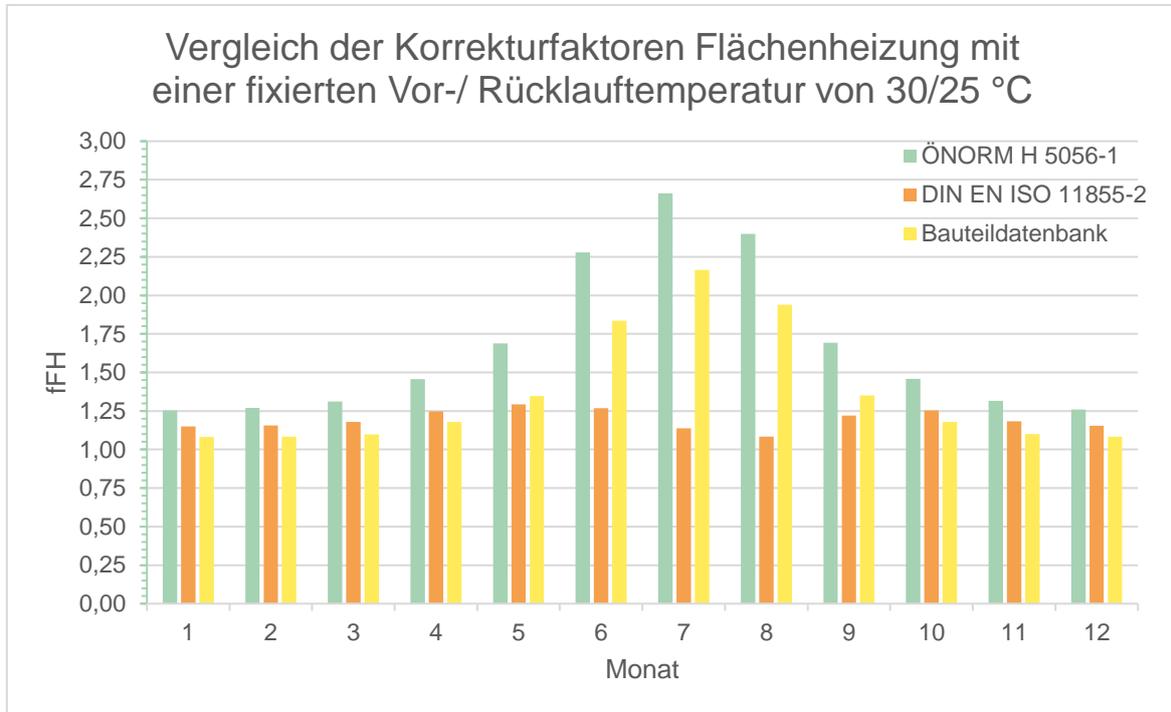


Abbildung 44: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/ Rücklauftemperatur von 30/25 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.

Monat	θ_v	θ_{RL}	θ_1	θ_2	ÖNORM H 5056-1	DIN EN ISO 11855-2	Bauteil-datenbank
1	30	25	22	0,34	1,25	1,15	1,08
2	30	25	22	1,59	1,27	1,16	1,08
3	30	25	22	4,36	1,31	1,18	1,08
4	30	25	22	9,97	1,46	1,25	1,14
5	30	25	22	14,01	1,69	1,29	1,29
6	30	25	22	17,7	2,28	1,27	1,74
7	30	25	22	18,69	2,66	1,14	2,04
8	30	25	22	18,07	2,40	1,08	1,83
9	30	25	22	14,06	1,69	1,22	1,30
10	30	25	22	10,01	1,46	1,25	1,15
11	30	25	22	4,53	1,31	1,18	1,08
12	30	25	22	0,87	1,26	1,15	1,08

Tabelle 20: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/ Rücklauftemperatur von 30/25 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.

5.2.3. Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit angepassten Vor-/ Rücklauf-temperatur

In Abbildung 45 und Tabelle 22 sind die Korrekturfaktoren Flächenheizung für die an die Gebäudesimulation angepassten Vor- / Rücklauftemperaturen dargestellt. Für die Berechnung der fFH aus der Bauteildatenbank wurde k_{out} mittels einer linearen 2D-Interpolation für die Vorlauf- und Außentemperatur aus der Bauteildatenbank ermittelt (siehe Tabelle 21).

Außentemperatur	Vorlauftemperatur	
	30 °C	35 °C
-5	0,117	0,104
0	0,111	0,099
2,5	0,108	0,096
5	0,104	0,092
10	0,095	0,082

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
θ_v	32,81	32,09	30,23	26,81	24,81	24,46	26,87	28,3	26,17	26,56	30,09	32,46
θ_2	0,34	1,59	4,36	9,97	14,01	17,7	18,69	18,07	14,06	10,01	4,53	0,87
k_{out}	0,1038	0,10408	0,10447	0,09505	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,10454	0,10405

Tabelle 21: Oben: k_{out} in Abhängigkeit der Vorlauf- und Außentemperatur. Unten: k_{out} berechnet mit einer linearen 2D-Interpolation für die Vorlauf- und Außentemperatur.

Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung mit angepassten Vor-/ Rücklaufemperatur

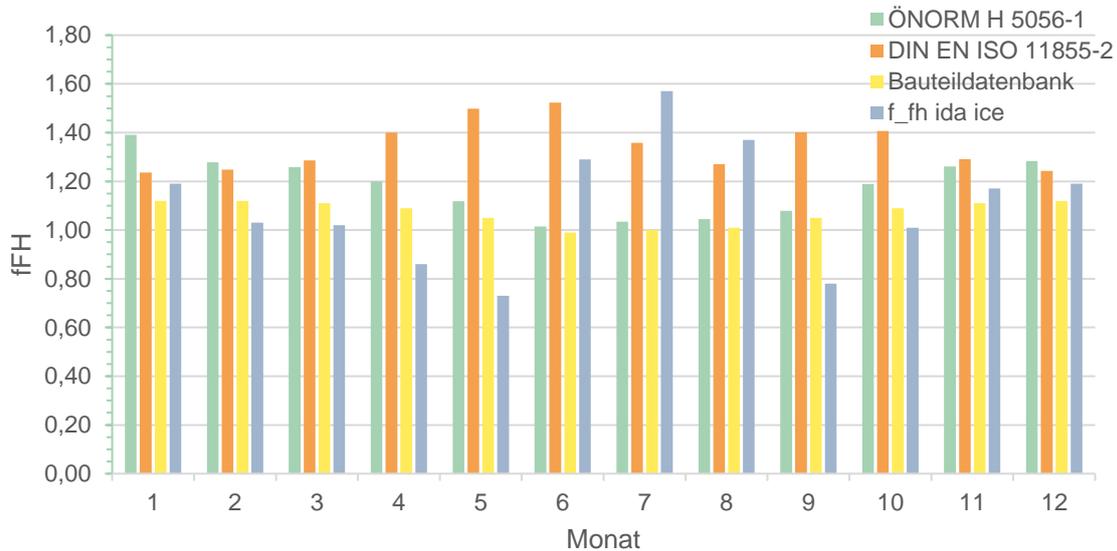


Abbildung 45: Vergleich des Korrekturfaktor Flächenheizung der vorgestellten Methoden mit der Berechnung nach ÖNORM B 8110-6-1 für das H/K-Element Variante Neubau oberste Geschossdecke.

Bei der Berechnung der Korrekturfaktoren wurde die Vor- / Rücklaufemperatur an die Temperaturen der Gebäudesimulation angepasst.

Monat	θ_v	θ_{RL}	θ_1	θ_2	ÖNORM H 5056-1	DIN EN ISO 11855-2	Bauteil- daten- bank	IDA ICE
1	32,81	28	21,96	0,34	1,39	1,24	1,12	1,19
2	32,09	23,26	22	1,59	1,28	1,25	1,12	1,03
3	30,23	22,9	22,01	4,36	1,26	1,29	1,11	1,02
4	26,81	22,49	22,21	9,97	1,20	1,40	1,09	0,86
5	24,81	23,54	23,1	14,01	1,12	1,50	1,05	0,73
6	24,46	25,72	24,98	17,7	1,02	1,52	0,99	1,29
7	26,87	28	27,14	18,69	1,03	1,36	1	1,57
8	28,3	28,7	28,05	18,07	1,05	1,27	1,01	1,37
9	26,17	24,01	24,28	14,06	1,08	1,40	1,05	0,78
10	26,56	22,3	22,14	10,01	1,19	1,41	1,09	1,01
11	30,09	22,87	21,94	4,53	1,26	1,29	1,11	1,17
12	32,46	23,35	21,93	0,87	1,28	1,24	1,12	1,19

Tabelle 22: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für die Vor- / Rücklauftemperatur an die Temperaturen der Gebäudesimulation angepasste Vorlauftemperaturen. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.

5.2.4. Vergleich IDA ICE mit neuem f_{FH}

Für den Vergleich des neu vorgestellten Verfahrens zur Berechnung des f_{FH} wird das in Kapitel 5 vorgestellte Beispiel berechnet, und das Ergebnis für die beiden f_{FH} mit den Simulationsergebnissen verglichen. In folgender Abbildung ist die Gegenüberstellung von Simulationsergebnissen zu den Ergebnissen aus den Energieausweisberechnung mit jeweils dem bisherigen f_{FH} sowie dem neu vorgeschlagenen f_{FH} .

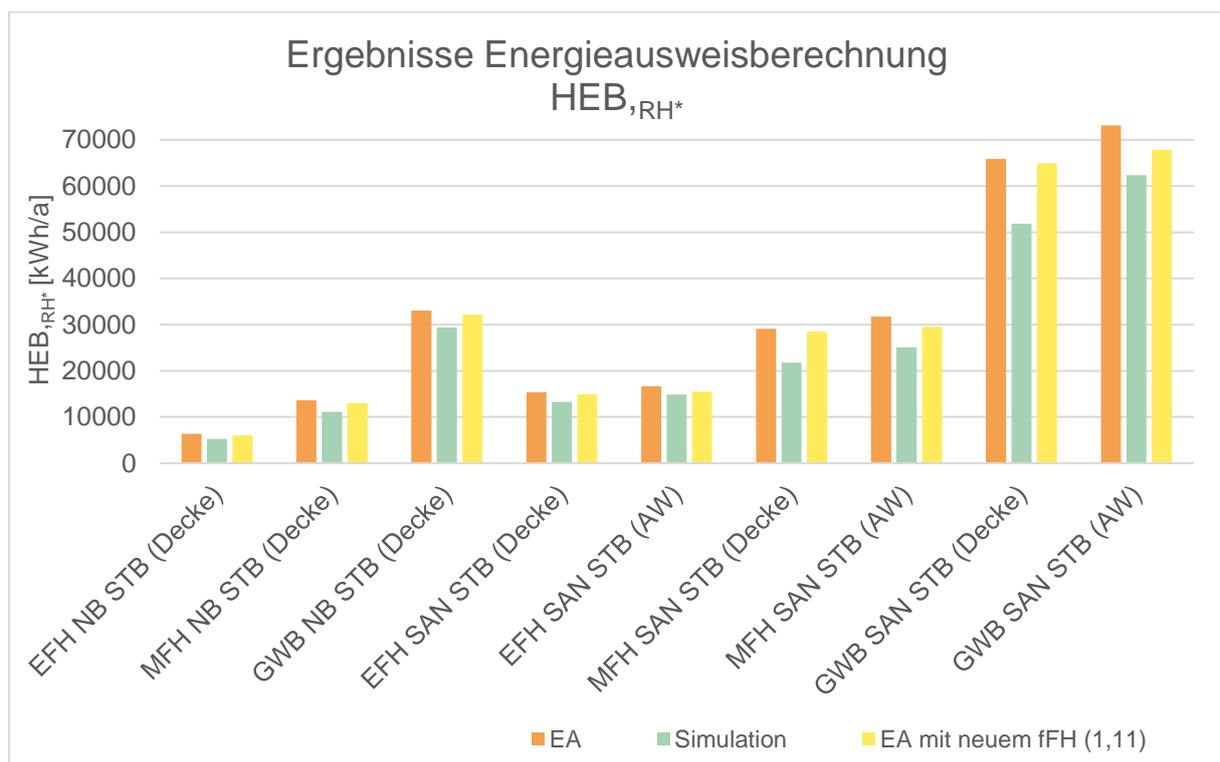


Abbildung 46: Vergleich der Ergebnisse mit Simulationen, altem & neuem f_{FH}

Die Abbildung zeigt, dass durch die Änderung des f_{FH} von 1,274 auf 1,11 bereits eine Annäherung zu den Simulationsergebnissen möglich ist. Besonders bei den



kleinvolumigen Gebäuden lässt sich dadurch eine gute Annäherung schaffen. Bei den MFH und GWB ist eine zufriedenstellende Annäherung an die Simulationsergebnisse nur mit zusätzlicher Anpassung des $q_{H,WA}$ (siehe Kapitel 3.1.6) möglich.

6. Handlungsempfehlung für Eingabe TABS im Energieausweis

Um eine bessere Abbildung der TABS im Energieausweis in der aktuell gültigen Version zu erreichen, wird für einzelne Parameter eine Eingabeadaptation empfohlen.

Empfehlung für die Eingabe der TABS im Energieausweis:

- Eingabe im Energieausweis mit Systemtemperaturen 35/28 oder 30/25 je nach Materialität aufgrund der unterschiedlichen Wärmeleit- und Speicherefähigkeit (30/25 bei Stahlbeton, 35/28 bei Holz)
- Im Energieausweis werden Bruttoflächen für Transmissionswärmeverluste verwendet (Transmissionswärmeverluste werden durch Flächenheizungen erhöht). Hier sollten die Nettoflächen verwendet werden. Dies könnte vorerst durch die separate Eingabe eines aktivierten Bauteils und Auswahl dieses Bauteils für 80 % der Fläche geschehen.
- Verluste der Wärmeabgabe an den Raum ($q_{H,WA}$) - Für die Abbildung von TABS sollte nicht der PI-Regler sondern der noch bessere Einzelraumregler mit Optimierungsfunktion als Defaultwert für ($q_{H,WA1}$) verwendet werden. Hier wird ein geringerer Zuschlag (W/m^2) verwendet.
- Zudem zeigt sich, dass die Defaultwerte des $q_{H,WA1}$ & $q_{H,WA2}$ in der Norm für EFH mit bis zu 172 m² zu einem Ergebnis führen, welches mit der Gebäudesimulation übereinstimmen. Wird die Berechnung jedoch für größere Gebäude mit höherer Quadratmeteranzahl gerechnet, entfernen sich die Berechnungen voneinander.

Änderungsvorschläge der Berechnungsmethode:

- Aktivierungsebene (Innen/Außen) -> im EA bisher unberücksichtigt - Eingabe der Einbautiefe ermöglichen, da beispielsweise eine nachträgliche Aktivierung

der Außenwand an der Außenseite einen höheren Wärmeverlust nach außen mit sich bringt, als eine Einbringung an der Innenseite der Außenwand

- Adaptierung des Korrekturfaktors Flächenheizung auf Monatsbasis (ÖNORM H 5056-1:2019-01 Anhang A- bedarf einer Änderung)
- Für die spezifischen Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems ($q_{H,WA}$) wird als Regler ($q_{H,WA,1}$) in der Praxis ein Einzelraum PID-Regler verwendet. Wird dieser im Energieausweis ausgewählt, ergibt sich zusammen mit den Werten für das Wärmeabgabesystem Flächenheizung ($q_{H,WA2}$) ein zu hoher Defaultwert. Aus der Simulation ist ersichtlich, dass diese Defaultwerte in Summe um ca. $0,2 \text{ W/m}^2$ zu hoch angesetzt sind, was einer Adaptierung in der ÖNORM 5056-1 empfehlen würde. Andernfalls kann auch über eine Adaptierung der Defaultwerte in einem degressiven Modell nachgedacht werden, da mit steigender Anzahl der aktivierten Fläche eine deutliche Abweichung zwischen Simulation und Berechnung des $q_{H,WA}$ entsteht.

7. Conclusio

Die reale Abbildung von TABS im Energieausweis ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollumfänglich möglich, da die Eingaben der Simulationen einen viel tieferen Detaillierungsgrad erlauben als jene im Energieausweis. Genau die in diesem Bericht dargestellten Unterscheidungen sind im Energieausweis aktuell nicht möglich und führen zu verallgemeinerten Aussagen über die Energiekennzahlen eines Gebäudes. Während beispielsweise in den Simulationen die genauen Bauteilaufbauten, die Lage der Aktivierung im Bauteil, die Überdeckung und die Regelung anzugeben ist, wird in der Energieausweisberechnung lediglich die Bauweise, in diesem Fall leicht und mittelschwer, sowie das aktivierte Bauteil angegeben. Um die Bauteilaktivierung vollumfänglich abbilden zu können, ist eine Gebäudesimulation notwendig. Die Abweichung von Energieausweis zur Gebäudesimulation beträgt unter den in diesem Forschungsprojekt untersuchten Voraussetzungen 20,6 % in der Variante EFH Neubau, mittelschwere

Bauweise mit Deckenaktivierung. Die Abweichung beim MFH Neubau, mittelschwere Bauweise mit Deckenaktivierung beträgt hier ca. 22,2 %. Im Geschosswohnbau beträgt die Abweichung ca. 12,4 %. Demnach wird im Energieausweis die Bauteilaktivierung mit 12,4% bis 22,2 % zu hoch abgebildet, was zum Ausschluss bei Förderungen führen kann. Weitere Ergebnisse zeigen, dass bei Bauteilaktivierungen in der Sanierung, bei denen die Rohrebene außen an der Bestandsmauer angebracht wird, auch eine deutliche Abweichung zwischen Gebäudesimulation und Energieausweis zu erkennen ist. In den Varianten EFH bis zu 12 %, bei MFH 26,5 % und GWB 17,1%. Im Energieausweis werden zudem Bruttoflächen für Transmissionswärmeverluste verwendet (Transmissionswärmeverluste werden durch Flächenheizungen erhöht). Hier sollten die Nettoflächen verwendet werden. Dies könnte vorerst durch die separate Eingabe eines aktivierten Bauteils und Auswahl dieses Bauteils für 80 % der Fläche geschehen und somit das Ergebnis verbessert werden. Die Eingabe im Energieausweis mit Systemtemperaturen 35/28 oder 30/25 je nach Materialität (30/25 bei Stahlbeton, 35/28 bei Holz) ist auch relevant, damit der Korrekturfaktor Flächenheizung möglichst niedrig bleibt und somit den Simulationsergebnissen eher entspricht.

Der Korrekturfaktor Flächenheizung wird aktuell laut der Norm, ÖNORM H 5056-1:2019-01 Anhang A berechnet. Durch eine vorgeschlagene neue Berechnungsmethode im Kapitel 5 wird der Korrekturfaktor Flächenheizung gesenkt, sodass sich eine bessere Abbildbarkeit im Energieausweis ergibt.

Zudem zeigt sich, dass die Defaultwerte der Verluste der Wärmeabgabe an den Raum $Q_{H,WA}$ und deren spezifischen Wärmeverluste im Bereich Regelfähigkeit $q_{(H,WA,1)}$ und den spezifischen Wärmeverlusten im Bereich Anpassungsfähigkeit des Wärmeabgabesystems $q_{(H,WA,2)}$ in der Norm für EFH mit bis zu 172 m² zu einem Ergebnis führen, welches mit der Gebäudesimulation gut übereinstimmen. Wird die Berechnung für größere Gebäude mit höherer Quadratmeteranzahl gerechnet, entfernen sich die Ergebnisse voneinander, wie die genauen Zahlen am Anfang des Kapitels zeigen.

Aus der Simulation ist ersichtlich, dass die Defaultwerte für die spezifischen Wärmeverluste des Wärmeabgabesystems ca. um 0,2 W/m² zu hoch angesetzt sind, was

einer Adaptierung in der ÖNORM 5056-1 und einer Senkung der Defaultwerte argumentieren würde. Andernfalls kann auch über eine Adaptierung der Defaultwerte in einem degressiven Modell nachgedacht werden.

Für eine bessere Abbildbarkeit der Bauteilaktivierung im Energieausweis bedarf es einer Adaptierung der ÖNORM 5056-1- im Bereich des Korrekturfaktors Flächenheizung sowie der Defaultwerte der Verluste der Wärmeabgabe an den Raum $Q_{H,WA}$. Die aktuelle Handlungsempfehlung für die Eingabe von TABS im Energieausweis ist in Kapitel 6-Handlungsempfehlung für Eingabe TABS im Energieausweis ausführlich beschrieben und soll die aktuelle Eingabe im Energieausweis mit den aktuellen Normenfassungen bis zum Zeitpunkt einer Überarbeitung verbessern.

Ausblick:

In den Gebäudesimulationen verglichen mit den Energieausweisberechnungen konnte auch im Bezug auf den benötigten Heizwärmebedarf Unterschiede festgestellt werden. In der Norm ÖNORM B 8110-6 zur Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs wird die interne thermische Trägheit einer konditionierten Zone mittels der Gebäudezeitkonstante berücksichtigt. Diese berechnet sich aus der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, dem Transmissionsleitwert und dem Lüftungsleitwert. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes wiederum berechnet sich aus dem konditionierten Bruttovolumen des Gebäudes und einem Defaultwert entsprechend der Bauweise. Unterschieden wird hierbei zwischen einer leichten, mittelschweren und schweren Bauweise. Die zusätzliche wirksame thermische Masse aufgrund von TABS bleibt hier zur Gänze unberücksichtigt und hat in den derzeitigen Normen und Berechnungen, welche dem Energieausweis zugrunde liegen, keinen Einfluss auf die Energiekennzahlen. Um auch die Abbildbarkeit von TABS im Bezug auf den Heizwärme- und Kühlbedarfs im Energieausweis zu verbessern, bedarf es weiterer Forschung in diesem Bereich.

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zitierte Normen und sonstige technische Regelwerke in der OIB-Richtlinie 6 und dem OIB-Leitfaden RL 6	7
Tabelle 2: Berechnungsmethoden der Energiekennzahlen und heranzuziehende ÖNORMEN.....	11
Tabelle 3: Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen, Grundlagen	25
Tabelle 4: Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen, Bauphysik	26
Tabelle 5: Eingabedaten zur Berechnung der Energiekennzahlen, Gebäudetechnik	26
Tabelle 6: Parametervariationen für die Sensitivitätsanalyse, hervorgehobene Kennwerte entsprechen der Referenzvariante	27
Tabelle 7: Priorisierung und Auswahl zu variierende Parameter	29
Tabelle 8: Netto-Gebäudeabmessungen für Wohngebäude	35
Tabelle 9: verwendete Bauteilaufbauten für die Simulationsmodelle.....	42
Tabelle 10: Parameter für die Variante Neubau oberste Geschossdecke	76
Tabelle 11: Berechnung des f_{FH} mit dem Widerstand R_t zwischen der Eintrittstemperatur und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 für die Variante Neubau oberste Geschossdecke	77
Tabelle 12: Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse für den Widerstand R_t nach DIN EN ISO 11855-2:2022-04 und der Berechnung aus der Strömungssimulation mit openFOAM.	78
Tabelle 13: Parameter für die Berechnung des Wärmestroms über die Außenseite der Bodenplatte Variante Neubau oberste Geschossdecke nach EN ISO 13370.	82
Tabelle 14: Simulationsparameter für die detaillierte Bauteilsimulation der Variante des Neubaus für die oberste Geschossdecke in Stahlbeton	86

Tabelle 15: Ergebnisse der detaillierten Bauteilsimulation für die Variante des Neubaus für die oberste Geschossdecke in Stahlbeton	88
Tabelle 16: Ausschnitt aus der Bauteil-Datenbank für die Berechnung des f_{FH}	95
Tabelle 17: Parameter zur Auswahl einer Variante aus der Bauteildatenbank.....	96
Tabelle 18: Auswahl der Vorlauftemperatur einer Variante	98
Tabelle 19: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/Rücklauftemperatur von 35/28 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.	101
Tabelle 20: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/Rücklauftemperatur von 30/25 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.	102
Tabelle 21: Oben: k_{out} in Abhängigkeit der Vorlauf- und Außentemperatur. Unten: k_{out} berechnet mit einer linearen 2D-Interpolation für die Vorlauf- und Außentemperatur.....	103
Tabelle 22: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für die Vor- / Rücklauftemperatur an die Temperaturen der Gebäudesimulation angepasste Vorlauftemperaturen. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.	105
Tabelle 23: Vergleich der Ergebnisse aus openFOAM und der DIN EN ISO 11855-2	121
Tabelle 24: Vergleich der Temperaturen in den Querschnitten in Abbildung 50 mit dem Prüfbeispiel (Norm).....	124

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der relevanten Normen zur Ermittlung der Energiekennzahlen für den Energieausweis und deren Bezüge untereinander sowie ausgewählte normative Verweise	9
Abbildung 2: Korrekturfaktor Flächenheizung in Abhängigkeit von der Normaußentemperatur	21
Abbildung 3: Sensitivitätsanalyse, Heizenergiebedarf	28
Abbildung 4: Modellgebäude EFH Neubau (links) und EFH Sanierung (rechts) in Ida Ice.....	32
Abbildung 5: Modellgebäude MFH Neubau (links) und MFH Sanierung (rechts) in Ida Ice.....	32
Abbildung 6: Modellgebäude GWB Neubau (links) und GWB Sanierung (rechts) in Ida Ice.....	33
Abbildung 7: Fensterflächenanteil je Baualtersklasse (Gadocha et al, 2021)	36
Abbildung 8: Fensterflächenanteil im Simulationsmodell im Neubau	37
Abbildung 9: Fensterflächenanteil im Simulationsmodell in der Sanierung	38
Abbildung 10: Mittlerer U-Wert der Bauteile von sanierten Gebäuden (Gadocha et al, 2021)	40
Abbildung 11: Mittlerer U-Wert der Bauteile von Neubaufertigstellungen (Gadocha et al, 2021).....	41
Abbildung 12: Darstellung des qH, WA der unterschiedlichen Wärmeübergabesysteme	47
Abbildung 13: Simulation unterschiedlicher Wärmeübergabesysteme	48
Abbildung 14: Steigerung des qH, WA in Prozent des HEB_{RH}^* in der Simulation	49

Abbildung 15: Abbildung des $q_{H,WA}$ laut ÖNORM 5056-1 je Variante im EFH Neubau	50
Abbildung 16: Abbildung des $q_{H,WA}$ laut ÖNORM 5056-1 je Variante im MFH Neubau	51
Abbildung 17: Abbildung unterschiedlicher Wärmeabgabesysteme in der Gebäudesimulation sowie Vergleich mit den Zuschlägen des $q_{H,WA}$ zum PI-Regler aus der Norm.....	52
Abbildung 18: Abbildung des $q_{H,WA}$ laut ÖNORM 5056-1 je Variante in der Gebäudesimulation sowie Vergleich mit den Zuschlägen des $q_{H,WA}$ zum Ideal Heater im MFH Neubau	53
Abbildung 19: Abbildung der Flächenheizung mit adaptierten $q_{H,WA}$ aus der Norm.....	54
Abbildung 20: Abbildung der Flächenheizung mit adaptierten f_{FH} - Korrekturfaktor Flächenheizung	55
Abbildung 21: Simulation unterschiedlicher Wärmeübergabesysteme zuzüglich TABS-Regelungsvarianten.....	56
Abbildung 22: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im EFH Neubau.....	59
Abbildung 23: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im MFH Neubau	60
Abbildung 24: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im GWB Neubau	61
Abbildung 25: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im EFH Sanierung.....	62
Abbildung 26: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im MFH Sanierung.....	63
Abbildung 27: $HEB_{,RH^*}$ der Varianten im GWB Sanierung.....	64
Abbildung 28: Vergleich Ergebnisse Simulationen mit Ergebnis Energieausweis in kWh/a	66
Abbildung 29: Vergleiche Ergebnisse Simulationen und Energieausweis in %	67

Abbildung 30: HEB, R_{H^*} im Neubau mittelschwere Bauweise der Energieausweisberechnung verglichen mit der Gebäudesimulation	68
Abbildung 31: HEB, R_{H^*} in der Sanierung der Energieausweisberechnung verglichen mit der Gebäudesimulation.....	69
Abbildung 32: Schaltbild der Widerstände eines aktivierten Bauteils (DIN EN ISO 11855-2:2022-04).....	72
Abbildung 33: Widerstand R_t zwischen der Eintrittstemperatur und der mittleren Temperatur der wärmeleitenden Schicht in Abhängigkeit der Rohrlänge und des Heizmittel-Massenstroms für die Variante Neubau, oberste Geschossdecke in Stahlbeton mit den Parametern in Tabelle 10.....	75
Abbildung 34: Oben: Vergleich des simulierten, monatlich gemittelten Wärmestroms q_{tabs} mit dem Referenzwärmestrom q_{ref} . Unten: Heizleistung des Bauteils, ermittelt aus dem Massenstrom und den Vor- / Rücklauftemperaturen.....	80
Abbildung 35: Korrekturfaktor Flächenheizung Decke H/K-Element für die Variante Neubau oberste Geschossdecke aus den Ergebnissen der IDA-ICE Simulation.	80
Abbildung 36: Oben: Vergleich des simulierten, monatlich gemittelten Wärmestroms q_{tabs} mit dem Referenzwärmestrom q_{ref} . Unten: Korrekturfaktor Flächenheizung Boden H/K-Element für die Variante Neubau aus den Ergebnissen der IDA-ICE Simulation.....	83
Abbildung 37: Auswertung der Wärmeströme über die Innen- und Außenseite eines aktivierten Bauteils aus seiner detaillierten Bauteilsimulation zur Bestimmung der Wärmedurchgangskoeffizienten	85
Abbildung 38: Geometrie und Rechenetz der Variante oberste Geschossdecke Neubau Stahlbeton.....	87
Abbildung 39: Temperaturverteilung in der wärmeleitenden Schicht in °C.	89
Abbildung 40: Wärmestromdichte auf der Innenseite des Bauteils.....	90
Abbildung 41: Arbeitsblatt zur Berechnung des f_{FH}	92

Abbildung 42: <i>k_{out}</i> in Abhängigkeit der Außentemperatur für die Variante Neubau oberste Geschossdecke in Stahlbeton (rote Datenpunkte) bei einer Vorlauftemperatur von 35 °C und 22 °C Innenraumtemperatur. Zwischen den Datenpunkten ist eine lineare Interpolation möglich (Kurve).....	99
Abbildung 43: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/Rücklauftemperatur von 35/28 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.	100
Abbildung 44: Vergleich der Korrekturfaktoren Flächenheizung für eine fixierte Vor-/Rücklauftemperatur von 30/25 °C. Es wurde ein Auslegungsmassenstrom von 0.05 kg/s angesetzt.	102
Abbildung 45: Vergleich des Korrekturfaktor Flächenheizung der vorgestellten Methoden mit der Berechnung nach ÖNORM B 8110-6-1 für das H/K-Element Variante Neubau oberste Geschossdecke.....	104
Abbildung 46: Vergleich der Ergebnisse mit Simulationen, altem & neuem f_{FH}	105
Abbildung 47: Systemkonstruktion und Werkstoffeigenschaften für das Prüfbeispiel in DIN EN ISO 11855-2.....	122
Abbildung 48: Simulationsmodell und Rechennetz für openFOAM mit den dem Validierungsbeispiel in der DIN EN ISO 11855-2 entsprechenden Materialparametern und Randbedingungen	122
Abbildung 49: Links: Ergebnis der Temperaturverteilung im mittigen Querschnitt des Bauteils mit openFOAM. Rechts: Temperaturverteilung im Querschnitt des Prüfbeispiels in DIN EN ISO 11855-2.....	123
Abbildung 50: Temperaturverläufe an den in der DIN EN ISO 11855-2 vorgegebenen Positionen.....	123
Abbildung 51: Verteilung der Wärmestromdichte auf der Oberseite (links) und Unterseite des Bauteils.....	124

10. Literaturverzeichnis

Europäische Kommission. (2010). Auftrag an Cen, Cenelec und Etsi zur Erarbeitung und Annahme von Normen für ein Methodik zur Berechnung der integrierten Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie zur Förderung der Energieeffizienz von Gebäuden gemäß der Neufassung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden M/480 DE. Zugriff am 25.03.2021. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=465#>

Europäische Union. RICHTLINIE 2010/31/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). RL (EU) 2010/31/EU (L 153). Zugriff am 24.06.2020. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0031>

Europäische Union. RICHTLINIE (EU) 2018/844 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz. RL (EU) 2018/844 (L 156). Zugriff am 23.09.2019. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1569231536371&uri=CELEX:32018L2001>

EN 15316-2 (03.05.2017). *Energy performance of buildings - method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 2: Space emission systems (heating and cooling), Module M3-5, M4-5.*

Friembichler Felix, Bednar Thomas, Handler Simon, Gladt Matthias, Neusser Maximilian, Hofer Richard, Schöberl Helmut (2014). *Thermische Bauteilaktivierung. Entwicklung eines Rechenkerns.* Wien

- Gadocha Sabine, Grobbauer Michael, Heidenthaler Daniel, Hofer Edith, Gnigler Matthias, Leeb Markus (2021) *Jahresbericht-3. Berichtsperiode 01.07.2020 bis 30.06.2021. Zentrum Alpines Bauen*. Kuchl
- Holzer Peter, Padayhag Thommy-James, Kreč Klaus (2018). *Vorbereitung der Nachweisführung mit dynamischer Gebäudesimulation in behördlichen Wärmeschutz-nachweisen / Energieausweisberechnungen*. Wien
- ISO 13370 (03.2018). *Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods*.
- ISO 11855-2 (04.2022). *Building environment design - Embedded radiant heating and cooling systems - Part 2: Determination of the design heating and cooling capacity*.
- ISO 52016-1 (06.2017). *Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures*.
- ISO 52010-1 (06.2017). *Energy performance of buildings - External climatic conditions - Part 1: Conversion of climatic data for energy calculations*.
- ISO 52018-1 (06.2017). *Energy performance of buildings - Indicators for partial EPB requirements related to thermal energy balance and fabric features - Part 1: Overview of options*.
- ISO 52003-1 (06.2017). *Energy performance of buildings - Indicators, requirements, ratings and certificates - Part 1: General aspects and application to the overall energy performance*.
- ISO 52000-1 (06.2017). *Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures*.
- ÖNORM B 8110-6 (15.11.2014). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf – Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 13790*.

- ÖNORM H 5050-1 (15.01.2019). *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Berechnung des Gesamtenergieeffizienzfaktors.*
- ÖNORM H 5056 -1 (15.01.2019). *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf.*
- ÖNORM B 8110-6-1 (15.01.2019). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf.*
- ÖNORM B 8110-5 (15.03.2019). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile.*
- ÖNORM B 8110-3 (01.06.2020). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung).*
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2014). *OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. Kostenoptimalität*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 14.09.2019. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2011>
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2018a). *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Kostenoptimalität*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 14.09.2019. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019>
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2018b). *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Nationaler Plan*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 23.03.2021. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan>
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2019a). *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 23.03.2021. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6>

Österreichisches Institut für Bautechnik. (2019b). *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Langfristige Renovierungsstrategie*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 23.03.2021. Verfügbar unter:

<https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-ltrs>

Österreichisches Institut für Bautechnik. (2019c). *OIB-Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Leitfaden Ausfüllhilfe*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 23.03.2021. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-leitfaden-ausf%C3%BCllhilfe>

Österreichisches Institut für Bautechnik. (2019d). *OIB-Richtlinie 6 - Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Leitfaden*, Österreichisches Institut für Bautechnik. Zugriff am 14.09.2019. Verfügbar unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019>

Pöhn Christian, Bednar Thomas, Gratzl-Michlmair Markus (2016). *Excel-Validierungstool*. Wien

Anhang

A Vergleich mit Validierungsbeispiel DIN EN ISO 11855-2

Um die Ergebnisse der Berechnung der aktivierten Bauteile mit openFOAM zu validieren wurden diese mit dem Validierungsbeispiel in der DIN EN ISO 11855-2 verglichen (siehe Abbildung 47).

Dafür wurde mit dem in Kapitel 5.1.5 erwähnte Tool ein Simulationsmodell mit den dem Validierungsbeispiel entsprechenden Materialparametern und Randbedingungen für openFOAM erzeugt (Abbildung 48). Da in der Norm ein zweidimensionales Beispiel angegeben wird, mit dem Tool jedoch dreidimensionale Geometrien berechnet werden, wurden die Randbedingungen entsprechend abgeändert, so dass ein sehr hoher Volumenstrom verwendet wird, um eine annähernd konstante Heizmitteltemperatur zu erreichen. Die abweichenden Wärmestromdichten auf der Ober- und Unterseite resultieren größtenteils aus den Randbereichen, in denen das Bauteil nicht beheizt ist, was sich anhand der sehr gut übereinstimmenden Temperaturen in der Bauteilmitte belegen lässt (siehe Tabelle 24, Abbildung 49, Abbildung 50 und Abbildung 51.) Die berechnete Oberflächentemperatur liegt innerhalb der akzeptierten 0,3 K und die berechnete Wärmestromdichte in den mittigen Querschnitten innerhalb von 3 % der angegebenen Werte.

	DIN EN ISO 11855-2	openFOAM (Mittel)
Temperatur Oberseite:	22.05 °C	22.05 °C
Temperatur Unterseite:	25.357 °C	25.4 °C
Wärmestromdichte Oberseite:	$25.59 \frac{W}{m^2}$	$25.75 \frac{W}{m^2}$
Wärmestromdichte Unterseite:	$6.62 \frac{W}{m^2}$	$7.07 \frac{W}{m^2}$

Tabelle 23: Vergleich der Ergebnisse aus openFOAM und der DIN EN ISO 11855-2

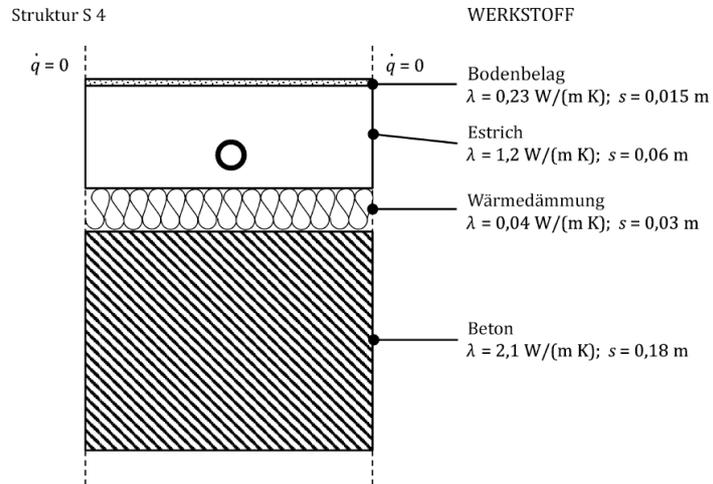


Abbildung 47: Systemkonstruktion und Werkstoffeigenschaften für das Prüfbeispiel in DIN EN ISO 11855-2

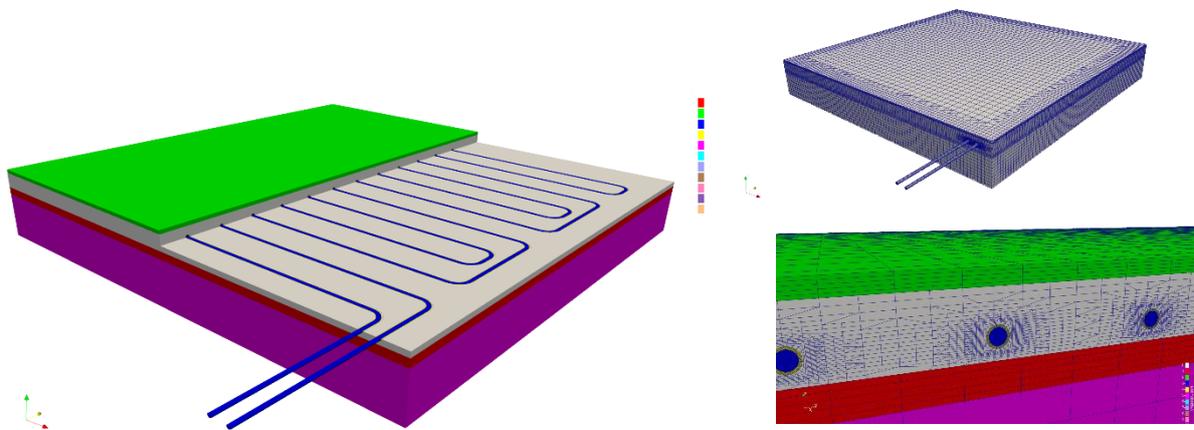


Abbildung 48: Simulationsmodell und Rechennetz für openFOAM mit den dem Validierungsbeispiel in der DIN EN ISO 11855-2 entsprechenden Materialparametern und Randbedingungen

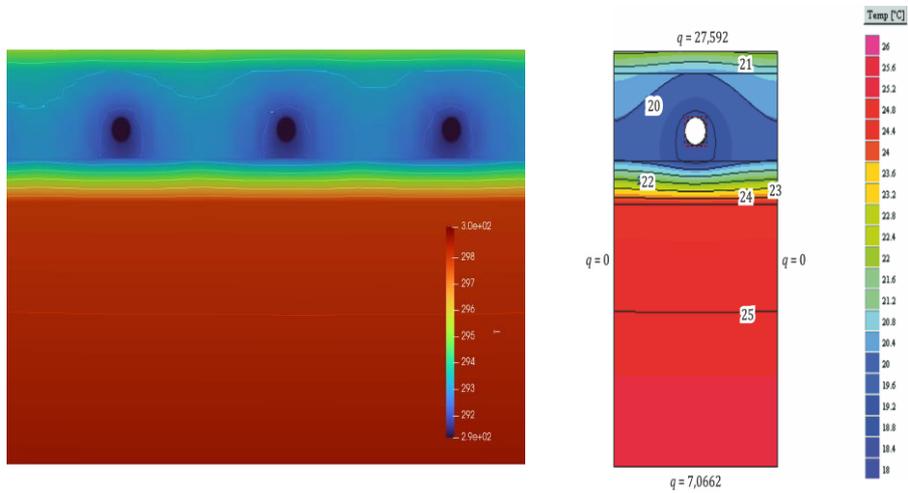


Abbildung 49: Links: Ergebnis der Temperaturverteilung im mittigen Querschnitt des Bauteils mit open-FOAM. Rechts: Temperaturverteilung im Querschnitt des Prüfbeispiels in DIN EN ISO 11855-2

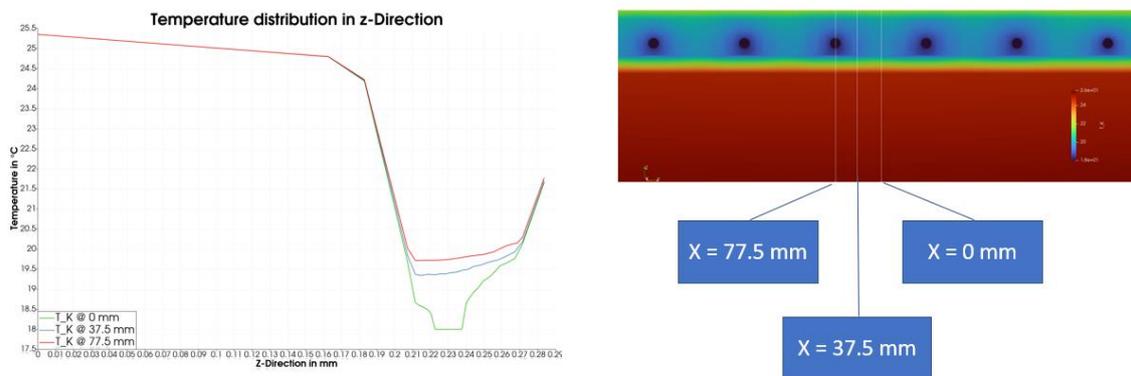


Abbildung 50: Temperaturverläufe an den in der DIN EN ISO 11855-2 vorgegebenen Positionen.

y [m]	T (x = 0 m) [°C]			T (x = 0,0375 m) [°C]			T (x = 0,075 m) [°C]		
	open-Foam	Norm	Abw. [%]	open-Foam	Norm	Abw. [%]	open-Foam	Norm	Abw. [%]
0,285	21,833	21,893	0,27	21,87	22,064	0,89	21,944	22,201	1,17
0,246	19,006	19,11	0,55	19,582	19,788	1,05	19,85	20,086	1,19
0,205	20,06	19,765	-1,47	20,21	20,414	1,01	20,371	20,728	1,75
0,164	24,786	24,802	0,06	24,788	24,806	0,07	24,791	24,809	0,07
0,123	24,929	24,943	0,06	24,93	24,943	0,05	24,931	24,944	0,05
0,082	25,069	25,081	0,05	25,069	25,081	0,05	25,069	25,082	0,05
0,041	25,208	25,219	0,04	25,208	25,219	0,04	25,208	25,219	0,04
0	25,349	25,357	0,03	25,349	25,357	0,03	25,35	25,357	0,03

Tabelle 24: Vergleich der Temperaturen in den Querschnitten in Abbildung 50 mit dem Prüfbeispiel (Norm).

Die berechnete Oberflächentemperatur liegt innerhalb der akzeptierten 0,3 K und die berechnete Wärmestromdichte in den Querschnitten innerhalb von 3 % der angegebenen Werte

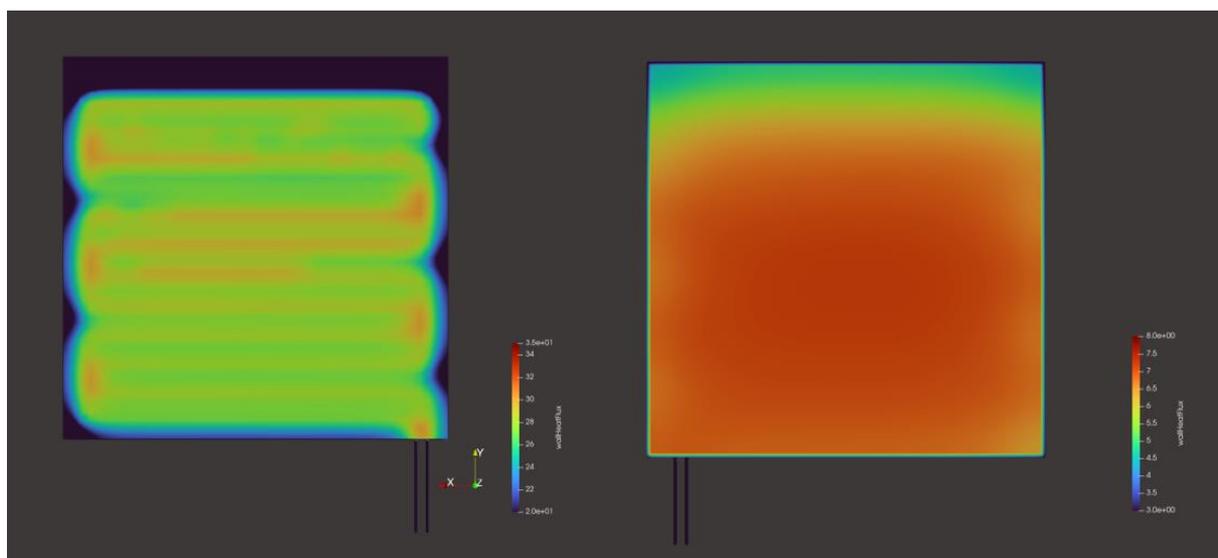


Abbildung 51: Verteilung der Wärmestromdichte auf der Oberseite (links) und Unterseite des Bauteils