

DIPLOMARBEIT

EINE KOMPERATIVE STUDIE ZUR BERECHNUNG THERMISCHER ENERGIEKENNZAHLEN VON BAUWERKEN MIT STATIONÄREN BERECHNUNGSMETHODEN UND DYNAMISCHER SIMULATION

AUSGEFÜHRT ZUM ZWECKE DER ERLANGUNG
DES AKADEMISCHEN GRADES EINES DIPLOM-INGENIEURS

UNTER DER LEITUNG VON

UNIV.PROF. DIPL.ING. DR.TECHN. ARDESHIR MAHDAVI

E259/3

ABTEILUNG FÜR BAUPHYSIK UND BAUÖKOLOGIE
INSTITUT FÜR ARCHITEKTURWISSENSCHAFTEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

EINGEREICHT AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT WIEN
FAKULTÄT FÜR ARCHITEKTUR UND RAUMPLANUNG

VON

ULRICH J. PONT
9925967
PARADISGASSE 62/2/6
1190 WIEN

WIEN, IM JÄNNER 2011

EIGENHÄNDIGE UNTERSCHRIFT

DANKSAGUNG

ICH MÖCHTE MICH BEI MEINEM BETREUER
HERRN UNIV.PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. ARDESHIR MAHDAVI
BEDANKEN, FÜR DIE EXZELLENT FACHLICHE BERATUNG, DIE MÖGLICHKEIT
MICH IM RAHMEN MEINER TÄTIGKEIT UND DIESER DIPLOMARBEIT FACHLICH ZU
VERTIEFEN, SO WIE FÜR DIE MIR ENTGEGENBRACHT GEDULD WÄHREND DER
ERSTELLUNG DIESER ARBEIT.

GROßER DANK GILT MEINEN ELTERN, DIE MEINEN INTERESSEN STETS
FÖRDERER WAREN UND KONSTRUKTIV GEGENÜBERSTANDEN, SOWIE MIR DURCH
IHRE EMOTIONALE, MOTIVIERENDE UND FINANZIELLE UNTERSTÜTZUNG EINE
EXZELLENT SCHUL- UND UNIVERSITÄTSBILDUNG ERST MÖGLICH MACHTEN.

IM ZUGE DER ZEIT BEGEGNET MAN IN UND AUßERHALB DER UNIVERSITÄT VIELEN
MENSCHEN, VON DENEN EINEM VIELE WOHLGESONNEN SIND, UND EINEN
BERUFLICH UND MENSCHLICH PRÄGEN. VON DIESEN PERSONEN SEIEN
FOLGENDE ALS GANZ BESONDERS WICHTIGE WEGBEREITER ERWÄHNT:
DIE MITARBEITER DER ABTEILUNG BAUPHYSIK UND BAUÖKOLOGIE, DIE NEBEN
IHRER HOHEN FACHLICHEN QUALIFIKATION STETS AUCH KOLLEGIAL,
HILFSBEREIT UND FREUNDLICH WAREN, SELBST WENN DIE
ARBEITSBEANSPRUCHUNG (EINMAL WIEDER) SEHR HOCH WAR.
HR. ARCH. DIPL.ING. BERNHARD SOMMER, DER STETS DEN ÜBERBLICK ÜBER
DIE DINGE BEWAHRT, UND AUF SEINE ART SEINE MITARBEITER STETS
MOTIVIERT.

MEINE FREUNDIN BIRGIT, DIE MIR STETS AUF SEHR LIEBEVOLLE UND GEDULDIGE
ART UNTERSTÜTZUNG UND HILFE IN EINFACHEN UND WENIGER EINFACHEN
SITUATIONEN IST, MÖCHTE ICH AN DIESER STELLE EBENFALLS NENNEN, DURCH
IHREN ZUSPRUCH HABE ICH MIR STETS MEINE HOHE MOTIVATION BEWAHRT.

ALLE WEITEREN MENSCHEN, DIE AUF DIE EINE ODER ANDERE ART POSITIVEN
ANTEIL AN MEINEM LEBEN GENOMMEN HABEN UND NEHMEN, DIE ICH ABER HIER
NICHT ALLE IM EINZELNEN AUFFÜHREN KANN, SEI HIER EBENFALLS GEDANKT.

*ALLES WISSEN BESTEHT IN EINER SICHEREN UND KLAREN ERKENNTNIS.
(RENÉ DESCARTES, 31.03.1596 - 11.02.1650)*

Inhaltsverzeichnis:

0.	Kurzbeschreibung & Fragestellung	3
0.1.	Deutsche Kurzbeschreibung & Fragestellung	3
0.2.	Abstract (in english language)	5
1.	Einführung und Beschreibung des Themas	6
1.1.	Motivation und Hintergründe	6
1.1.1.	Motivation	6
1.1.2.	Hintergründe	8
1.2.	Generelles & Grundsätzliches zur Berechnung von Energiekennzahlen	11
1.3.	Rechtliche Hintergründe des Energieausweises in Österreich	15
1.3.1.	Das Kyoto-Protokoll (und davor)	15
1.3.2.	EU Gebäuderichtlinie 2002 - energieeffiziente Gebäude	18
1.3.3.	Lage in Österreich & Umsetzung der Richtlinie	20
1.3.4.	Ausblick: Europäische Gebäuderichtlinie 2010 - steigende Anforderungen	22
1.3.5.	Möglichkeiten zur Berechnung entsprechend europäischer Gebäuderichtlinie, internationaler und österreichischer Normung und aktueller Gesetze	24
1.3.6.	Energiekennzahlen für Förderungen & Energiekennzahlen für international anerkannte Zertifizierungssysteme	29
1.3.7.	Mögliche rechtliche Probleme in Verbindung mit (falschen) Energieausweisen	31
1.4.	Mediale Rezeption und Kritik am Energieausweis	32
1.4.1.	Mediale Rezeption und Kritik in Medien und durch Fachleute	32
1.4.2.	Kommentar zu den Kritiken	34
2.	Methodik & Rahmenbedingungen der Berechnungen	36
2.1.	Grundsätzliche Methodik	36
2.2.	Der Heizwärmebedarf als Benchmark für einen Vergleich	38
2.3.	Vorstellung der verwendeten Objekte	40
2.3.1.	Vorstellung der verwendeten realen Gebäude	40
2.3.1.1.	Objekt O1	41
2.3.1.2.	Objekt O2	43
2.3.1.3.	Objekt O3	45
2.3.1.4.	Objekt O4	47
2.3.1.5.	Objekt O5	49
2.3.1.6.	Objekt O6	51
2.3.1.7.	Objekt O7	53
2.3.1.8.	Objekt O8	55
2.3.1.9.	Zusammenfassende Datentabelle aller Objekte	57
2.3.2.	Vorstellung der verwendeten virtuellen einfachen Volumina	58
2.4.	Vorstellung der verwendeten Software	61
2.4.1.	Excel-basiertes OIB-Programm (OIB)	61
2.4.2.	Archiphysik 8 (APH)	61
2.4.3.	EDSL TAS (SIM)	62
2.5.	Eingabedaten	63
2.5.1.	Geometrie	63
2.5.1.1.	Grundsätzliches	63
2.5.1.2.	Eingabe der Geometrie in den verwendeten Programmen	64
2.5.1.3.	Einschränkungen / Unterschiede bei den Geometrieangaben	64
2.5.2.	Bauteile	66
2.5.2.1.	Prinzipielles zu den Bauteilen	66
2.5.2.2.	Erforderliche Bauteilangaben für stationäre und dynamische Berechnungen	67
2.5.2.3.	Vorgangsweise bei mangelnden Eingangsdaten	68
2.5.2.4.	Generierte Bauteilaufbauten - Bauteil-"Reengineering"	70

2.5.2.5.	Verwendete Bauteilsets	73
2.5.3.	Wetterdaten	74
2.5.3.1.	Allgemeines	74
2.5.3.2.	Provenienz der Klimadaten	74
2.5.3.3.	Klimadaten in den verschiedenen Berechnungswerkzeugen	75
2.5.3.3.1.	Klimadaten in OIB	75
2.5.3.3.2.	Klimadaten in APH	76
2.5.3.3.3.	Klimadaten in der dynamische Simulation	78
2.5.3.4.	Angleichen der Klimadaten	79
2.5.3.5.	Verwendete Klimadatenfile & Berechnungsschritte zur Anpassung	81
2.5.3.5.1.	Ausgangs-Klimadatenfile (in SIM verwendet)	81
2.5.3.5.2.	Monatsklimadaten (für APH bzw. das Monatsbilanzverfahren)	82
2.5.3.5.3.	Jahresklimadaten bzw. Daten für das Heizperiodenbilanzverfahren (für OIB)	85
2.5.3.5.4.	Zusammenfassender Überblick der Modifikationen an wien_meteonorm und Vergleich der unterschiedlich skalierten Daten	87
2.5.4.	Interne Bedingungen	89
2.5.4.1.	Interne Gewinne / Lasten	90
2.5.4.2.	Luftwechselzahl	93
2.5.4.3.	Raumkonditionierung / angestrebte Innenraumtemperaturen	93
2.5.5.	Zonierung	94
2.5.6.	Weitere Berechnungsparameter	96
<hr/>		
3.	Resultate	97
3.1.	Einleitung	97
3.2.	Resultate der realen Gebäude	98
3.2.1.	Vergleich des resultierenden Heizwärmebedarfs	98
3.2.2.	Vergleich der Resultate als "Bilanzen"	103
3.3.	Resultate der einfachen Volumina	111
3.3.1.	Vergleich des resultierenden Heizwärmebedarfs	111
3.3.2.	Vergleich der detaillierten Resultate	119
3.4.	Zusammenführung der Resultate der realen und virtuellen Objekte	121
<hr/>		
4.	Diskussion, Schlussfolgerungen & zukünftige Forschungen	123
4.1.	Diskussion	123
4.2.	Schlussfolgerungen	126
4.3.	Zukünftige Forschung	128
<hr/>		
5.	Quellenverzeichnis	129
5.1.	Literatur	129
5.1.1.	Literaturangaben	129
5.1.2.	weiterführende Literatur	133
5.2.	Abbildungsverzeichnis	134
<hr/>		
6.	Anhänge	iii

0. Kurzbeschreibung & Fragestellung

0.1. Deutsche Kurzbeschreibung & Fragestellung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit stationären Berechnungen und dynamischen Simulationen von thermischen Energiekennzahlen von Gebäuden.

Bauwerke sind an einem großen Teil des globalen Gesamtenergieverbrauchs und damit an der Emission von Klima beeinflussenden Substanzen und dem Verbrauch nicht erneuerbarer Energieträger beteiligt.

Für Architekten, Ingenieure und Planer hat sich dadurch eine im globalen Interesse liegende, neue Optimierungsaufgabe im Sinne des wirtschaftlichen Minimumprinzips (d.h. ein vorgegebenes Ziel mit geringstem Mitteleinsatz erreichen) entwickelt:

Das vorgegebene Ziel ist der Entwurf, die Planung und Errichtung von gut funktionierenden, architektonisch ansprechenden und für den Gebäudenutzer optimalen Gebäuden.

Der geringe Mitteleinsatz bezieht sich auf die Minimierung der notwendigen Energie, die während Planung, Bau, Betrieb, Sanierung, Um-, Nach- und Neunutzung sowie Außerbetriebnahme und Abbruch eines Gebäudes über die gesamte Lebensdauer verwendet wird.

Gebäude-Energiekennzahlen (EKZ) sind ein Instrument, mit dem der Energieverbrauch von Gebäuden im Betriebszustand beurteilt werden kann. Es gibt verschiedene Ansätze, um solche EKZ zu berechnen, wobei die Zielsetzungen von einfacher Berechenbarkeit und gewährleisteter Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Gebäuden bis zur detailgenauen Simulation der realen energetischen Prozesse am und im Gebäude reichen.

In dieser Arbeit werden EDV-gestützte Berechnungsverfahren, deren Handling sowie deren Resultate betrachtet und verglichen. Zwei Verfahren, die in Österreich zur Umsetzung der nationalen Normen bzw. der europäischen Gebäuderichtlinie 2002 entwickelt wurden, basieren auf relativ einfachen Bilanz-Berechnungen (Monats- bzw. Jahresbasis), während das dritte Verfahren eine detaillierte stündliche Simulation ist.

Dazu werden Berechnungen an realen bestehenden Wohngebäuden aus Wien und simplen virtuellen Volumina mit diesen Berechnungs- bzw. Simulationswerkzeugen durchgeführt. Es wird darauf geachtet, dass die Eingabeparameter so weit vereinheitlicht werden wie möglich, so dass etwaige Differenzen in den Resultaten auf die unterschiedlichen Berechnungsmethoden und nicht etwa auf Unterschiede bei diesen Daten zurückgeführt werden können (sieht man von den verfahrensbedingten unterschiedlichen Skalierungen ab).

Die Anpassung und Form dieser Input-Daten wird im Detail besprochen, ebenso die Handhabung der Programme bzw. Berechnungsmethoden sowie die Resultate.

Weiters wird die Berechnung der energetischen Kennzahlen im Rahmen der österreichischen Gesetzgebung und der Vorgaben auf europäischem Level skizziert, die mit der Neufassung der europäischen Gebäuderichtlinie auch im Wandel begriffen sind.

Folgende prinzipielle Fragestellungen sollen somit behandelt werden:

1. Welche Unterschiede sind bei Gebäude-Energiekennzahlen zu erwarten, wenn diese mit unterschiedlichen Verfahren berechnet werden? Ist ein Vergleich überhaupt möglich und sinnvoll?
2. Was muss bei einem Vergleich der Verfahren und Resultate besonders beachtet werden? Wie kann ein Vergleich systematisch und richtig durchgeführt werden?
3. Wo liegen die sinnvollen Anwendungsbereiche der beiden unterschiedlichen Verfahren und wie verhält sich geltendes Recht hierzu?

Generell ist die dynamische thermische Gebäudesimulation in Österreich - leider - noch nicht all zu weit verbreitet. Dagegen sind stationäre Berechnungsverfahren durch die Anwendung in facheinschlägigen Normen, Gesetzen und kommunalen Förderungsrichtlinien dem Fachpublikum bekannt. Eine Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher auch, zu zeigen, dass der Mehraufwand einer solchen Simulation im Vergleich zu den stationären Berechnungsprogrammen nicht allzu groß ist und ein Einsatz gerade in der Planung durchaus differenziertere Aussagen zulässt als mit stationären Verfahren.

0.2. Abstract (in english language)

This work intends to take a closer look at the different methods of calculation of thermal performance of building.

A large percentage of global energy use is consumed by buildings, thus buildings influence the consumption of non-renewable energy sources and emission of climate-affecting substances.

Architects have to work on new ideas as to how to get a building through it's whole lifecycle as energy-efficient as possible, while offering the necessary thermal comfort for the building's users.

The evaluation of the energy performance of buildings is typically done with the use of indicators. There are several concepts on this, with goals reaching from easy handling and simple comparability of different buildings to exact thermal simulation of real processes.

This work intends to compare handling and results of two steady-state calculations (based on monthly / annual data), that were developed to meet applicable Austrian and International Standards (as the EU's Energy Performance of Buildings Directive EPBD), with a state of the art thermal simulation tool (dynamic hourly calculation).

Calculations and simulations were carried out on existing residential buildings in Austria and on a series of simple volumes. Special attention is paid to the necessary adjustment of input data, so that differences in results can be attributed to the different method of calculation, and not to distinctions in applied input data. The process of adjusting the required data is documented in detail, and results are compared to each other and evaluated.

Furthermore, the legal requisite for energy certificates in Austria is discussed, in connection with upcoming changes in the amended version of EU's EPBD.

Principle questions in this work include:

1. How large is the difference in results, if energy performance indicators of buildings are calculated with different methods? Does a comparison of these results make sense?
2. How can a comparison of methods and results be conducted?
3. What is demanded by law for energy performance indicators?

In Austria the use of dynamic thermal energy performance simulation tools is still not common, while steady state calculations are widely spread, because laws and standards mention them.

This work intends to show, that the extra effort for performing simulations is not exceedingly high in comparison with the steady state calculations.

1. Einführung und Beschreibung des Themas

1.1. Motivation und Hintergründe

1.1.1. Motivation

Die Motivation hinter der Beschäftigung mit Gebäudeenergieperformance und Energiekennzahlen wird durch einige Faktoren beeinflusst:

- Der Anteil am weltweiten Energieverbrauch, der durch Errichtung und Nutzung von Gebäuden verursacht wird, ist sehr groß.
- Lagerstätten nicht erneuerbarer Energieträger sind nicht unbegrenzt. Diese Energieträger - Öl, Gas, Kohle - werden zu einem großen Teil zur Gebäudekonditionierung verwendet.
- Durch die Verknappung dieser Rohstoffe, aber auch durch politische Prozesse steigen die Preise für Energie in der heutigen Zeit an.
- Während bei vielen Produkten Kennziffern seit Jahren gebräuchlich sind ("Kühlschrankschickel", Treibstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen), hinkt der Baubereich immer noch hinterher.
- Im Sinne der Konsumenteninformation und des Konsumentenschutzes gab es bei Errichtung, Kauf und Anmiete von Immobilien bis jetzt kaum Anhaltspunkte über den Energieverbrauch für Nicht-Fachleute.
- Energiekennzahlen sind für viele Hilfsbranchen des Bauwesens üblich (z.B. Kennwerte zur Dimensionierung von Heizungsanlagen), werden aber noch immer kaum im Gesamtkontext des Gebäudes angewendet.
- In den letzten Jahren haben sich speziell im anglo-amerikanischen Raum Zertifizierungssysteme für Gebäude entwickelt, in denen die Gebäudeenergieperformance ein wichtiger Bestandteil ist. Diese Zertifizierungssysteme werden zunehmend mehr verwendet und bedingen die Entwicklung entsprechender Kennzahl-Rahmen für ihre Anwendung.

Innerhalb dieses spannenden Umfelds haben sich in den letzten 10 Jahren - vor allem durch die Triebfeder des Klimaschutzes - auf europäischer, aber auch nationaler Ebene gesetzliche Anforderungen für Energiezertifikate entwickelt. Eine kritische Auseinandersetzung mit der Materie ist auch deshalb wichtig, da es eine Vielzahl von Kennziffern gibt und die gesetzlichen Bestimmungen und Vorgaben des in Österreich aktuell gültigen Berechnungsverfahrens sich in laufendem Wandel befinden. Mit dieser Arbeit soll

zur Möglichkeit beigetragen werden, einen differenzierten Blick auf die Resultate einiger Berechnungsverfahren für eine Energiekennzahl werfen zu können.

1.1.2. Hintergründe

Seit den frühesten Tagen der Menschheit ist der Mensch auf der Suche nach "komfortabler" Behausung. Je nach geographischem Standort steht dabei - neben anderen Schutzbedürfnissen - der Schutz vor Kälte, Hitze, Niederschlag, Schnee und ähnlichen klimatischen Einflüssen im Vordergrund. Die "dritte Haut", also nach der anatomischen Hautschicht und der Kleidung, ist die Behausung geworden. Der gesuchte Komfort kann als thermischer Komfort folgendermaßen definiert werden.

Thermischer Komfort ist definiert als der Geisteszustand, der Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt.

Thermal comfort is a condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment.¹

Für den Mensch ist thermischer Komfort - im deutschsprachigen Raum wird auch von "Behaglichkeit" gesprochen - wichtig, da dauerhafter, mangelnder thermischer Komfort zu gesundheitlichen Problemen und weiteren damit verbundenen Problemen, wie abnehmender Produktivität am Arbeitsplatz, etc. führen kann. In der Fachliteratur (z.B. *Lutz.et.al. Lehrbuch der Bauphysik, 2002*) werden folgende Einflussparameter auf den thermischen Komfort von Menschen genannt:

- Lufttemperatur und Strahlungstemperatur der umgebenden Oberflächen
- Luftgeschwindigkeit
- relative Feuchtigkeit der Luft
- Aktivitätsgrad und Bekleidung der Gebäudenutzer

Im gemäßigten Klima Mitteleuropas ist es zur Gewährleistung von thermischem Komfort in Gebäuden notwendig, dass es in Innenräumen im Winter ausreichend warm und im Sommer angenehm kühl bleibt.

Architekten, Ingenieure und Gebäudeplaner haben durch die Ausgestaltung der Bauwerke großen Einfluss darauf, ob in einem Gebäude die angestrebte thermische Behaglichkeit mit geringem oder großem Aufwand zu erreichen ist und tragen damit eine große Verantwortung.

In den frühen Bautraditionen der Menschen wurden in fast allen Kulturen klimatische Aspekte bei den Bauwerken berücksichtigt. Gebaut wurde mit den zur Verfügung stehenden einfachen Materialien, in einer Art und Weise, die für den Gebäudenutzer und die

¹ ISO 7330, ASHRAE 55-2004

entsprechende Nutzung optimal waren.² Aus Mangel an Alternativen wurden die Bauwerke so errichtet, dass sie mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Nutzbarkeit und Komfort boten.

Durch die Entwicklung von entsprechender Technologie und der ausreichenden und preiswerten Verfügbarkeit von Energie war es später möglich in jedem beliebigen Gebäude ein komfortables Raumklima zu erreichen. Dadurch wurden Gebäudetechnologien angewandt, die nur unter großem Energieeinsatz komfortable Bedingungen aufrecht erhalten konnten. Als Beispiel aus der heutigen Zeit seien die vielen rundum verglasten Bürohochhäuser genannt, die im Sommer, wie auch im Winter eine große Menge an Energie zur Raumkonditionierung benötigen:

"Alleine der außeninduzierte Kühlbedarf – d.h. der Kühlbedarf ohne Berücksichtigung der internen Wärmelasten von Geräten und Personen – liegt bei vollverglasten Bürogebäuden bei rund 40 kWh pro m² und Jahr"³

Viele der früheren, "passiven" Bautraditionen gerieten im Laufe der Zeit in Vergessenheit.

Bis zum Jahre 1973 - der ersten Ölkrise - wurde kaum darüber nachgedacht, wie viel Energie durch Gebäude verbraucht werden darf, da Energie in sehr günstiger und sehr reichhaltiger Form zur Verfügung stand.

Seit 1973, und verstärkt durch die aufkommende Diskussion über die klimatischen Auswirkungen extensiven Gebrauchs nicht-erneuerbarer Energieträger, bestehen Bestrebungen den Energieverbrauch von Bauwerken bei Beibehaltung entsprechenden thermischen Komforts so niedrig wie möglich zu halten. Daher studiert man heute wieder die traditionellen, "passiven" Bautraditionen, um daraus für die Zukunft zu lernen.⁴

Ebenso wie es Einflussparameter für den thermische Komfort eines Menschen gibt, gibt es auch auf Gebäude Einwirkungen, die den Energiebedarf für ein komfortables Innenraumklima beeinflussen. Deren Auswirkung auf Bauten beruht im Wesentlichen auf physikalischen Zusammenhängen.

Um zu ermitteln, wie viel Energie für Heizung und Kühlung eines Gebäudes erforderlich ist, bedarf es Messungen und/oder (prädiktiver) Berechnungen. Beide Konzepte haben ihre Vor- und Nachteile.

² vgl. Hausladen und Tichelmann, 2009.

³ Hatzenbichler et.al. 2007, S.22.

⁴ vgl. z.B. Mahdavi 1989

Messungen können nur an bereits (zumindest zum Teil) bestehenden Objekten durchgeführt werden und haben daher nur ein bedingtes Potential, prinzipielle Energie einsparende Gestaltungsprinzipien von Gebäuden zu beeinflussen. Allerdings kann man für zukünftig zu erstellende Objekte daraus lernen. Da die Einflüsse auf das Innenraumklima vielseitig sind und auch stark durch individuellen Vorlieben nachgehenden Gebäudenutzer beeinflusst werden, ist das Messen oftmals komplex und mit großem Aufwand verbunden. Gerade um das Nutzerverhalten besser verstehen zu können, sind Messungen ein sehr gutes Instrument.

(Prädiktive) Berechnungen können und sollten dagegen bereits in der Konzeptions- und Planungsphase eines Gebäudes angewendet werden, um eine angestrebte Energieeffizienz laufend zu berechnen und zu bestätigen. Bei solchen Rechnungen müssen Annahmen getroffen werden, zum Beispiel betreffend die angestrebte Innenraumtemperatur oder den stattfindenden Luftwechsel. Um Bauwerke überhaupt vergleichbar zu machen, gibt es daher Normen mit entsprechenden Werten (für Wohnbauten wird für die gewünschte Innentemperatur in Österreich 20°C eingesetzt; für den Luftwechsel wird 0,4 h⁻¹ angenommen).

Die Grenzen der Berechnungen zur Realität liegen überall dort, wo das Modell der Realität nicht nahe genug kommt bzw. kommen kann. Dafür gibt es viele potentielle Gründe: Ausführungsfehler am Bauwerk, von den angenommenen Werten abweichendes Nutzerverhalten, verändernde Klimabedingungen im Laufe der Zeit, und vieles mehr. Auch die Akquise von Eingabedaten für eine akkurate Berechnung kann schwierig sein, wenn beispielsweise keine Daten über das am Bauplatz vorherrschende (Mikro-)Klima vorhanden sind.

Im Zeitalter der computergestützten Datenverarbeitung wurden die zahlreichen - teilweise durch händische Berechnung nicht ohne Weiteres durchführbaren - Kalkulationsmethoden in Programme implementiert, die die hochkomplexe Bauphysik in vereinfachter oder detaillierter Form nachmodellieren. Damit sind detailreiche Berechnungen auch für große Gebäude mit vertretbarem Aufwand machbar geworden.

Die generellen zugrunde liegenden Zusammenhänge sollen im nächsten Kapitel vorgestellt werden.

1.2. Generelles & Grundsätzliches zur Berechnung von Energiekennzahlen

Das Innenraumklima, vor allem die Raumtemperatur, unterliegt wie bereits angesprochen einer Vielzahl von Einflüssen. Für den thermischen Komfort von Menschen ist es wichtig, dass bestimmte Grenztemperaturen nicht unter- bzw. überschritten werden.

In der ÖNORM B8110-5 ist für Wohnbauten in Österreich eine (permanente) Raumtemperatur von mindestens 20°C vorgesehen. Für Wohngebäude gibt es keine vorgesehene Maximaltemperatur, für Bürogebäude sollten 26°C nicht überschritten werden.

Um zu vermeiden dass diese Grenztemperaturen im Winter unter- bzw. im Sommer überschritten werden, ist in der Regel Heizen oder Kühlen erforderlich.

Für den Winterfall (d.h. Gebäudeheizung) gibt es in Österreich etliche Energiekennzahlen, die gebräuchlichste ist der **Heizwärmebedarf (HWB)**, der auch in dieser Arbeit als Haupt-Indikator verwendet wird.

Der Energiekennzahl Heizwärmebedarf wird folgendermaßen definiert:

*"Gibt jene Energiemenge (= Normenergieverbrauch) in kWh pro m² Bruttogeschossfläche an, die für die Beheizung mit einer konstanten Innentemperatur des Gebäudes an einem bestimmten Standort (bei durchschnittlicher, genormter Benützung und durchschnittlichen Winter) in einem Jahr notwendig ist."*⁵

bzw. anders formuliert:

*"Der Heizwärmebedarf gibt die durch Berechnung ermittelte Wärmemenge an, die im langjährigen Mittel während einer Heizsaison den Räumen des Gebäudes zugeführt werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur sicherzustellen."*⁶

Eine vereinfachte Darstellung lautet auch:

*"Wärme, die den beheizten Räumen im Winter zugeführt werden muss, damit es innen angenehm warm bleibt."*⁷

Aus Gründen der Vergleichbarkeit bezieht man den Heizwärmebedarf auf einen Zeitraum (Monate oder Jahre) und auch auf ein Flächen- oder Volumenmaß. In Österreich hat sich durchgesetzt, dass man den auf die beheizte Bruttogeschossfläche (BGF_{beh}) bezogenen, jährlichen Heizwärmebedarf als Kennzahl verwendet. Das in der Norm gebräuchliche

⁵ <http://www.energiesparhaus.at/energieausweis/energiekennzahl1.htm>

⁶ Richtlinie der MA25 für die Berechnung von Energiekennzahlen, 2007

⁷ Bednar 2009

Formelzeichen ist Q_H , die verwendete Einheit sind Kilowattstunden pro Quadratmeter BGF_{beh} und Jahr $[\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$.

Der Heizwärmebedarf hängt von verschiedenen thermodynamischen Einflüssen ab, die sich im Groben als Verluste und Gewinne wie folgt kategorisieren lassen:

- Transmissionswärmeverluste Q_T $[\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$

Darunter versteht man die Prozesse der Wärmeleitung durch die Gebäudehülle (vom warmen Innenraum in einen kühleren Außen- oder Pufferraum).

Wie viel Energie durch die umgebenden Hüllflächen verloren geht, hängt von der thermischen Qualität der umgebenden Bauteile ab.

- Lüftungswärmeverluste Q_V $[\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$

Es handelt sich um konvektive Wärmebewegungen mit strömender Luft vom Warmen zum Kalten durch (die hygienisch notwendige) Lüftung und undichte Stellen in der Gebäudehülle.

- Solare Gewinne Q_s $[\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$

Die solare Einstrahlung durch Direkt- und Diffusstrahlung (Globalstrahlung) bedingt einerseits eine Aufheizung der Bauteile, auf die sie auftrifft, andererseits dringt sie durch transparente Bauteile ins Gebäudeinnere ein und führt so zu einer Erwärmung

- Interne Gewinne Q_i $[\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}]$

Die Verwendung der Gebäude durch Nutzer produziert Wärme, und zwar durch

- die Wärmeabgabe der Menschen selbst (abhängig vom Aktivitätsgrad)
- Abwärme im Gebäude verwendeter künstlicher Beleuchtung
- Abwärme im Gebäude verwendeter elektrischer Geräte

Die meisten Einflüsse sind zeitlichen Schwankungen unterworfen, so ist die solare Einstrahlung sowohl durch Tages- und Nachtschwankungen, wie auch saisonale Schwankungen nicht immer gleich hoch. Ebenso sind Transmissions- und Lüftungswärmeverluste abhängig von der Außentemperatur, daher besteht auch hier eine laufende Schwankung. Die internen Gewinne sind ebenso veränderlich, beispielsweise wird unter Tags weniger Wärme durch künstliche Beleuchtung anfallen. Außerdem gibt es - je nach Gebäudenutzung - auch zeitliche Schwankungen in der Anwesenheit und Aktivitätsrate

der Nutzer. Ein Bürogebäude wird nach Feierabend und an Wochenenden nur sehr wenige Gebäudenutzer haben, ebenso ein Schulgebäude in Ferienzeiten. Ein Wohngebäude hingegen ist - aufgrund unterschiedlicher Lebensmodelle - sehr schwer einschätzbar, da beispielsweise Pensionisten im Gegensatz zu arbeitstätigen oder in Ausbildung befindlichen Personen untertags durchaus zuhause sein können.

Folgende Abbildung zeigt, dass die vier Kategorien aus sehr vielen einzelnen Einflüssen bestehen, die einander gegenseitig beeinflussen können.

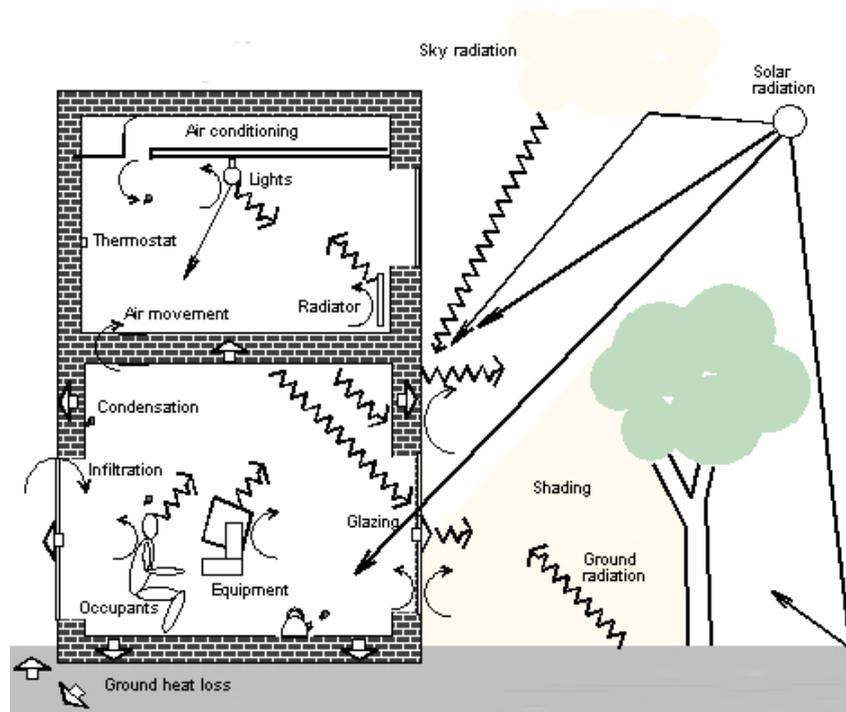


Abbildung 1.1: Thermische Einflüsse auf ein Gebäude (EDSL, 2007)

Da eine genaue Aufnahme all dieser Faktoren in der Regel mit einem nahezu unerfüllbaren Messvolumen einhergeht und in der Regel im Vorhinein auch nicht ableitbar ist, hat es sich durchgesetzt, bestimmte Standardannahmen zu tätigen.

Beispielsweise fasst die ÖNORM B 8110-5 die internen Gewinne in Wohngebäuden zu einem Wert von 3,75 W/m² zusammen, die permanent, d.h. rund um die Uhr, für den gesamten Berechnungszeitraum angesetzt werden.

Der Zusammenhang zwischen der für die Gebäudeheizung notwendigen Energiemenge und den vier Gewinn- bzw. Verlustkategorien lässt sich mit der sogenannten Wärmebilanzgleichung darstellen:

$$Q_H = (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_i + Q_S) \quad [\text{Formel 1.1.}]$$

Der Zusammenhang aus Formel 1.1. wird - wenn auch mehr oder weniger abgewandelt - in allen Berechnungsverfahren verwendet, die den Heizwärmebedarf berechnen.

Der Faktor η wird Ausnutzungsgrad genannt und kommt im Verfahren nach ÖNORM B-8110 vor. Er reduziert den Einfluss der Wärmegewinne, weil davon ausgegangen wird, dass Wärmegewinne nicht zur richtigen Zeit oder am richtigen Ort anfallen und daher nicht zur Reduktion des Heizwärmebedarfs herangezogen werden dürfen.

All diese Parameter fließen sowohl in stationäre Berechnungen, wie den des österreichischen Energieausweises, als auch in dynamische Simulationen vereinfacht oder detailliert ein, wie im weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit noch gezeigt wird.

1.3. Rechtliche Hintergründe des Energieausweises in Österreich

1.3.1. Das Kyoto-Protokoll (und davor)

Betrachtet man den Leitfaden "Energietechnisches Verhalten von Gebäuden" des Österreichischen Instituts für Bautechnik aus dem Jahre 2007, findet man unter "4.3.2 Von den einzelnen Bundesländern festgelegte Wärmedurchgangskoeffizienten" die in den historischen Bauordnungen der einzelnen Bundesländer Österreichs erforderlichen Mindest-U-Werte. Sieht man davon ab, dass im Bundesland Niederösterreich bereits im 19. Jahrhundert gewisse Mindestanforderungen an Ziegelkonstruktionen gestellt wurden, lässt sich generell sagen, dass um die Jahre 1976-1980 erstmals in Österreich rechtlich verbindliche Erfordernisse über die thermische Qualität von Bauten in Landesgesetzen gefordert wurden (entsprechend Kompetenzverteilung in den Artikeln 10-15 Bundesverfassungsgesetz B-VG ist das Baurecht Landessache)

Der Grund dafür dürfte in der Energie/Ölkrise des Jahres 1973 liegen, während dieser in westlichen Staaten durch ein politisch motiviertes Förderembargo der nahöstlichen Ölförderstaaten bzw. deren Vereinigung OPEC in relativ kurzer Zeit der Preis für Rohöl um 70% anstieg (von unter 3\$ pro Barrel auf über 5\$ pro Barrel). Infolgedessen stiegen die Preise für Produkte, die aus Rohöl gewonnen wurden, ebenfalls an - dadurch waren neben dem motorisierten Individualverkehr (Benzin, Diesel) natürlich auch die Haushalte betroffen, die in der kalten Jahreszeit größtenteils mit Heizöl Raumwärme erzeugten.

Gesteigerte Anforderungen an die thermische Qualität der Gebäudehülle, wie sie in den Bauordnungen der Länder zwischen 1976 und 1980 implementiert wurden, konnten zu einer Verringerung des Heizwärmebedarfs und damit zu einer Verringerung der notwendigen Menge Brennstoff führen. In geringem Ausmaß konnte mit diesen Maßnahmen - so glaubte man - die Abhängigkeit von den Öllieferungen aus dem nahen Osten verringert werden. Die Motive kamen also vor allem aus einem wirtschaftlichen Denken, und (noch) nicht aus umweltfreundlicher Gesinnung.

Die beginnende Sorge um gesunde Lebensverhältnisse in Österreich lässt sich mit der 1978 erfolgten Volksabstimmung über das Kernkraftwerk Zwentendorf dennoch in dieser Zeit finden: Mit dem Atomsperrgesetz 1978 wurde die rechtliche Basis gelegt, dass in Österreich keine Atomkraftwerke ohne Volksabstimmung errichtet werden dürfen. 1999 wurde außerdem das im Verfassungsrang befindliche Bundesverfassungsgesetz für ein atomfreies

Österreich beschlossen, seitdem dürfen in Österreich überhaupt keine Atomkraftwerke mehr errichtet oder in Betrieb genommen werden.

Weiters ist die Besetzung der Hainburger Au im Jahre 1984 zu nennen, mit der die Errichtung eines Wasserkraftwerkes erfolgreich verhindert und damit ein Bekenntnis zum Umweltschutz gemacht wurde.

Einem breiten Publikum wurde die bis dahin kaum genannte Gefahr einer Klimaerwärmung durch anthropogene Einflüsse durch die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen bekannt, die 1992 in Rio de Janeiro von vielen Staaten unterzeichnet wurde. Hier wurden viele Faktoren genannt und vergangene Übereinkommen - wie z.B. das Wiener Übereinkommen zum Schutze der Ozonschicht von 1985 - zusammengefasst. In Artikel 2 heißt es:

*"Das Endziel dieses Übereinkommens und aller damit zusammenhängenden Rechtsinstrumente, welche die Konferenz der Vertragsparteien beschließt, ist es, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Bestimmungen des Übereinkommens die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann."*⁸

Bemerkenswert erscheint, dass hier - gewissermaßen präventiv - beschlossen wurde, weitere Abkommen und Einzelmaßnahmen zu beschließen, falls notwendig. Für die Politik war der anthropogene Einfluss auf die Atmosphäre zu diesem Zeitpunkt nämlich wissenschaftlich noch nicht hinreichend erwiesen.

Die folgenden UN-Mandate COP1 und COP2 in Berlin und Genf führten dann zu dem Weltklimagipfel 1997 in Kyoto, wo verbindlich Emissionsreduktionen der Treibhausgase für Industrienationen beschlossen wurden. Als Maßstab der Emissionen wurden die Emissionen der Länder aus dem Jahr 1990 herangezogen und für einzelne Ländergruppen bestimmte anzustrebende Limiten beschlossen.

Inwieweit diese beschlossenen Einsparungen nun Gebäude im weitesten Sinne betreffen, lässt sich anhand von zahllosen Statistiken und Diagrammen zeigen. Hinsichtlich des genauen Anteils von Gebäuden an Energieverbrauch und CO₂-Emissionen bestehen natürlich regionale und systemische Unterschiede, im Allgemeinen wird der Anteil am Energieverbrauch zwischen 30 und 50 Prozent angegeben. Laut dem Grünbuch zur

⁸ UNO [Hrsg.] 1992

Energieeffizienz der europäischen Union (EU, 2005, Anhang 4) machen Heizung und Beleuchtung von Wohn- und Geschäftsgebäuden 40% der in der EU verbrauchten Energie aus. Es sei exemplarisch hier folgendes Diagramm gezeigt, welches den Anteil von Wohn-, Gewerbe- und Industriebauten am Gesamtenergieverbrauch der Europäischen Union auf etwa 50% setzt.

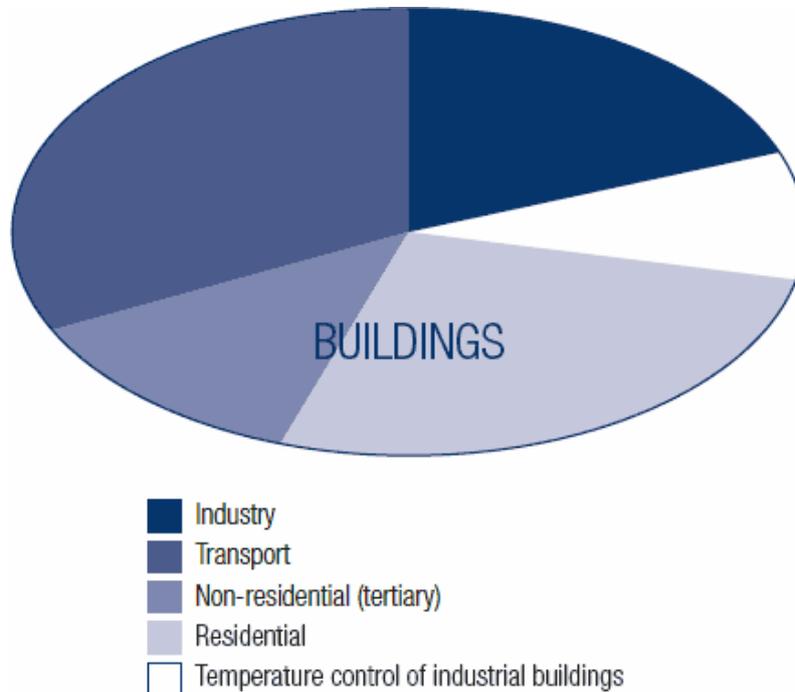


Abbildung 1.2: Energieverbrauch in der EU. Etwa 50% wird durch Gebäude verursacht.
(Firma Kingspan, <http://paneele.kingspan.at/images/1112105752.png>, 07.01.2011)

1.3.2. EU Gebäuderichtlinie 2002 - energieeffiziente Gebäude

Die europäische Union strebt in Folge des Kyoto-Protokolls Klimaschutzziele an, die durch die europäische Gebäuderichtlinie 2002 und die Novelle 2010 auch Gebäude und damit Architektur und Bautechnik beeinflussen.

Die europäische Union verfolgt seit den 1970er Jahren eine gemeinsame Umweltpolitik, wenn auch in den Anfangsjahren mehr eine reaktive Politik auf bereits angerichtete Umweltschäden im Vordergrund stand. In den sich in einem dynamischen Prozess entwickelnden und fortschreitenden Beschlussfassungen der Europäischen Union finden sich auch Bekenntnisse zu einer gemeinsamen Umweltpolitik. Im Vertrag von Maastricht von 1992 wurde betreffend dem Umweltschutz folgendes festgehalten:

*Die Tätigkeit der Gemeinschaft im Sinne des Artikels 2 umfasst nach Maßgabe dieses Vertrags und der darin vorgesehenen Zeitfolge [...] eine Politik auf dem Gebiet der Umwelt; [...]*⁹

Prinzipielle Vorgangsweisen zur Erreichung der Ziele des Kyoto-Protokolls waren und sind daher im Interessensbereich der Mitgliedsstaaten und der Europäischen Union.

Man unterscheidet primäres Gemeinschaftsrecht, in dem neben anderen Vertragsinhalten die Grundfreiheiten und allgemeine Rechtsgrundsätze festgehalten sind und welches unmittelbare Geltung in den EU-Mitgliedsstaaten hat, und sekundäres Gemeinschaftsrecht, welches mittels Richtlinien und Verordnungen erst durch die Mitgliedsstaaten in nationales Recht zu implementieren ist.¹⁰

Das Umweltrecht und auch die rechtlichen Belange betreffend Effizienzsteigerung von Gebäuden sind im sekundären Gemeinschaftsrecht beheimatet.

Der erste Entwurf der EU-Kommission für eine europäische Gebäuderichtlinie erfolgte im Jahr 2001, im Dezember 2002 wurde dann die EU-Richtlinie 2002/91/Eg ("EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäude" - kurz EPBD) verabschiedet, die am 04.01.2003 mit einer Umsetzungspflicht für die Mitgliedsstaaten von 3 Jahren in Kraft trat.

⁹ EU (Hrsg.), 1992

¹⁰ vgl. Grabenwarter et.al. 2008

Folgende Anforderungen stellt die EU-Gebäuderichtlinie (entnommen aus Holzapfel et al. 2009):

- Art. 3.: Festlegung einer umfassenden Berechnungsmethode für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die gewisse Kriterien erfüllen muss (Gebäudehülle, Heizungsanlage, Warmwasserversorgung, bei Nutzbauten auch Klimaanlage, Belüftung und Beleuchtung)
- Art. 4.: Festlegung energetischer Mindeststandards für Gebäude, wobei zwischen neuen und bestehenden Gebäuden und verschiedenen Gebäudetypen differenziert werden kann. Gewisse Gebäudetypen können überdies von dieser Regelung ausgenommen werden (zB Denkmalschutz, Kirchen)
- Art. 5.: Energetische Mindeststandards für Neubauten, Abwägung alternativer Energieträger verpflichtend bei Gebäuden über 1000 m² vor Baubeginn
- Art. 6: Energetische Mindeststandards für bestehende Gebäude oder Gebäudeteile mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1000 m², die einer umfassenden Sanierung unterzogen werden.
- Art 7.: Vorlage eines max. 10 Jahre alten Energieausweises bei Bau, Verkauf oder Vermietung eines Gebäudes; Anbringung eines Energieausweises in öffentlich genutzten Gebäuden an einer gut sichtbaren Stelle
- Art. 8.: Periodische Inspektion von Kohle und Ölkesseln ab 20 kW Nennleistung; Einmalige Inspektion der gesamten Heizanlage ab einem Kesselalter von 15 Jahren; alternativ dazu Beratungsmaßnahmen über Austausch von Kesseln
- Art. 9.: Periodische Inspektion von Klimaanlagen ab 12 kW Nennleistung.
- Art 10.: Erstellung der Energieausweise und Durchführung der Inspektionen durch unabhängige und qualifizierte Fachleute.

1.3.3. Lage in Österreich & Umsetzung der Richtlinie

Die europäische Gebäuderichtlinie wurde in Österreich in dem 2006 beschlossenen Energieausweisvorlagegesetz (BGBl. I Nr. 137/2006, voller Name: Bundesgesetz über die Pflicht zur Vorlage eines Energieausweises beim Verkauf und bei der In-Bestandgabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten - EAVG) umgesetzt, wie in diesem Gesetz auch im §9 festgehalten wird.

Holzapfel erwähnt, dass sich in Österreich, wie auch in anderen EU-Ländern, die Implementierung der EPBD über den von der EU angestrebten Zeitpunkt (04.01.2006) bis in den Anfang des Jahres 2009 hinzog.¹¹

Dieses Bundesgesetz regelt die Pflicht des Verkäufers oder Bestandgebers beim Verkauf oder bei der In-Bestandgabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten dem Käufer oder Bestandnehmer einen Energieausweis vorzulegen. (§1).

Das Gesetz trat für Neubauten (d.h. Gebäude deren Baubewilligung nach dem 1. Jänner 2006 datiert) mit 1. Jänner 2008 in Kraft, für bestehende Gebäude (d.h. Baubewilligung vor 1. Jänner 2006) mit 1. Jänner 2009 (§7).

Die Folge dieser Fristen war, dass ab Herbst 2008 eine wahre Flut an Energieausweis-Beauftragungen für Bestandsbauten an Architekten, technische Büros, Baufachleute und sogar Professionisten wie Rauchfangkehrer erging. Allerdings muss man auch festhalten, dass etliche Hausbesitzer und Hausverwaltungen mittels Abstimmungen von der - mit Kosten verbundenen - Erstellung des Energieausweises Abstand genommen haben.

Im Gesetz ist unter der Definition von Energieausweis (§2.3) folgendes nachzulesen:

"§2. In diesem Gesetz bezeichnet der Ausdruck

[...]

3. 'Energieausweis' oder 'Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz' den jeweils anwendbaren, der Umsetzung der Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, ABl. Nr L.1 vom 4. Jänner 2003, S. 65, dienenden bundes- oder landesrechtlichen Vorschriften entsprechenden Ausweis, der die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes angibt".

In diesem Paragraphen weist der Gesetzgeber sehr deutlich darauf hin, dass sowohl aktuelle bundes- wie auch landesrechtliche Vorschriften für den Energieausweis bzw. dessen Erstellung heranzuziehen sind. Damit sind die Bauordnungen als Landesvorschriften und etwaige Gesetze, die auf Bundesebene Inhalte haben, die den Energieausweis bzw. dessen Form adressieren, inkludiert.

¹¹ Holzapfel et al. 2009, S. 18

Nach der Neufassung der europäischen Gebäuderichtlinie ist zu erwarten, dass das Energieausweisvorlagegesetz in (naher) Zukunft (Umsetzung in nationales Recht bis 9. Juli 2012, Inkrafttreten im nationalen Recht 9. Januar 2013) Abänderungen oder eine Novelle erfahren wird, da hier doch einige Veränderungen angestrebt werden. Beispielsweise wird es in Zukunft Verpflichtungen zur Angabe des Indikators der Gesamtenergieeffizienz in Verkaufs- oder Vermietungsanzeigen in kommerziellen Medien geben.

In dieser Arbeit wird die rechtliche Wirkung des Energieausweises und des EAVG, die über Bauen und Energieausweiserstellung hinausgeht, nicht näher behandelt - die entsprechenden Rechtsmaterien, beispielsweise Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz (WGG), Wohnungseigentumsgesetz (WEG) und Mietrechtsgesetz (MRG) können in der Fachliteratur (Speziell Holzapfel et.al. 2009) eingesehen werden.

In 1.2.6. und 1.4. werden lediglich die zivilrechtlichen Konsequenzen durch falsche Energieausweise und die Akzeptanz des Energieausweises durch verschiedene Interessensverbände skizziert.

1.3.4. Ausblick: Europäische Gebäuderichtlinie 2010 - steigende Anforderungen

Die europäische Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden 2010/31/EU wurde am 19. Mai 2010 beschlossen und trat mit 8. Juli 2010 in Kraft.

Signifikante Änderungen werden sich in den EU-Mitgliedsstaaten erst nach der Umsetzung in nationales Recht ergeben. Diese werden folgende Veränderungen bedingen:

- In Hinkunft besteht die unmittelbare Verpflichtung, dass Vermieter und Verkäufer von Gebäuden einen Energieausweis vorlegen müssen. Ebenso müssen in Hinkunft in Verkaufs- und Vermietungsanzeigen die Daten des Energieausweises genannt werden.

Bis jetzt galt bei Nicht-Vorliegen bzw. Nicht-Vorlegen von Energieausweisen der Endenergiebedarf einer der Art und dem Alter des Gebäudes entsprechenden Gesamtenergieeffizienz als vereinbart. Mangels näherer Definitionen und Referenzbeispiele handelte es sich hier um eine der fragwürdigsten Formulierungen der bisherigen Richtlinie und ihrer Umsetzung in Österreich.

- Bis jetzt gab es Ausnahmeregelungen zum Aushang und zur Erstellnotwendigkeit, die sich auf eine Mindestnutzfläche von 1000 m² stützten, d. h. viele kleine Gebäude waren ausgenommen. In Hinkunft werden diese Flächengrenzen auf 500 und später auf 250 m² gesenkt, das heißt, dass viele kleinere Gebäude in der Zukunft Energieausweise benötigen werden.
- Eine Rechtsverbindlichkeit der Energieausweise wird in der Neufassung bestärkt. Hier heißt es nun: Über die möglichen Wirkungen dieser Ausweise bei etwaigen Gerichtsverfahren wird nach dem innerstaatlichen Recht entschieden.
- Es ist in Zukunft von den Gebietskörperschaften ein Verzeichnis der befähigten Personen und Unternehmen zu führen, die berechtigt sind Energieausweise zu erstellen. (Bisher war das nicht der Fall, obwohl das Bundesministerium für Wirtschaftliche Angelegenheiten durch eine Reihe von Erlässen Gewerbetreibende von bau- und heizungsspezifischen Branchen sowie Ziviltechniker entsprechender Fachrichtungen befugt hat, Energieausweise auszustellen).
- Es wird strikte Anforderungen geben, die bis 2020 umgesetzt werden. Danach soll es in der EU nur mehr Neubauten geben, die einem "Fast-Nullenergiegebäude" entsprechen.

Laut Mikulits¹² werden sich diese Anforderungen in Novellen der OIB-Richtlinie niederschlagen, in denen auch einige andere Änderungen geplant sind. So sollen beispielsweise die Ausnahmen, die bisher genannt wurden, überarbeitet werden.

Laut Holzapfel¹³ ist bis jetzt die Schnittstelle zwischen den unterschiedlichen Ausnahmeregelungen problematisch - in Wien sind diese im Moment sehr weit gefasst: So gelten bestehende Gebäude in Schutzzonen als von der Verpflichtung zur Ausstellung eines Energiezertifikats befreit. Wenn in diesen Schutzzonen jedoch ein nicht denkmalgeschützter, schmuckloser Plattenbau aus den 70er Jahren steht, läge nach der Vorgabe der EPBD ein Bestand vor, wo eine Ausstellung des Zertifikats und eine potentielle Sanierung keine untragbare Änderung des äußeren Zustands darstellt (vgl. Holzapfel, S.214). Ebenso sind in Wien Häuser mit Substandardwohnungen ausgenommen (§119 WBO), dies sieht die EPBD aber nicht vor.

Im Zuge dieser Überlegungen wird die Übernahme der neuen EPBD 2010 in nationales Recht spannende Veränderungen bringen, die den stark kritisierten Energieausweis (siehe 1.4.) verbessern könnten.

¹² Mikulits R., 2010:

¹³ Holzapfel et.al. 2009, S. 214 ff.

1.3.5. Möglichkeiten zur Berechnung entsprechend europäischer Gebäuderichtlinie, internationaler und österreichischer Normung und aktueller Gesetze

Im Energieausweisvorlagegesetz selbst wird keine Berechnungsmethode erwähnt, sondern lediglich auf jeweils gültige Bundes- und/oder Landesvorschriften verwiesen. Es stellt sich daher die Frage, welche Berechnungsverfahren es einerseits gibt, und andererseits, welche Berechnungsverfahren für welche Zwecke in Österreich und international vorgeschrieben sind.

In der EBPD wird zu Berechnungsmethoden unter anderem Folgendes festgehalten:

"[...]

(11) Die Kommission beabsichtigt eine Weiterentwicklung von Normen wie EN 832 und prEN 13790, auch unter Berücksichtigung von Klimaanlage und Beleuchtung.

[...]

Artikel 3: Festlegung einer Berechnungsmethode

Zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wenden die Mitgliedstaaten auf nationaler oder regionaler Ebene eine Methode an, die sich auf den im Anhang festgelegten allgemeinen Rahmen stützt. Die Teile 1 und 2 dieses Rahmens werden nach dem Verfahren des Artikels 14 Absatz 2 unter Berücksichtigung der Standards oder Normen, die in den Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten angewandt werden, an den technischen Fortschritt angepasst.

Diese Methode wird auf nationaler oder regionaler Ebene festgelegt.

Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ist in transparenter Weise anzugeben und kann einen Indikator für CO₂-Emissionen beinhalten.

[...]

ANHANG

Allgemeiner Rahmen für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Artikel 3)

1. Die Methode zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

umfasst mindestens folgende Aspekte:

- thermische Charakteristik des Gebäudes (Gebäudehülle, Innenwände usw.). Dies kann auch die Luftdichtheit umfassen,*
- Heizungsanlage und Warmwasserversorgung, einschließlich ihrer Dämmcharakteristik,*
- Klimaanlage,*
- Belüftung,*
- eingebaute Beleuchtung (hauptsächlich bei Nutzgebäuden),*
- Lage und Ausrichtung der Gebäude, einschließlich des Außenklimas,*
- passive Solarsysteme und Sonnenschutz,*
- natürliche Belüftung,*
- Innenraumklimabedingungen, einschließlich des Innenraum-Sollklimas.*

[...]"

Es wird also einerseits lanciert, dass fachspezifische Normen, wie die EN ISO 13790 - "Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung" - weiterentwickelt werden, andererseits wird festgehalten, dass die Festlegung einer Berechnungsmethode auf nationalem oder regionalem Level frei wählbar ist, solange bestimmte Mindestanforderungen eingehalten werden.

In der erwähnten EN ISO 13790 werden zwei prinzipielle Berechnungsverfahren erwähnt:

- *quasi-stationäre Verfahren, bei denen die Wärmebilanz für eine ausreichend lange Zeit (typischerweise ein Monat oder eine gesamte Heiz-/Kühlperiode) berechnet wird, was die Berücksichtigung von dynamischen Auswirkungen durch einen empirisch bestimmten Ausnutzungsgrad der Einträge und/oder Verluste ermöglicht;*
- *dynamische Verfahren, bei denen die Wärmebilanz mit kurzen Zeitschritten (typischerweise eine Stunde) berechnet wird, wobei die in der Gebäudemasse gespeicherte und aus dieser freigesetzte Wärme berücksichtigt wird.*

Weiters wird darin entsprechend der EPBD betont:

Auf nationaler Ebene darf entschieden werden, welche dieser drei Verfahrensarten je nach Anwendung (Berechnungszweck) und Gebäudetyp vorgeschrieben sind oder angewendet werden dürfen.

Diese Freiheit der Verfahrenswahl nimmt darauf bedacht, dass in unterschiedlichen EU-Mitgliedsstaaten bereits verschiedene Verfahren zur thermischen Berechnung von Gebäuden vorhanden waren, die auch unterschiedlichen Prinzipien bei den Eingabedaten folgen. Eine Harmonisierung der Berechnungsverfahren auf ein einziges, europaweit gültiges Verfahren erscheint aus diesem Blickwinkel zwar einerseits wünschenswert, aber andererseits auch problematisch (Auflösen gewachsener Strukturen, Anpassung an andere nationale und internationale Standards, etc.).

Van Dijk und Spiekman¹⁴ haben eine Übersicht über das Spielfeld ("level playing field") der verschiedenen Verfahren zur Berechnung von Heiz- und Kühlenergie erstellt, die nach EPBD und EN ISO 13790 möglich sind (Abbildung 1.3.). In dieser Abbildung entsprechen die später vorgestellten und in dieser Arbeit verwendeten Verfahren der Monatsbilanz-Methode (aggregated monthly input data - Verfahren APH, siehe Methodik) und der detaillierten Methode (detailed methods - Verfahren SIM). Das dritte verwendete Verfahren ist darin gar nicht abgebildet, da es als Heizperiodenbilanzverfahren nicht mehr den Anforderungen entspricht.

¹⁴ Van Dijk und Spiekman, 2007

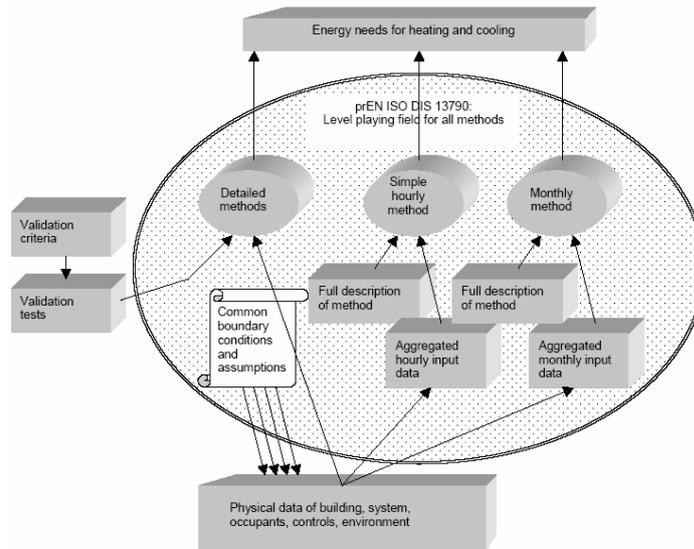


Abbildung 1.3: "Level playing field for different methods to calculate the energy use for heating and cooling" (van Dijk, Spiekman 2007)

In Österreich wurde am 06.12.2004 durch einstimmigen Beschluss der zuständigen Landeshauptleute (Rechtsmaterien, die mit Bauen zu tun haben, sind in Österreich wie bereits erwähnt Ländersache) vereinbart, dass das österreichische Institut für Bautechnik einen Berechnungsvorschlag anhand bestehender Verfahren und ÖNORMEN entwickeln soll. Diese Festlegung wurde dann nicht durch alle Bundesländer ratifiziert, daher ist eine Übernahme der entstandenen Richtlinien in Landesrecht freiwillig. Die für die Berechnung von Energieausweisen vom OIB erstellten Dokumente (Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz, sowie Leitfaden zum thermischen Verhalten von Gebäuden) wurden von fast allen Bundesländern im Landesrecht verankert.

Dadurch erfolgte eine Festlegung zur Berechnung von Energiekennzahlen, da die Länder nun auf die OIB-Richtlinien referenzieren und diese neben eigenen Informationen auf entsprechende ÖNORMEN verweisen.

In Abbildung 1.4. sind die Zusammenhänge von EPBD und Umsetzung in nationalem Recht dargestellt.

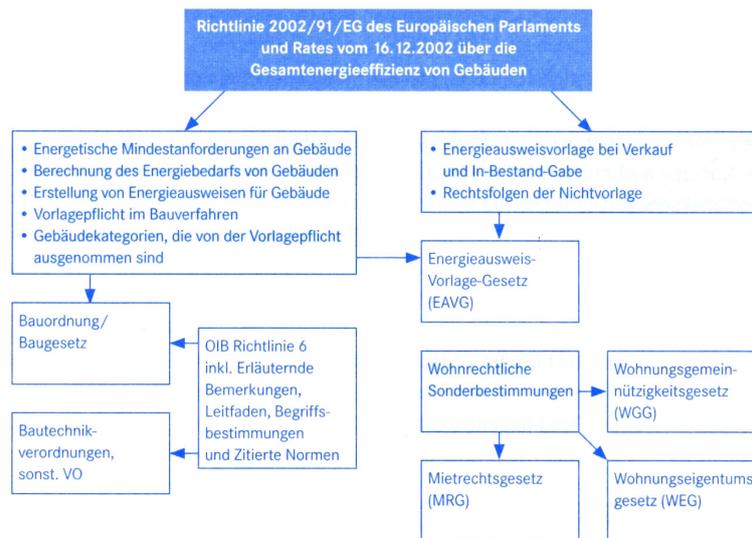


Abbildung 1.4: Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie in Österreich (Holzapfel et.al, 2009 S. 19)

In Österreich sind damit für Energieausweise die in Tabelle 1.1. gezeigten ÖNORMEN relevant. Da in dieser Arbeit vorrangig der Heizwärmebedarf betrachtet wird, ist hier die ÖNORM B 8110 die wichtigste Bezugsnorm. Diese Norm beschreibt ein stationäres Monatsbilanzverfahren. Damit unterliegt der österreichische Energieausweis einem stationären Verfahren, das für viele Belange rechtlich verankert ist.

Tabelle 1.1. Für den österreichischen Energieausweis relevante Normen (OIB 2007b, S.3)

	Titel der ÖNORM	Nummer der ÖNORM
Nutzenergiebedarf	Heizwärme- und Kühlbedarf (HWB, KB)	ÖNORM B 8110-6
	Raumlufttechnik-Energiebedarf (RLTEB)	ÖNORM H 5057
Endenergiebedarf	Heiztechnik-Energiebedarf (HTEB)	ÖNORM H 5056
	Kühl-Energiebedarf (KEB)	ÖNORM H 5058
	Beleuchtungs-Energiebedarf (BelEB)	ÖNORM H 5059

Als Beispiel für die aktuelle Gesetzgebung in Österreich wurde die Lage in Wien herangezogen:

Im Wiener Bauverfahren ist ein höchstens 10 Jahre alter Energieausweis zur Erlangung der Baubewilligung bei Neu- und Zubauten sowie bei Umbauten, Änderungen und Instandsetzungen von mindestens 25% der Gesamtnutzfläche bei Gebäuden mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1000 m² erforderlich.¹⁵ Es gelten lt. Wiener Bauordnung Ausnahmen für folgende Gebäude:

¹⁵ Holzapfel et.al. 2009, S. 210 ff.

§118

[...]

Abs. 4

1. Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen, bestehende Gebäude in Schutzzonen sowie erhaltungswürdige gegliederte Fassaden an bestehenden Gebäuden;
2. Gebäude mit religiösen Zwecken;
3. Gebäude, die gemäß § 71 auf längstens 2 Jahre bewilligt werden;
4. Gebäude in landwirtschaftlich genutzten Gebieten, mit Ausnahme von Wohngebäuden;
5. Industriebauwerke;
6. Gebäude, die Wohnungen enthalten, die nicht allen Erfordernissen des § 119 entsprechen oder nicht den vollen Schallschutz oder Wärmeschutz für Aufenthaltsräume aufweisen müssen;
7. Kleingartenhäuser;
8. freistehende Gebäude und Zubauten mit einer Gesamtnutzfläche von jeweils weniger als 50 m²;

[...]

Bei diesen Gebäuden ist das Einhalten der U-Wert-Vorgaben laut OIB RL 6 ausreichend.

Betreffend den Energieausweis wird in der Bauordnung folgendes festgehalten:

(5) Der Energieausweis (§ 63 Abs. 1 lit. e) ist von einem nach den für die Berufsausübung maßgeblichen Vorschriften Berechtigten oder einer akkreditierten Prüfstelle auszustellen. Die Landesregierung kann durch Verordnung nähere Vorschriften über den Inhalt und die Form des Energieausweises erlassen.

In der Wiener Bautechnikverordnung WBTV (LGBL Nr. 31/2008) - hierbei handelt es sich um eine nähere Vorschrift betreffend Inhalte und Form des Energieausweises - steht hierzu:

§1

Den [...] für Wien festgelegten bautechnischen Vorschriften wird entsprochen, wenn die in den Anlagen enthaltenen Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, soweit in ihnen bautechnische Anforderungen geregelt werden, eingehalten werden.

[...]

Anhand dieser Rechtsquellen ist es als verbindlich anzusehen, das notwendige Energiezertifikat nach der stationären ÖNORM- Methode zu berechnen. Oftmals genannte Gründe hierfür sind die Arbeitserleichterung für Prüfer der Zertifikate, da diese alle auf ein Referenzklima heruntergebrochen werden und mit den gleichen Eingabedaten berechnet werden, sowie die hohe Komplexität anderer Verfahren.

1.3.6. Energiekennzahlen für Förderungen & Energiekennzahlen für international anerkannte Zertifizierungssysteme

Staatliche Förderungen im Baubereich, also für die Errichtung von Neubauten, Sanierung von Bestandsbauten und dergleichen, fordern in der Regel einen Nachweis über die Gesamtenergieeffizienz. Die meisten österreichischen Gebietskörperschaften haben diese Förderungsnachweise zumeist an den Energieausweis - und damit an das stationäre Verfahren nach OIB - gekoppelt.

Als Beispiel soll die Neubau-Förderung in Wien angeführt werden: In der Ausschreibung für "Wärmeschutzanforderungen / Wohnbauförderung-Neubau" wird aktuell folgendes festgehalten.

"Für alle Bauvorhaben ist zwingend ein Energieausweis vorzulegen.

Der geforderte Energieausweis ist gemeinsam mit dem Ansuchen um Gewährung eines Landesdarlehens bzw. eines Annuitätenzuschusses der Förderungsstelle MA 50 vollständig ausgefüllt vorzulegen.

Grundlage: Energy Performance Building Directive

Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden".

Dass der Energieausweis nach den OIB-Richtlinien zu erstellen ist, geht aus dem genannten Dokument nicht hervor, wird jedoch auf der Webseite der Gebietskörperschaft Wien verlangt:

Energieausweis gemäß Abschnitt 8 der OIB-Richtlinie 6 "Energieeinsparung und Wärmeschutz"

Die Berechnung der einzelnen detaillierten Ergebnisdaten des Energieausweises erfolgt gemäß der im OIB-Leitfaden "Energietechnisches Verhalten von Gebäuden" angeführten Ö-Normen. Dafür dürfen nur validierte Rechenprogramme verwendet werden. Der Energieausweis muss von hiezu Berechtigten oder einer hierfür akkreditierten Prüfstelle ausgestellt werden (siehe Merkblatt Energieausweis).

International anerkannte Gebäude-Zertifizierungssysteme wie LEED, BREEAM und CASBEE, deren Zertifizierungsbewertungen in zunehmendem Maße auch als Teil von Architekturwettbewerben in Europa verwendet werden, beinhalten die Gebäudeenergieeffizienz als Teilkriterium der Bewertung. Die Systeme schreiben zum Teil im Detail vor, wie diese Energieeffizienz zu berechnen ist. So ist bei dem vom US-Building Green Council entwickelten LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ein dynamisches Verfahren vorgeschlagen:

"Die Energieeffizienz [...] wird durch eine dynamische Gebäudesimulation des Gebäudes auf Basis von stündlichen Wetterdaten über den Verlauf eines gesamten Referenzjahres nach dem ASHRAE Standard 90, 1-2007 Appendix G [...] nachgewiesen."¹⁶

Bei dem in Großbritannien entwickelten BREEAM, dem ältesten Zertifizierungssystem, wird bei Vorhandensein einer nationalen Berechnungsvorschrift auf diese zurückgegriffen, bei einem Nicht-Vorhandensein der Einsatz eines von BREEAM anerkannten dynamischen Simulationsverfahrens empfohlen.¹⁷

Aus diesen Ausführungen ist ersichtlich, dass es unter Umständen zu einer Mehrbelastung eines Gebäudeplaners kommen kann, wenn die entsprechenden Nachweise gefordert werden:

Ein Wettbewerb für eine Wohnhausanlage, die nach LEED zertifiziert, aber auch von der Stadt Wien gefördert werden soll, erfordert also einerseits Berechnungen nach dem österreichische Energieausweis für die Förderungen, auf der anderen Seite eine dynamische Simulation für die LEED-Zertifizierung.

¹⁶ Ebert, et al, 2010, S.43

¹⁷ Ebert, et al. 2010; S.34

1.3.7. Mögliche rechtliche Probleme in Verbindung mit (falschen) Energieausweisen¹⁸

Welche rechtlichen Konsequenzen bei Vorlage eines falschen (in der Regel zu niedrigen) Energieausweises drohen, ist davon abhängig, ob die Vorlage rein informativen Charakter hat oder verbindlicher Teil eines Vertragsabschlusses (z.B. Mietvertrag oder dergleichen) ist. Liegt letzteres vor, dann erwachsen dem Geschädigten primär Ansprüche auf Herstellung eines vertragskonformen Zustandes des Gebäudes, außer es ist dies mit einem unverhältnismäßig großem Aufwand für den Übergebenden (Vermieter, Verkäufer) verbunden. In solchen Fällen kann es in streitigen Verfahren auch zu Preisminderungen, Bestandzinsminderungen oder zur vorzeitigen Vertragsauflösung kommen.

Im Mietrechtsgesetz kann unter bestimmten Voraussetzungen auch der Anspruch auf nachträgliche Verbesserung des thermisch-energetischen Gebäudezustandes eingeräumt werden.

Der Ersteller eines Energieausweises unterscheidet sich in den meisten Fällen vom Übergeber (d.h. dem Vermieter oder Verkäufer, der dieses Zertifikat dann seinen Mietern oder Käufern vorlegen muss). Zumeist werden Energieausweise über Werkverträge beauftragt. Wenn dann das übergebene Werk in vorwerfbarer Weise fehlerhaft ist, dann haftet der Ersteller zivilrechtlich für etwaige Vermögensschäden, die durch den Fehler entstehen. Dass der vereinbarte Lohn für die Erfüllung des Werkes ebenfalls gemindert oder gar entfallen kann, mutet dagegen noch geringfügig an, da die Vermögensschäden im Falle eines verlorenen Rechtsstreits in der Regel ein Vielfaches davon ausmachen. Wurden der oder die fehlerhaften Energieausweise von einem in einem Dienstvertrag befindlichen Ersteller berechnet, fällt ein Teil der Haftung auf den Dienstgeber zurück.

Diese grob vereinfachte Darstellung basiert auf vielen verschiedenen Rechtsmaterien (Mietrechtsgesetze MRG, Allgemein Bürgerliches Gesetzbuch ABGB, Dienstgeberhaftungsgesetz DHG, etc.), was diese Sachverhalte schwierig zu beurteilen macht. Es ist - zum jetzigen Zeitpunkt - allerdings kein dokumentierter Rechtsstreit über die Inhalte von Energieausweisen in Österreich bekannt. Wie in 1.4. dargestellt wird, kann man daher durchaus von "tickenden Zeitbomben"¹⁹ sprechen.

¹⁸ basierend auf Holzapfel et.al. 2009,

¹⁹ Kaiser 2009

1.4. Mediale Rezeption und Kritik am österreichischen Energieausweis

1.4.1. Mediale Rezeption und Kritik in Medien und durch Fachleute

Seit der Verpflichtung zur Erstellung von Energieausweisen durch das EAVG2006 sind zahlreiche Artikel und Positionen zum Energieausweis publiziert worden. Von vielen Seiten wird negative Kritik geübt, in einigen Fällen werden auch konstruktive Anregungen für die Zukunft überlegt:

F. Noszek, Präsident des Österreichischen Haus- und Grundbesitzerbundes (ÖHGB), beschreibt im Jänner 2008 in einem Artikel die Regelungen für den Energieausweis folgendermaßen

*"[...]kompliziert, umfangreich und für Laien nicht verständlich."*²⁰

Weiters werden die zu diesem Zeitpunkt zu erwartenden hohen Kosten für Energieausweise kritisiert:

*"Auch der geschätzte Preis für den Energieausweis ist mit 1 Euro pro Quadratmeter ist zu hoch. Nimmt man eine durchschnittliche Fläche für ein Zinshaus von 800 bis 1.200 Quadratmetern an, so würden dafür Kosten von 800-1.200 Euro anfallen. Und das gilt für die einfache Form des Energieausweises, wenn das Haus einheitliche Fenster, einheitliche Dämmwerte usw. hat. Für einen umfassenden Energieausweis, der weitere Parameter erfasst, schätzen Experten Kosten von 5-6 Euro pro Quadratmeter."*²¹

In einem Artikel des Wirtschaftsblatts (Oktober 2010) kritisiert G. Niedermühlbichler, Präsident der Mietervereinigung, den Energieausweis als "zahnlosen Marketing-Gag", da zwar Energieausweise für Gesamtgebäude beauftragt und berechnet, aber selten vorgelegt werden und keine Relevanz für die Mieter haben:

*"Der Energieausweis wird selten vorgelegt", bestätigt Georg Niedermühlbichler, Präsident der Mietervereinigung, die Studienergebnisse. Mieter ihrerseits würden auch kaum nach dem Energieausweis fragen -denn selbst mit den vorhandenen Daten wissen die Mieter zwar über die Energieeffizienz des Gebäudes Bescheid, haben damit aber kein Druckmittel auf die Vermieter, um etwa den Mietzins zu senken oder Sanierungen zu fordern."*²²

Im gleichen Artikel weist auch A. Holzapfel, Geschäftsführer des Österreichischen Verbands der Immobilientreuhänder, auf folgendes hin:

²⁰ ÖHGB (Hrsg.): Energieausweis zu aufwändig und zu teuer, Jänner 2008

²¹ ÖHGB (Hrsg.): Energieausweis zu aufwändig und zu teuer Jänner 2008

²² Mey, S.: "Das zahnlose Energie-Pickerl", in Wirtschaftsblatt, 4.10.2010;

Überhaupt ist der Energieausweis wenig aussagekräftig, da er nicht die Werte für eine einzelne Wohnung angibt, sondern für das gesamte Gebäude - je nach Stockwerk oder Lage der Wohnung innerhalb eines Stockwerks variiert die Energieeffizienz.²³

Holzappel kritisiert auch an anderer Stelle, ein

*"Kompetenzdickicht von Bund und Ländern"*²⁴

da die Umsetzung der europäischen Gebäuderichtlinie rechtliche Bundes- und Ländermaterien berührt, die sich zum Teil inhaltlich widersprechen.

Der Architekt J. Kaiser beschreibt in einem Artikel, dass bei einer Untersuchung von 20 Energieausweisen die Mehrzahl fehlerhaft war, und kritisiert die mangelnde Qualitätssicherung bei Energieausweisen. Er führt die 10 häufigsten Fehler bei der edv-gestützten Erstellung von Energieausweisen folgendermaßen aus:

1. unzureichende Bestandsaufnahme
2. falsche Massenermittlung und Eingabe
3. falsche Ermittlung der Haustechnik und Eingabe
4. falsche Interpretation der Normen
5. die Verwendung von falschen Bauteilen bzw. Default-Werten
6. mangelhafte Dateneingabe aufgrund unzureichender Programmkenntnis
7. das falsche Eingeben von Daten aufgrund von Tippfehlern oder simplem Vergessen
8. Orientierungsverlust bei komplexeren Häusern
9. Formale Fehler
10. Programmfehler²⁵

Er spricht auch einen dokumentierten Fall an, in dem zwei Energieausweise für das gleiche Gebäude einmal einen Heizwärmebedarf von 168 kWh.m⁻².a⁻¹ und einmal 78 kWh.m⁻².a⁻¹ ausmachten.

In einem Zeitungsartikel wird schließlich durch den Raumplaner H. Emrich die ausschließliche Fokussierung auf das Bauwerk kritisiert:

"Raumplaner Hans Emrich nennt es "grotesk", dass ein Passivhaus die höchste Wohnbauförderung bekommt, auch wenn es einsam auf einer großen Wiese steht. [...] 'Wir haben ja die Problematik, dass sich der höchste Energieaufwand im Bereich der Mobilität zu Buche schlägt. Da nützt es auch nichts, wenn das Haus in Passivbauweise errichtet wurde', kritisiert der Raumplaner [...] Die Wohnbauförderung sollte sich nicht nur auf das Einzelhaus beziehen, sondern ein gewisser Anteil auch auf die Siedlungsstruktur zurückbezogen werden. Der

²³ Mey, S.: "Das zahnlose Energie-Pickerl", in Wirtschaftsblatt, 4.10.2010;

²⁴ Putschögl, M.: Energieausweis - "Kompetenzdickicht von Bund und Ländern", in DerStandard 22.12.2009;

²⁵ Kaiser 2009

*Raumplaner weist auf den möglichen Gegensatz zwischen 'Haus im Grünen' und 'grüner Lebensweise' hin. Das 'Haus am Waldesrand' dürfe nicht nur aufgrund seiner guten Wärmedämmung und Passivhausbauweise positiv beurteilt und gefördert werden: Auch die strukturelle Anbindung müsse in die Rechnung aufgenommen werden.*²⁶

²⁶ Schilly, J.: "Energieausweis für Siedlungen - Kein Pickerl fürs einsame Haus am Waldesrand", in DerStandard 14.12.2010;

1.4.2. Kommentar zu den Kritiken

Die im vorherigen genannten Kritikpunkte decken sich zum Teil mit der persönlichen Erfahrung des Autors dieser Arbeit in der Praxis.

Tatsächlich sind in der Praxis die von Noszek beschriebenen Kosten von 800-1.200 € für einen Energieausweis eines entsprechenden Zinshauses zu erwarten. Eine intensive Nachforschung über alle Gebäudeparameter ist zu diesem Marktpreis in der Regel nicht möglich. Durch die große Anzahl an Anbietern für Energieausweise sind am Markt teilweise Preise von unter 50 Eurocent pro Quadratmeter Bruttogeschossfläche zu finden.²⁷

Auch die Pauschalierung auf die Berechnung des Gesamtgebäudes, wie von Holzapfel angesprochen, erscheint in Anbetracht großer Wohnhausanlagen mit unterschiedlich orientierten, ausgestalteten und verglasten Wohneinheiten fragwürdig. Allerdings werden aus Kostengründen so gut wie immer die Energieausweise der Gesamtgebäude beauftragt und nur in seltenen Fällen Energiezertifikate für Einzelwohnungen nachgefragt.

Die erwähnten Fehlerquellen bei der Erstellung von Energiezertifikaten nach Kaiser können bei allen Berechnungsverfahren auftreten und machen sich speziell bei Berechnungen, die unter Zeitdruck erfolgen (wie in der Baubranche leider üblich) bemerkbar.

Das von Emrich angesprochene Problem - die mangelnde Berücksichtigung der infrastrukturellen Lage von Gebäuden in Siedlungsstrukturen - kann durch Anwendung von Gebäude-Zertifizierungssystemen wie LEED oder BREEAM²⁸ gelöst werden. In diesen international anerkannten Gebäudezertifikaten setzt sich die Performance von Bauwerken aus einer Vielzahl von Parametern zusammen, in denen auch städtebauliche, versorgungstechnische und andere Teilbereiche in die Bewertung einfließen.

Abschließend sei hier erwähnt, dass viele mit Energieausweisen vertraute Fachleute wie Pöhn²⁹ und Mikulits³⁰ geäußert haben, dass in der Praxis die Berechnung eines Gebäudes durch 20 Personen voraussichtlich 20 verschiedene Resultate bringen wird. Dies wird vermutlich durch die Komplexität und die vielen Einflüsse bei allen Berechnungsverfahren, die noch dazu alle in laufender Entwicklung begriffen sind, verursacht.

²⁷ vgl. Exikon 2009

²⁸ vgl. Ebert et. al. 2010

²⁹ im Rahmen der Konferenz BauSIM 2010, 22-24. September 2010 an der TU WIEN

³⁰ im Rahmen des Vortrags "Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie und ihre Auswirkung auf die OIB RL 6" am 22.11.2010 in der Kammer der Architekten und Ingenieure in Wien

2. Methodik & Rahmenbedingungen für die Berechnungen

2.1. Grundsätzliche Methodik

Die Berechnungsmethoden für den Heizwärmebedarf eines Bauwerks können - wie im vorherigen Kapitel bereits angedeutet - auf verschiedene Weisen durchgeführt werden. Möchte man das gleiche Objekt mit unterschiedlichen Verfahren berechnen, stößt man rasch auf das Problem, dass die Eingabedaten in unterschiedlichen Feinheiten und Formaten zur Verfügung stehen müssen, um überhaupt Berechnungen durchführen zu können. Man kann also nicht einfach "idente" Eingabedaten verwenden, sondern muss versuchen aus einem Datensatz von Eingabedaten einen zweiten herzustellen, der - basierend auf den Ausgangswerten - dann in seiner Feinheit und in seinem Format verändert wird, um zu einer anderen Berechnungsmethode zu passen.

Zur Illustration:

Für ein Verfahren sind monatliche Wetterdaten erforderlich. Diese werden in einem zentralen Klimadatenkatalog für verschiedene Regionen zur Verfügung gestellt und besitzen eine für das Verfahren passende Skalierung. Möchte man jetzt eine dynamische Simulation durchführen, die Wetterdaten auf Stundenbasis benötigt, steht man vor einem Dilemma, denn die Daten aus dem erwähnten Katalog stehen nicht als Stundendaten zur Verfügung und umgekehrt, die vorgefertigten Wetterdaten für die dynamische Simulation passen nicht zu dem Verfahren auf Monatsbasis. Eine Anpassung der Wetterdaten von einem Verfahren zum anderen ist also notwendig

Auch im Zuge dieser Arbeit wurden entsprechende Anpassungen an den Inputdaten für die Berechnungen vorgenommen.

In den folgenden Seiten wird zunächst erklärt, warum der Heizwärmebedarf als Benchmark für den Resultatvergleich herangezogen wird. Anschließend werden verwendete Softwarepakete und sämtliche Herkunftsdaten, die für die Berechnungen verwendet wurden, im Detail vorgestellt. Gegebenenfalls werden die unterschiedlichen Arten der Dateneingabe beziehungsweise Datenerfassung zur Eingabe vorgestellt und im Falle von notwendigen Modifikationen im Einzelnen beleuchtet.

Um einen Überblick über die komplexen Zusammenhänge zwischen Eingabedaten und Berechnungsmethoden zu geben, ist in Abbildung 2.0 ein Flussdiagramm zum Berechnen des Heiz- und Kühlwärmebedarfs im Rahmen des Gesamtenergiebedarfs aufgezeichnet.

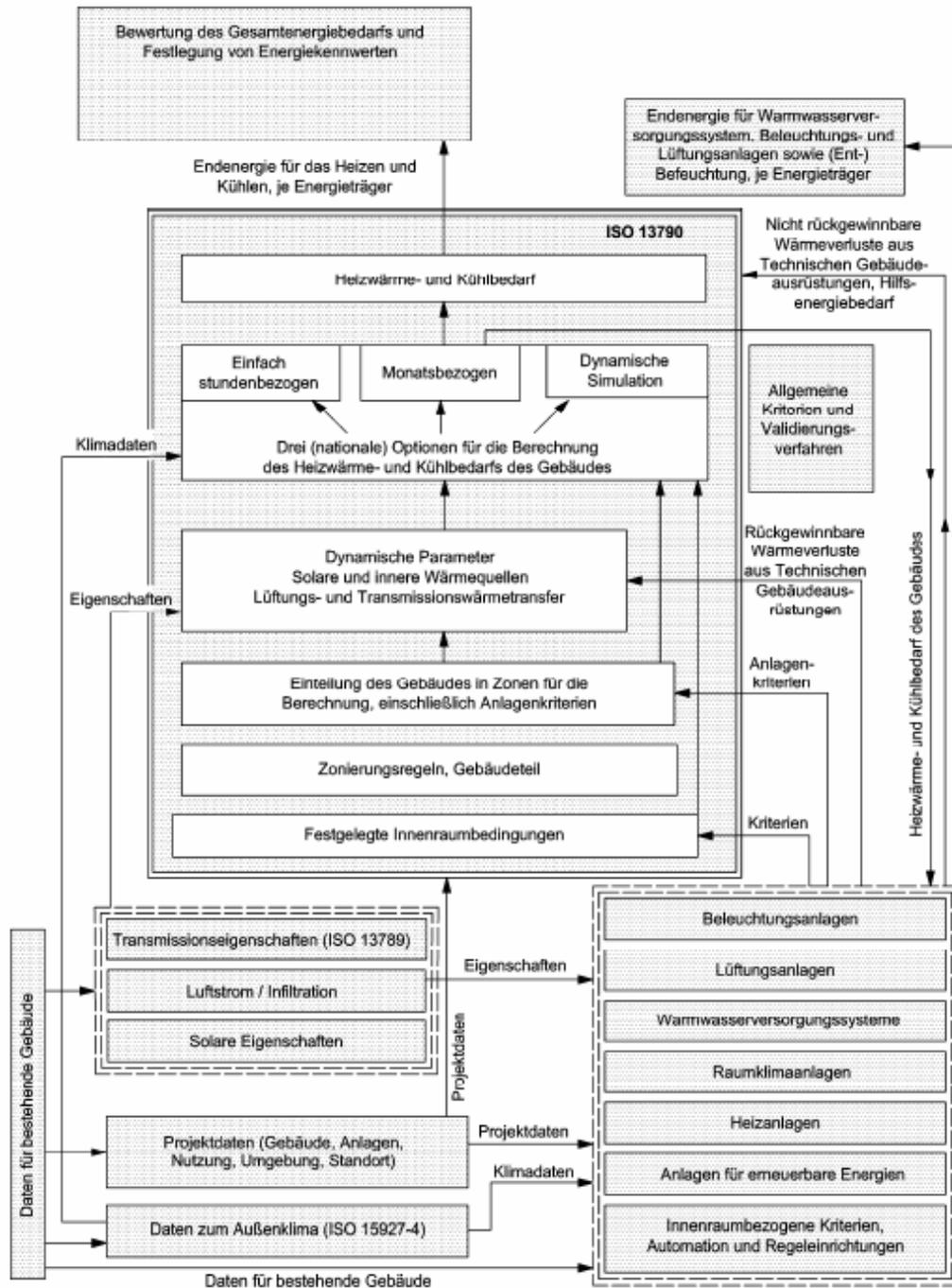


Abbildung 2.0: Flussdiagramm über Berechnungsverfahren (EN ISO13790, S.8)

Nachdem alle notwendigen Schritte an den Eingangsdaten vorgenommen wurden, konnten die Berechnungen für alle Objekte mit allen Verfahren durchgeführt werden.

2.2. Der Heizwärmebedarf als Benchmark für einen Vergleich

Die Verwendung des Heizwärmebedarfs für einen Resultatvergleich liegt aus mehreren Gründen nahe:

- Zunächst ist festzuhalten, dass es sich beim Heizwärmebedarf um einen ausschließlich auf das Gebäude bezogenen Wert handelt. In den angeführten Definitionen (siehe 1.2.) wird darauf hingewiesen, dass es sich um die Energiebeziehungsweise Wärmemenge handelt, die den Innenräumen des Gebäudes zuzuführen ist, also jene Energiemenge, die in den Räumen ankommen muss beziehungsweise von einem Heizsystem geliefert werden muss. Hier sind technische Gebäudesysteme beziehungsweise die Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe der Wärmeenergie nicht enthalten.

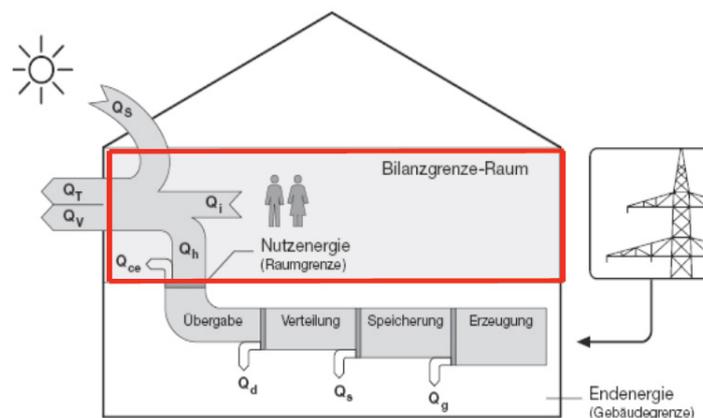


Abbildung 2.1: Der Heizwärmebedarf im Rahmen des Gebäudes (Bednar 2009)

Der Heizwärmebedarf ist daher etwas weniger komplex als beispielsweise der Endenergiebedarf, in den all diese Parameter mit einfließen. Es wird mit Verwendung dieser Kennzahl also eine Beeinflussung durch unterschiedliche Berücksichtigung der Haustechnik, Leitungslängen, Wärmeabgabe-Elemente, etc. vermieden.

- Der Heizwärmebedarf lässt sich, wie bereits weiter oben ausgeführt, generell auf vier Haupteinflussparameter, nämlich Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle, Lüftungsverluste, solare Gewinne und interne Gewinne zurückführen. Dadurch ist es sogar möglich mittels einer einfachen händischer Berechnung diesen Wert abzuschätzen. Dies ist bei anderen Kennwerten, wie beispielsweise dem Endenergiebedarf oder dem Haustechnikenergiebedarf ohne spezielle Kenntnisse der Haustechnik nicht so einfach möglich.

- Schließlich wird der Heizwärmebedarf als Hauptindikator in österreichischen Energieausweisen als einziger Wert in einem Diagramm grafisch ausgewiesen und dient daher beim schnellen Ansehen dieser Zertifikate heute als Hauptvergleichsparameter.

Aus diesen Gründen wurde der Heizwärmebedarf in der vorliegenden Arbeit als Hauptindikator verwendet und die Ergebnisse damit verglichen.

2.3. Vorstellung der verwendeten Objekte

2.3.1. Vorstellung der verwendeten realen Gebäude

Bei den im Zuge dieser Studie herangezogenen realen Objekten handelt es sich um 8 Wiener Wohnbauten. Die Gebäude sind unterschiedlichen Baualters, für alle Gebäude wurden in den Jahren 2009 und 2010 kommerziell Energieausweise nach dem Energieausweisvorlagegesetz erstellt. Die Pläne der Gebäude wurden zu diesem Zwecke von den Hausverwaltungen zum Teil zur Verfügung gestellt beziehungsweise bei der Baupolizei eingesehen und kopiert. Darüber hinaus wurden Begehungen vorgenommen, in deren Zuge auch eine photographische Objektdokumentation angelegt wurde. Dies hat sich im Laufe vieler Energiezertifikate von Bestandsgebäuden als nützlich herausgestellt, da oftmals Änderungen in den Plänen nicht verzeichnet werden beziehungsweise nicht verständlich dargestellt werden. Es kommt sogar vor, dass bei Ausbaumaßnahmen (z.B. Dachgeschossausbauten) auch viele Jahre nach deren Fertigstellung keine Fertigstellungsanzeige bei der Baupolizei eingeht, die Pläne dieses Ausbaus unter Verschluss liegen und nicht im allgemein zugänglichen Akt aufscheinen.

Die Objekte werden in untenstehenden Ausführungen anonymisiert als O1-O8 bezeichnet. Zunächst werden die Gebäude auf jeweils zwei Seiten anhand eines Datenblatts und Abbildungen vorgestellt, anschließend werden die Daten der einzelnen Datenblätter der 8 Objekte einander gegenübergestellt.

2.3.1.1. Objekt O1

Es handelt sich bei Objekt O1 um einen freistehenden Wohnblock aus den 1950er Jahren. Das Gebäude ist Teil einer größeren Wohnhausanlage mit mehreren Blöcken. Es besitzt an der Südfassade in den Geschossen EG-OG3 offene Loggien, sowie an den Ost- und Westseiten ebenfalls. Es handelt sich um einen Massivbau mit Flachdach, dessen Ziegelmauern mit einzelnen tragenden Betonsäulen unterbrochen ist.

Tabelle 2.1. - Daten des Objekts O1

Objekt O1			
Standort	Wien 12	Beheizte Geschosse	5
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Unbeheizter Keller, Garage mit 4 PP	Anzahl Wohnungen	22
		Baujahr	1956
Brutto-Volumen (beheizt)	4726,20 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1483,24 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		2157,82 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		1306,37 m ²	60,54 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		200,10 m ²	9,27 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		651,35 m ²	30,19 %
Adiabatische Bauteilflächen		keine	
Charakteristische Länge l _c		2,19 m	
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises		171,04 kWh.m ⁻² .a ⁻¹	
LEK-Wert des Original-Energieausweises		100	
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude		1,39 W.m ⁻² .K ⁻¹	
Klasse		E	

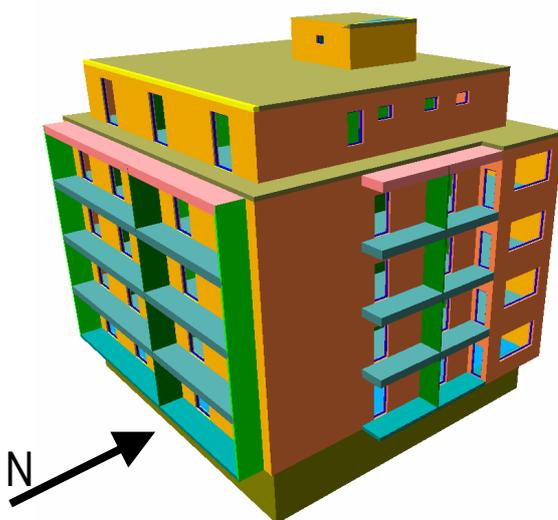


Abbildung 2.2. - virtuelles Modell O1 (eA)



Abbildung 2.3. - Sicht auf die Südfassade von O1 (eA)



Abbildung 2.4. - Grundriss des Regelgeschosses O1 (eA)

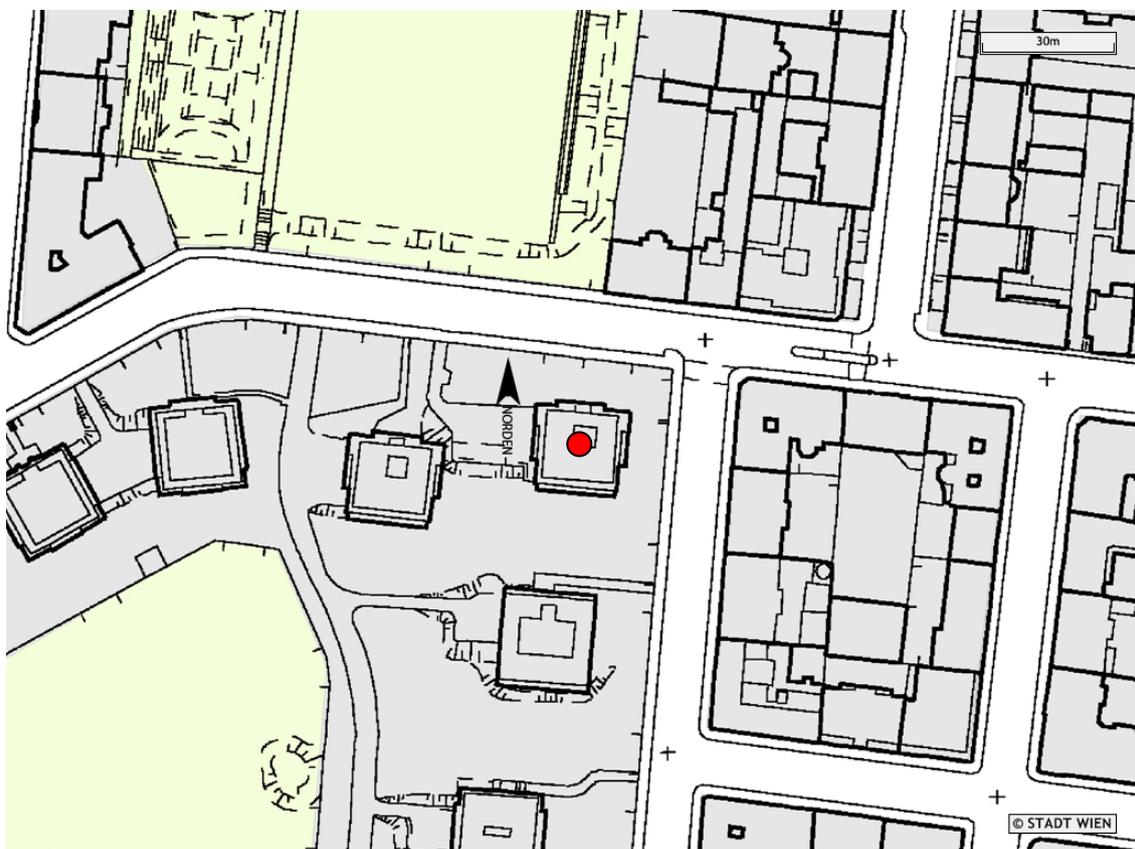


Abbildung 2.5. - Lageplan O1 (wien.at, modifiziert)

2.3.2.2. Objekt O2

Es handelt sich bei Objekt O2 ebenfalls um einen freistehenden Wohnblock aus den späten 1950er Jahren, der dem Objekt O1 im Wesentlichen gleicht (sieht man davon ab, dass der Grundriss um die Mittelachse gespiegelt ist).

Tabelle 2.2. - Daten des Objekts O2

Objekt O2			
Standort	Wien 12	Beheizte Geschosse	5
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Unbeheizter Keller, Garage mit 4 PP	Anzahl Wohnungen	22
		Baujahr	1956
Brutto-Volumen (beheizt)	4726,20 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1483,24 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		2157,82 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		1306,37 m ²	60,54 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		200,10 m ²	9,27 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		651,35 m ²	30,19 %
Adiabatische Bauteilflächen		keine	
Charakteristische Länge l _c		2,19 m	
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises		171,04 kWh.m ⁻² .a ⁻¹	
LEK-Wert des Original-Energieausweises		100	
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude		1,39 W.m ⁻² .K ⁻¹	
Klasse		E	



Abbildung 2.6. - Sicht auf die Nordfassade von O2 (eA)

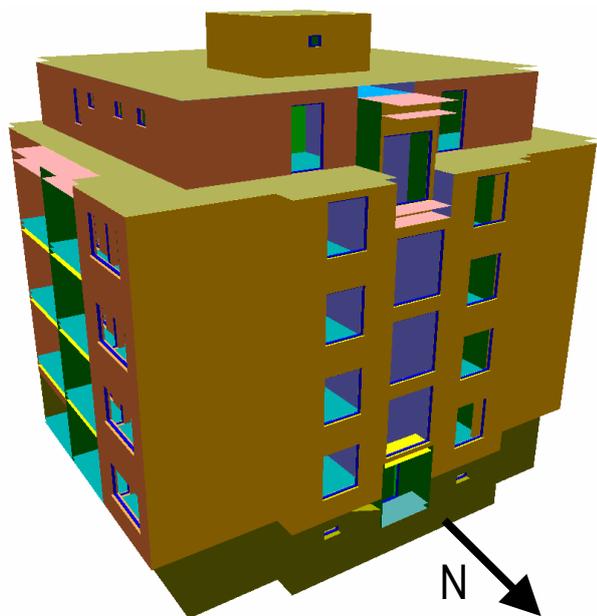


Abbildung 2.7. - virtuelles Modell O2 (eA)

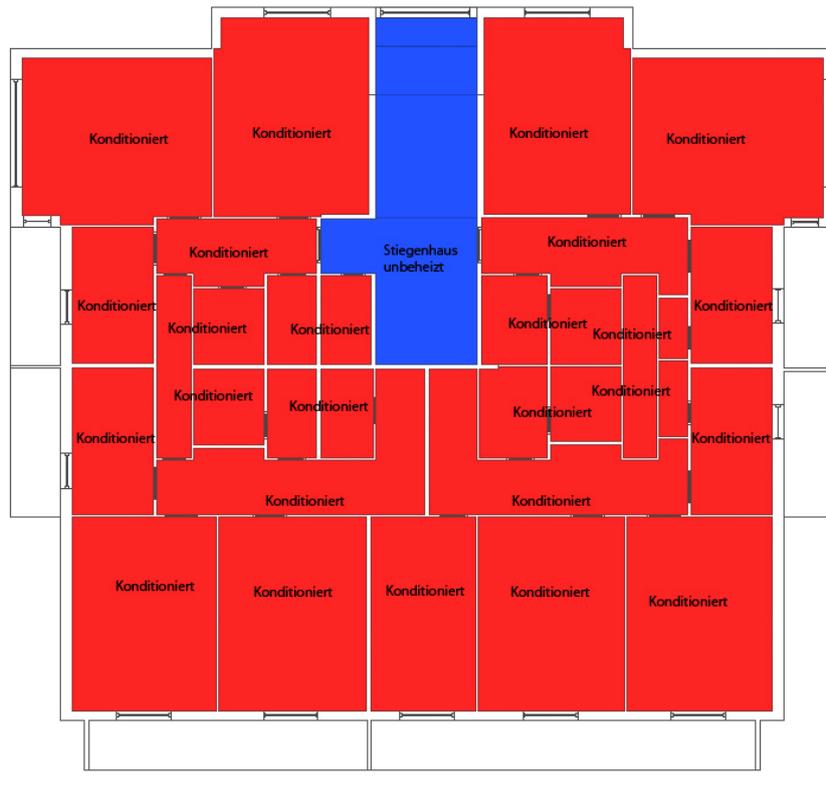


Abbildung 2.8. - Grundriss Regelgeschoss O2 (eA)

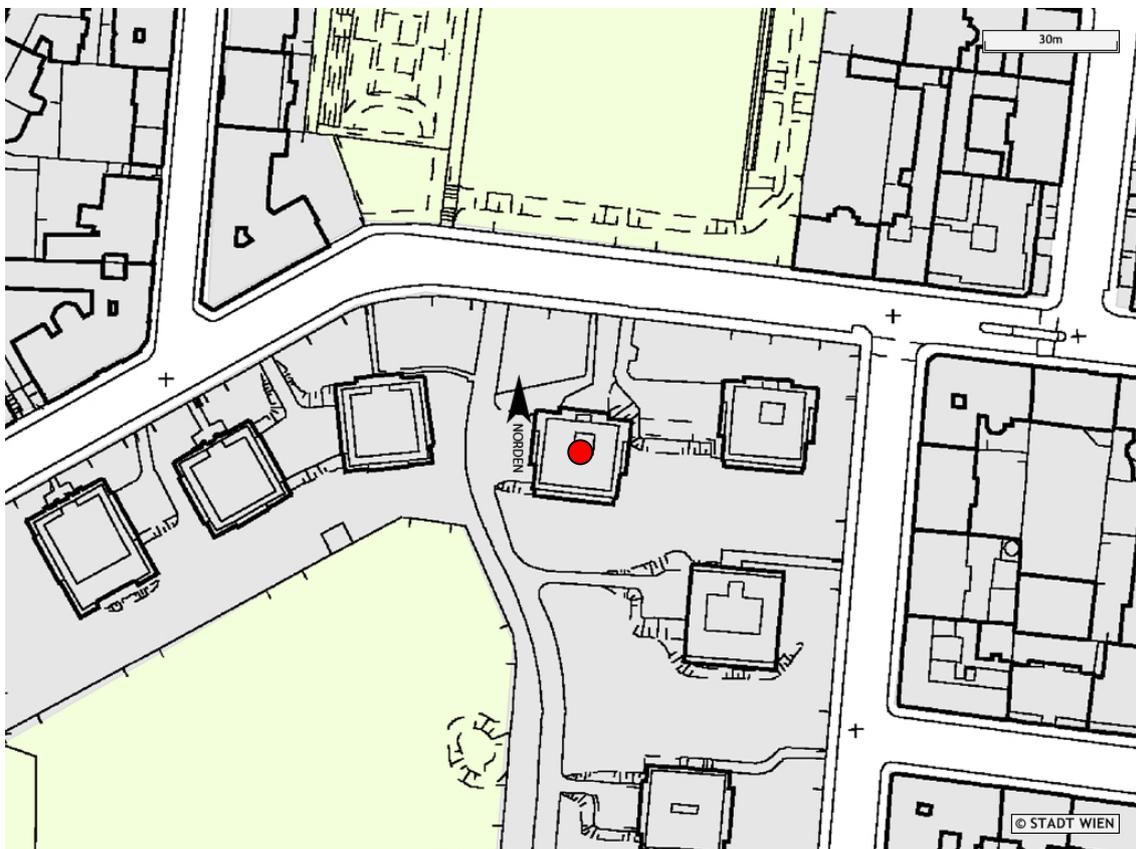


Abbildung 2.9. - Lageplan O2 (wien.at, modifiziert)

2.3.1.3. Objekt O3

Bei dem Objekt O3 handelt es sich wie bei O1 und O2 um einen freistehenden Wohnblock im Rahmen einer größeren Anlage von Wohnhäusern. Das Gebäude ist eine Ziegel/Betonkonstruktion aus dem Jahre 1961, besitzt 6 beheizte beziehungsweise bewohnte Stockwerke und ist durch ein Flachdach überdeckt. Der unbeheizte Keller beherbergt neben den Haustechnikanlagen auch Garagenstellplätze für 4 PKWs, die auf der Westseite zufahren können. In den Obergeschossen 4 und 5 springt der Baukörper zurück, so dass Terrassen ausgebildet werden. Die Geschosse darunter haben - ähnlich wie die Objekte O1 und O2 - Loggien, welche durch eine andere Baukörper- und Grundrissgestaltung nicht als hervorkragende Balkonplatten, sondern als Nischen in der Ost- und Westfassade ausgeprägt sind.

Tabelle 2.3. - Daten des Objekts O3

Objekt O3			
Standort	Wien 12	Beheizte Geschosse	6
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Unbeheizter Keller, Garage mit 4 PP	Anzahl Wohnungen	23
		Baujahr	1961
Brutto-Volumen (beheizt)	5546,26 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1726,22 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		2676,37 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		1525,64 m ²	57,00 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		262,78 m ²	9,82 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		887,95 m ²	33,18 %
Adiabatische Bauteilflächen		keine	
Charakteristische Länge l _c		2,07 m	
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises		159,71 kWh.m ⁻² .a ⁻¹	
LEK-Wert des Original-Energieausweises		91,8	
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude		1,24 W.m ⁻² .K ⁻¹	
Klasse		E	



Abbildung 2.10. - Sicht auf die Westfassade von O3 (eA)

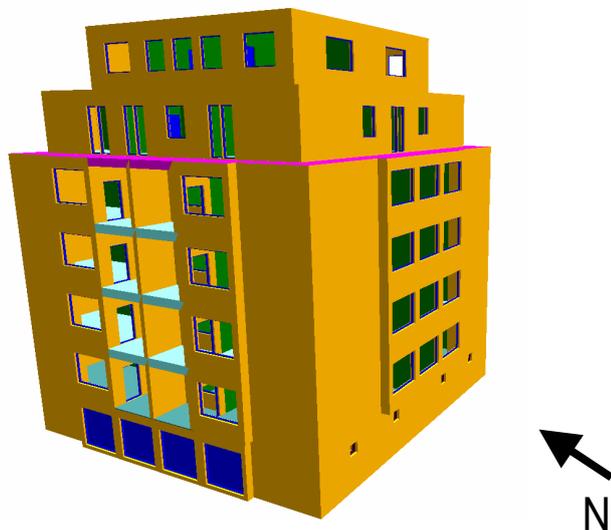


Abbildung 2.11. - virtuelles Modell O3 (eA)

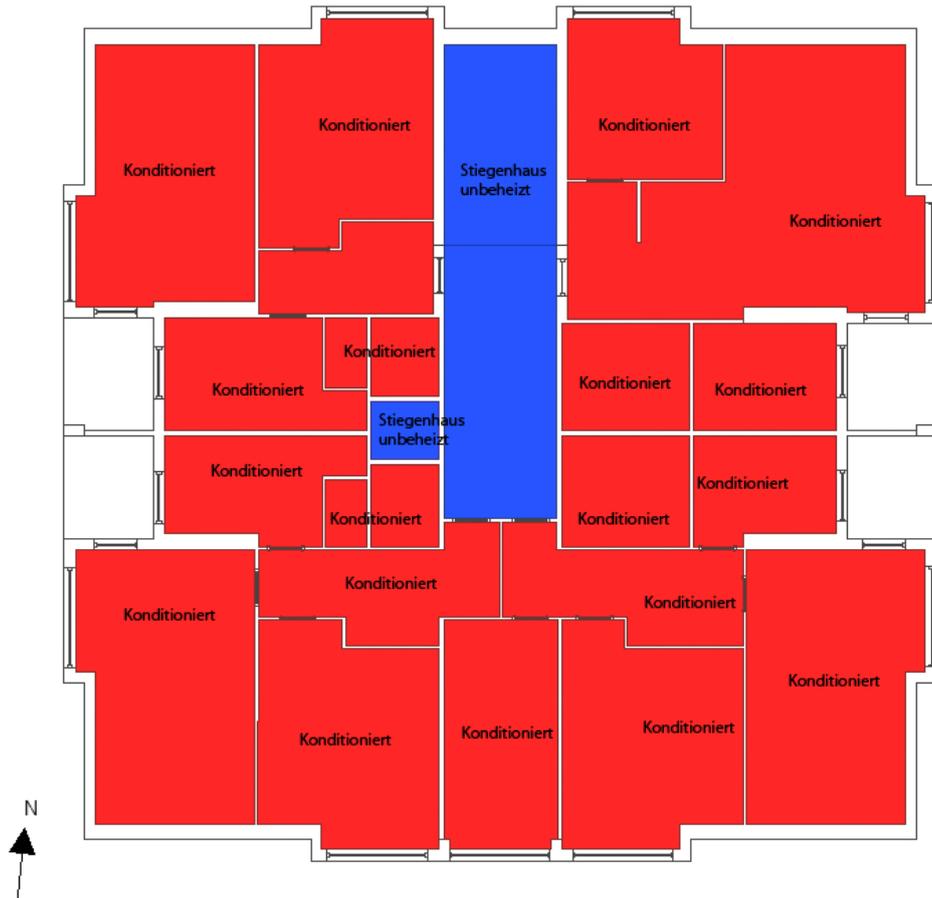


Abbildung 2.12. - Grundriss Regelgeschoss O3 (eA)

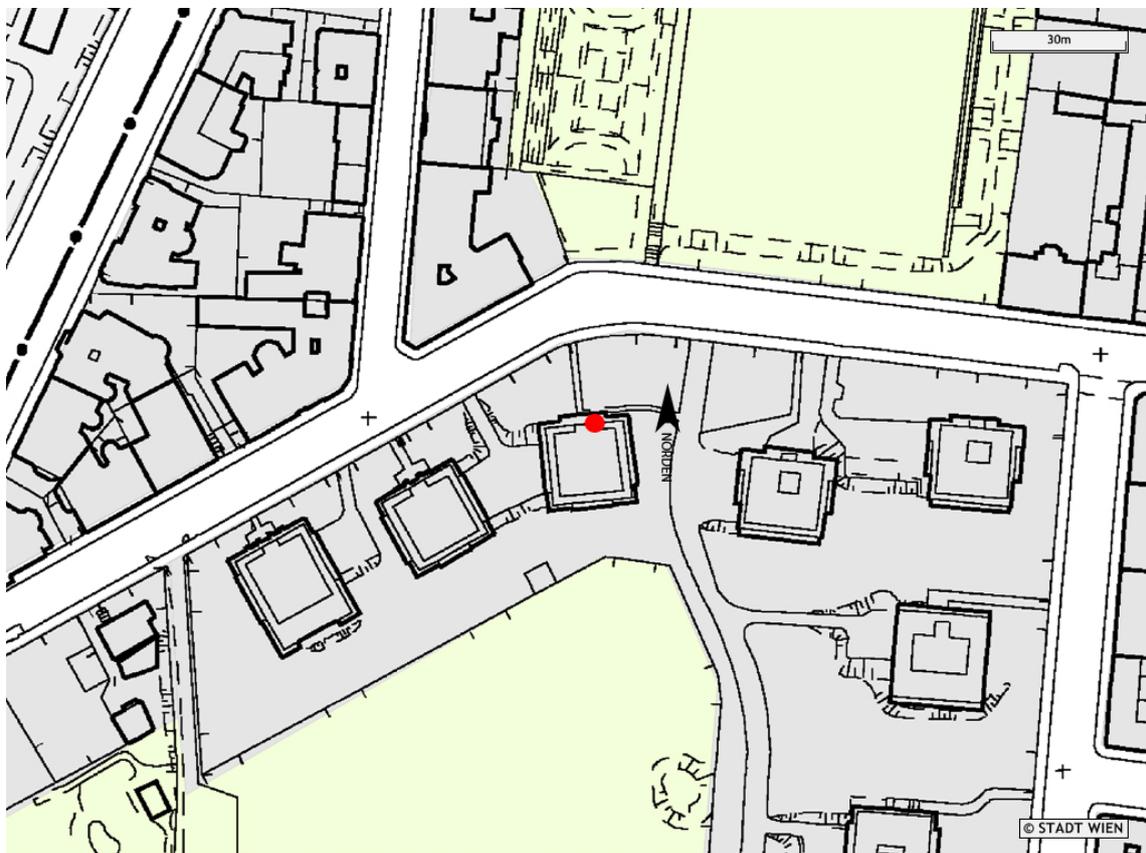


Abbildung 2.13. - Lageplan O3 (wien.at - modifiziert)

2.3.1.4. Objekt O4

Das Objekt O4 ist ein massiver, freistehender Wohnblock mit 6 bewohnten Geschossen. Das Gebäude besitzt im unbeheizten Keller neben der Haustechnik auch Stellplätze für PKWs, die an der Nordostfassade zu Garagentoren zufahren können. Wie bei Objekt O3 sind die Loggien Nischen in den Seitenfassaden, ebenso sind die Obergeschosse 4 und 5 im Vergleich zu den darunter liegenden zurückgesetzt.

Tabelle 2.4. - Daten des Objekts O4

Objekt O4			
Standort	Wien 12	Beheizte Geschosse	6
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Unbeheizter Keller, Garage mit 4 PP	Anzahl Wohnungen	23
		Baujahr	1961
Brutto-Volumen (beheizt)	5525,71 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1719,82 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		2693,71 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		1540,56 m ²	57,19 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		262,78 m ²	9,76 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		890,37 m ²	33,05 %
Adiabatische Bauteilflächen		keine	
Charakteristische Länge l _c		2,05 m	
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises		161,89 kWh.m ⁻² .a ⁻¹	
LEK-Wert des Original-Energieausweises		92,2	
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude		1,24 W.m ⁻² .K ⁻¹	
Klasse		E	

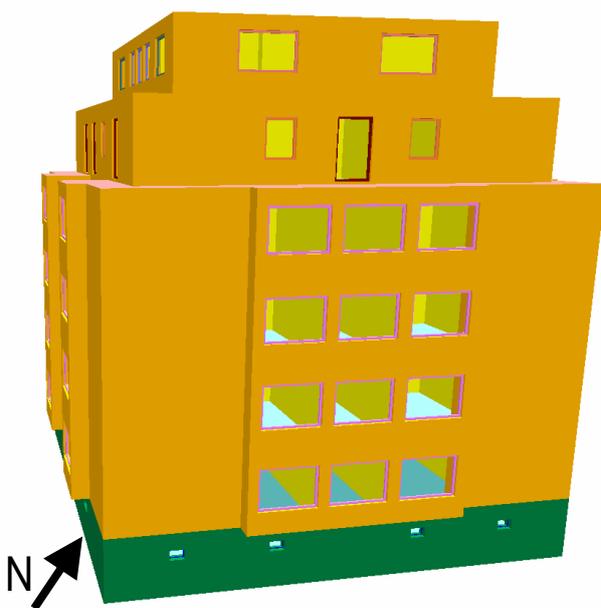


Abbildung 2.14. - virtuelles Modell O4 (eA)



Abbildung 2.15. - Sicht auf die Ostfassade von O4 (eA)

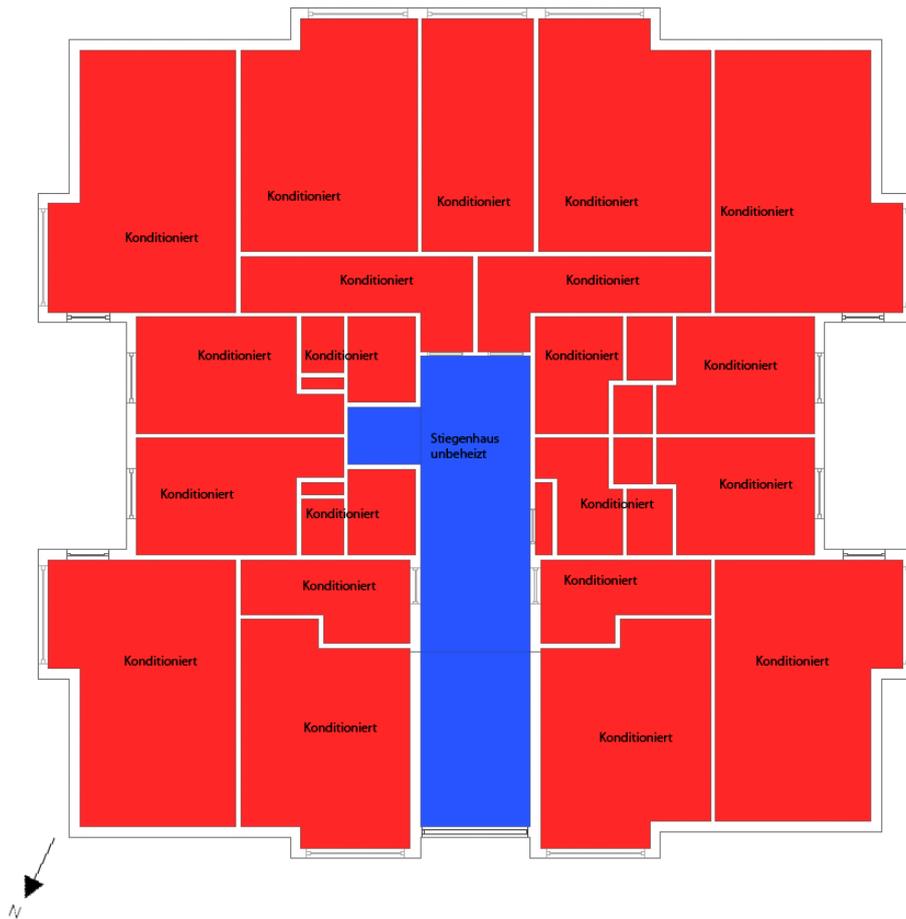


Abbildung 2.16. - Grundriss Regelgeschoss O4 (eA)

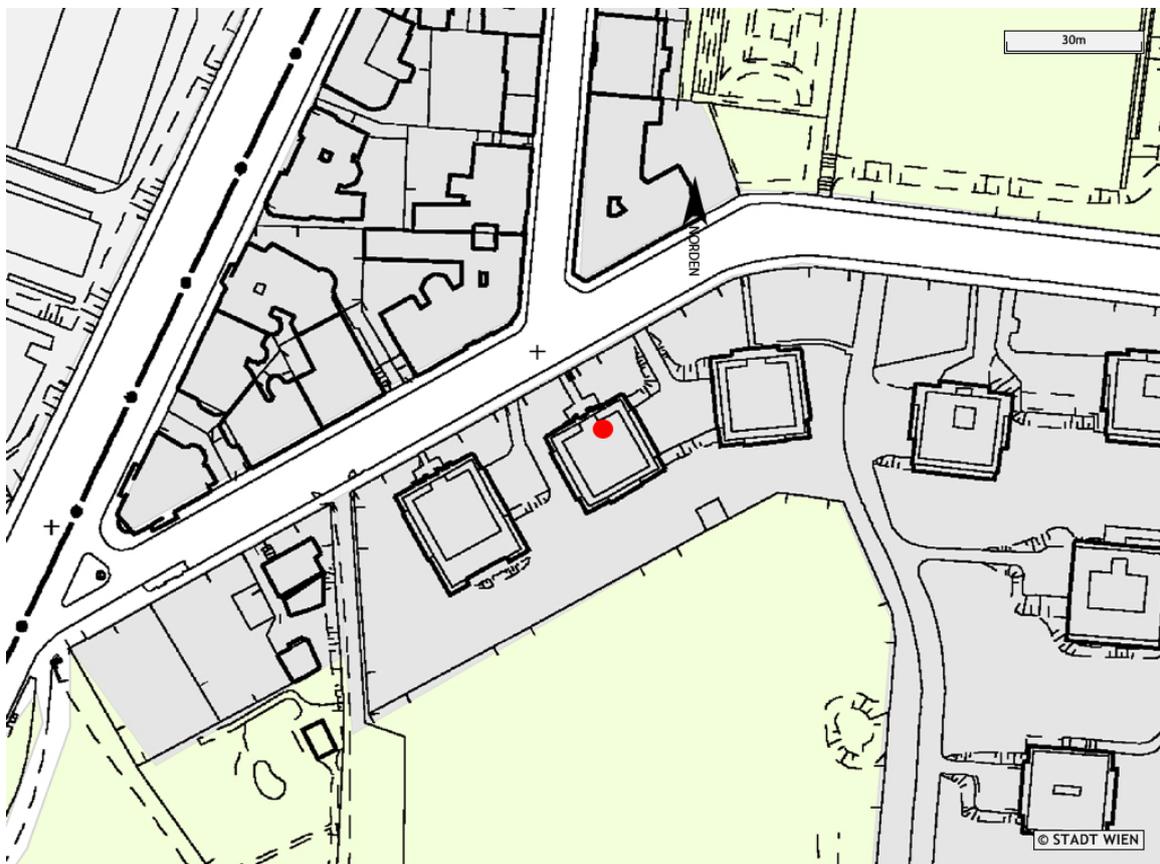


Abbildung 2.17. - Lageplan O4 (eA)

2.3.1.5. Objekt O5

Das Objekt O5 ist wie die Objekte O1-O4 ein freistehendes Wohngebäude mit 6 Stockwerken. Es besitzt eine größere Bruttogeschossfläche als die Objekte O3 und O4 und ist auch anders ausgerichtet. Wie die anderen Objekte besitzt das Bauwerk einen unbeheizten Keller mit Garagenplätzen für die Bewohner. Auch bei diesem Objekt springen die Obergeschosse 4 und 5 zurück und bilden daher Terrassen aus. Die Wohnungen der darunterliegenden Geschosse haben jeweils eine nischenförmige Loggia (nordöstliche, südwestliche und südöstliche Gebäudefassaden). Die Bauweise von Objekt O5 ist ebenfalls massiv (Ziegelbauwerk mit statisch aktiven Betonstützen).

Tabelle 2.5. - Daten des Objekts O5

Objekt O5			
Standort	Wien 12	Beheizte Geschosse	6
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Unbeheizter Keller, Garage mit 4 PP	Anzahl Wohnungen	23
		Baujahr	1961
Brutto-Volumen (beheizt)	7215,48 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	2247,12 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		3186,42 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		1807,37 m ²	56,72 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		268,61 m ²	8,43 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		1110,44 m ²	34,85 %
Adiabatische Bauteilflächen		keine	
Charakteristische Länge l _c		2,26 m	
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises		144,16 kWh.m ⁻² .a ⁻¹	
LEK-Wert des Original-Energieausweises		85,3	
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude		1,21 W.m ⁻² .K ⁻¹	
Klasse		D	



Abbildung 2.18. - Sicht auf die Nordfassade von O5 (eA9)

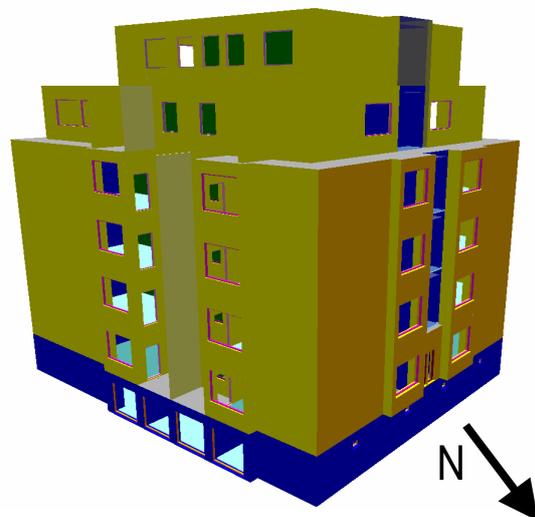


Abbildung 2.19. - virtuelles Modell O5(eA)



Abbildung 2.20. - Regelgeschoss O5 (eA)

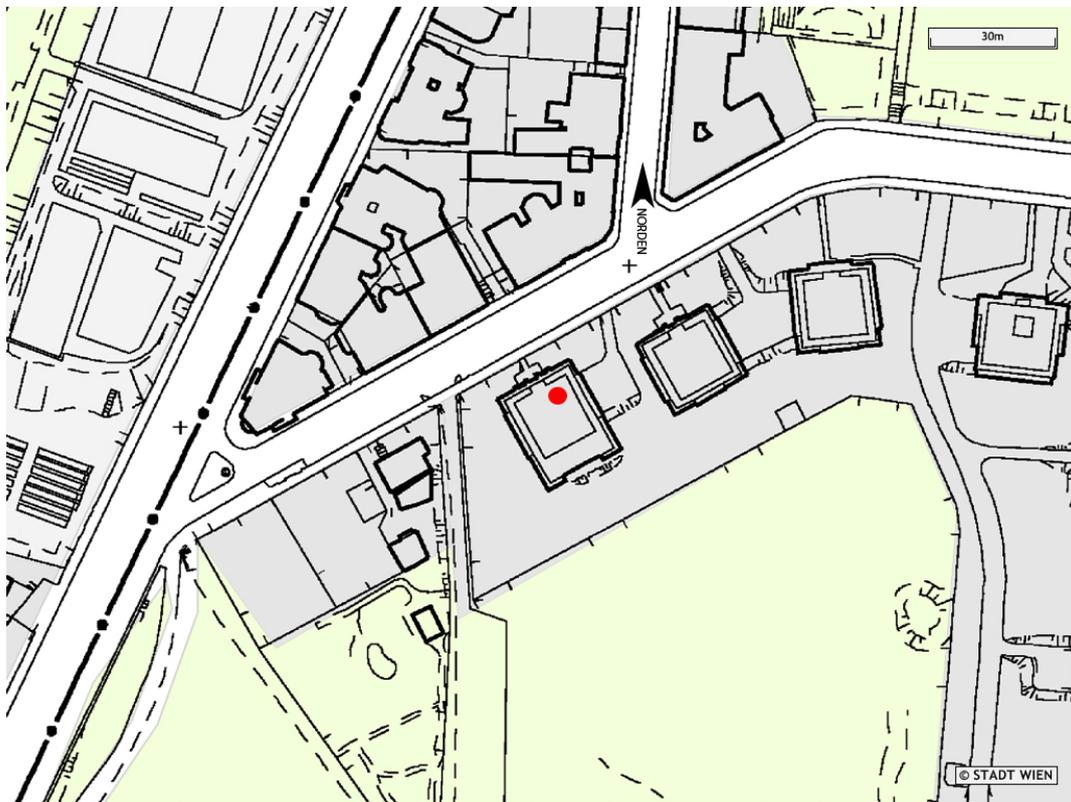


Abbildung 2.21. - Lageplan O5 (eA)

2.3.1.6. Objekt O6

Bei dem Objekt O6 handelt es sich um ein 8-stöckiges Wohngebäude aus den 1970er Jahren in dicht verbautem, innerstädtischem Gebiet. Das Gebäude befindet sich in Ecklage und grenzt mit zwei adiabatischen Feuermauern an die Nachbargebäude an. In den beiden Kellergeschossen befindet sich eine Tiefgarage. Das Dach ist als Flachdach ausgeführt, wobei das oberste Geschoss (Dachgeschoss) gegenüber den anderen Geschossen bereits zurückversetzt ist. Das Gebäude wurde in massiver Betonbauweise errichtet und besitzt einen kleinen Innenhof. Das Stiegenhaus und der Lift sind ins Innere versetzt, so dass diese unbeheizten Räumlichkeiten komplett von beheizten Volumina umgeben sind.

Tabelle 2.6. - Daten des Objekts O6

Objekt O6			
Standort	Wien 09	Beheizte Geschosse	8
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Tiefgarage unter dem Gebäude	Anzahl Wohnungen	23
		Baujahr	1973
Brutto-Volumen (beheizt)	5261,53 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1891,08 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		1973,71 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		911,34 m ²	46,17 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		367,21 m ²	18,61 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		695,16 m ²	35,22 %
Adiabatische Bauteilflächen	Zu 2 Nachbargebäuden, gesamt 514 m ²		
Charakteristische Länge l _c	2,78 m		
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises	118,09 kWh.m ⁻² .a ⁻¹		
LEK-Wert des Original-Energieausweises	120		
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude	1,412 W.m ⁻² .K ⁻¹		
Klasse	D		



Abbildung 2.22. - Eckansicht O6 (eA)

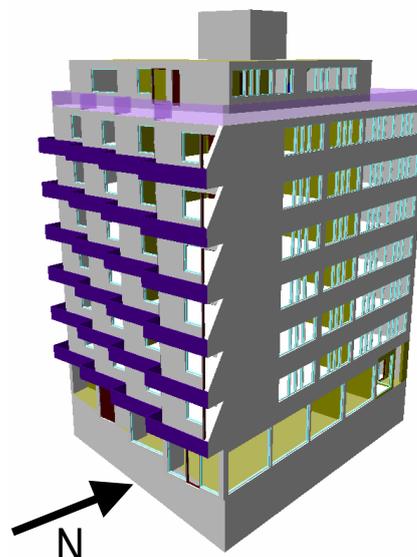


Abbildung 2.23. - virtuelles Modell O6 (eA)



Abbildung 2.24. - Grundriss Regelgeschoss O6 (eA)

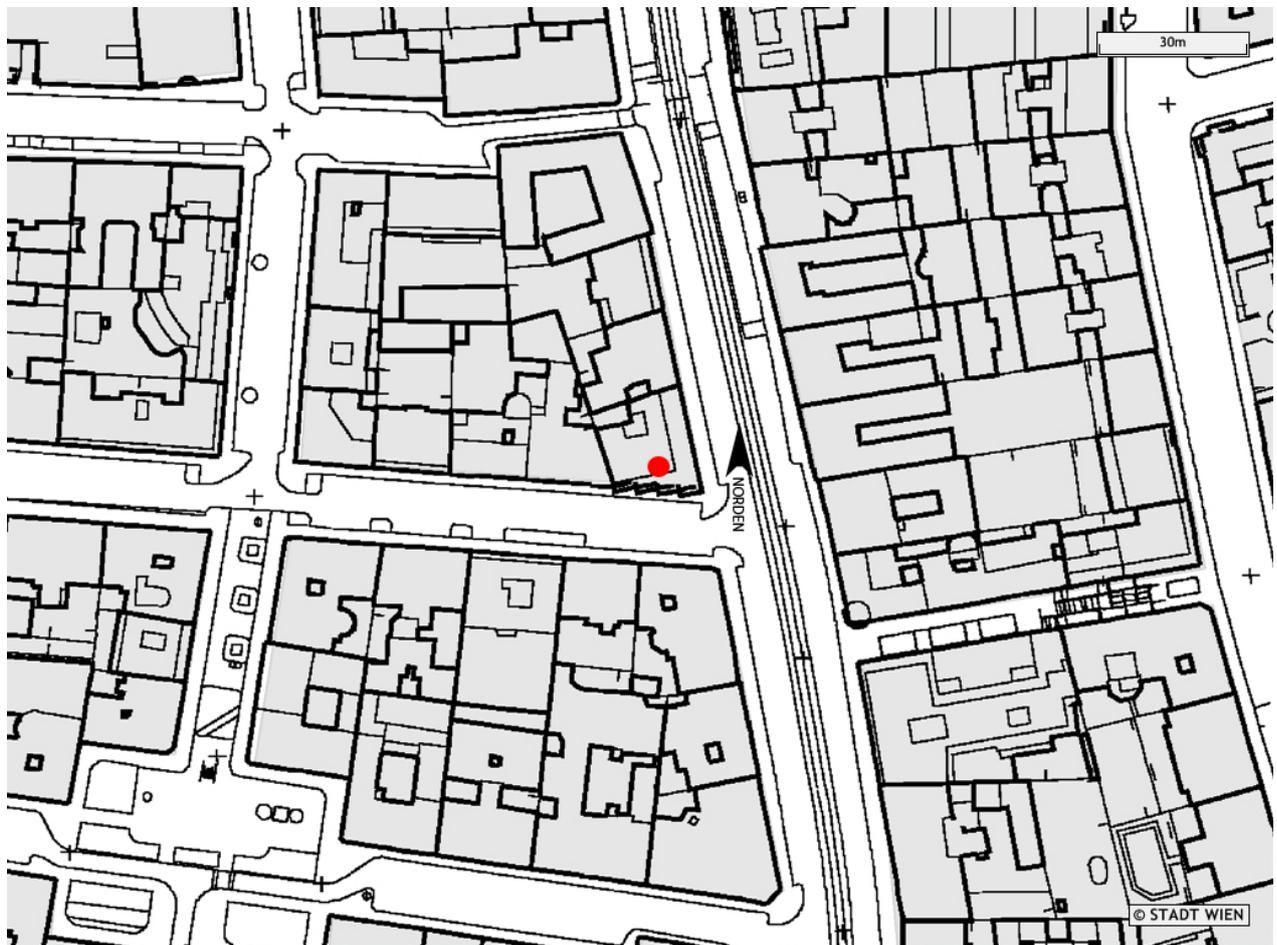


Abbildung 2.25. - Lageplan O6 (wien.at - modifiziert)

2.3.1.7. Objekt O7

Bei dem Objekt O7 handelt es sich um ein viergeschossiges Wohngebäude mit 3 Stiegen. Es wurde 1965 errichtet und bildet einen U-förmigen Blockabschluss zu einer Straße hin. Es gibt zu den Nachbargebäuden zwei adiabatische Feuermauern. Das oberste Geschoss ist ein zurückspringendes Terrassengeschoss, über dem thermisch aktiven Flachdach befindet sich eine geneigte Blechdachkonstruktion zur Wasserableitung. Das Gebäude ist nur teilweise unterkellert und besitzt zwei Einfahrten zum Innenhof.

Tabelle 2.7. - Daten des Objekts O7

Objekt O7			
Standort	Wien 23	Beheizte Geschosse	4
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Tw. Unbeheizter Keller, keine Garage	Anzahl Wohnungen	40
		Baujahr	1965
Brutto-Volumen (beheizt)	7649,04 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	2564,29 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		2530,85 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		1375,06 m ²	54,34 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		327,10 m ²	12,92 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		828,69 m ²	32,74 %
Adiabatische Bauteilflächen	2 Feuermauern, gesamt 214,56 m ²		
Charakteristische Länge l _c	2,68 m		
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises	116,34 kWh.m ⁻² .a ⁻¹		
LEK-Wert des Original-Energieausweises	82,3		
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude	1,284 W.m ⁻² .K ⁻¹		
Klasse	D		

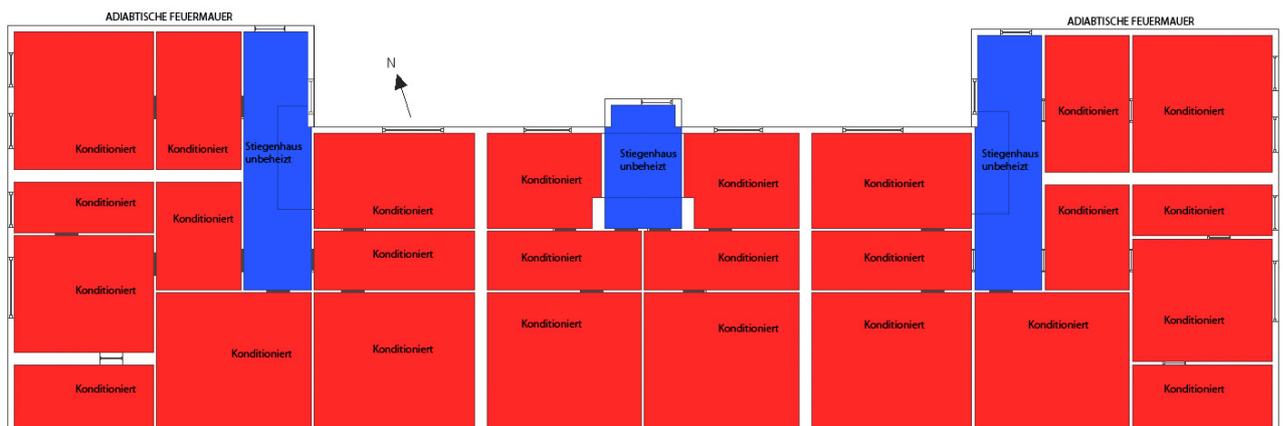


Abbildung 2.26. - Grundriss Regelgeschoss Objekt O7 (eA)



Abbildung 2.27. - Eckansicht O7 (eA)

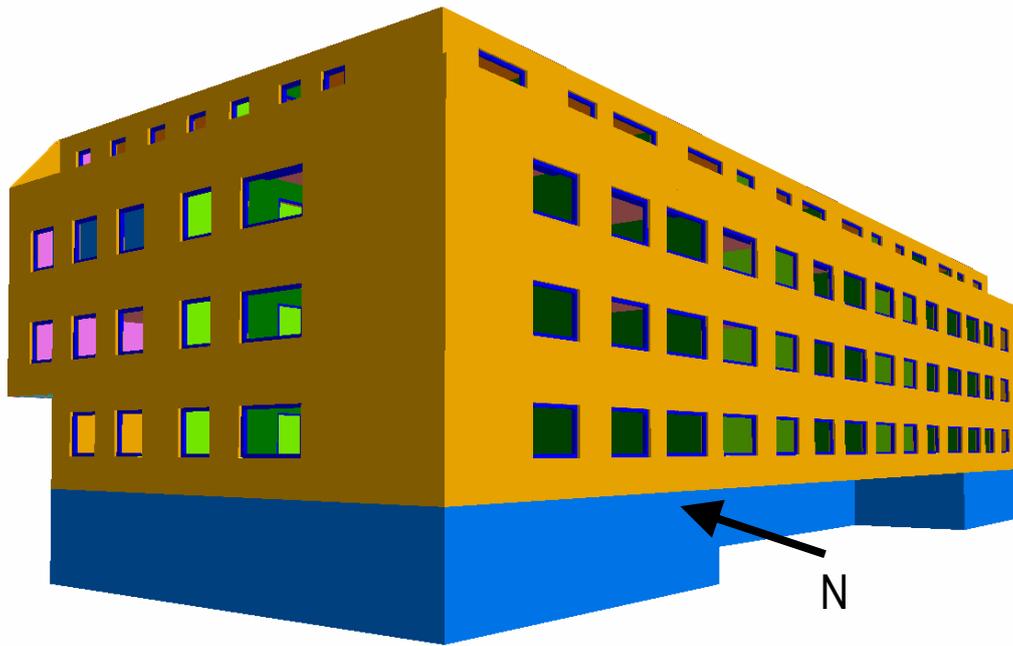


Abbildung 2.28. - virtuelles Gebäudemodell O7 (eA)

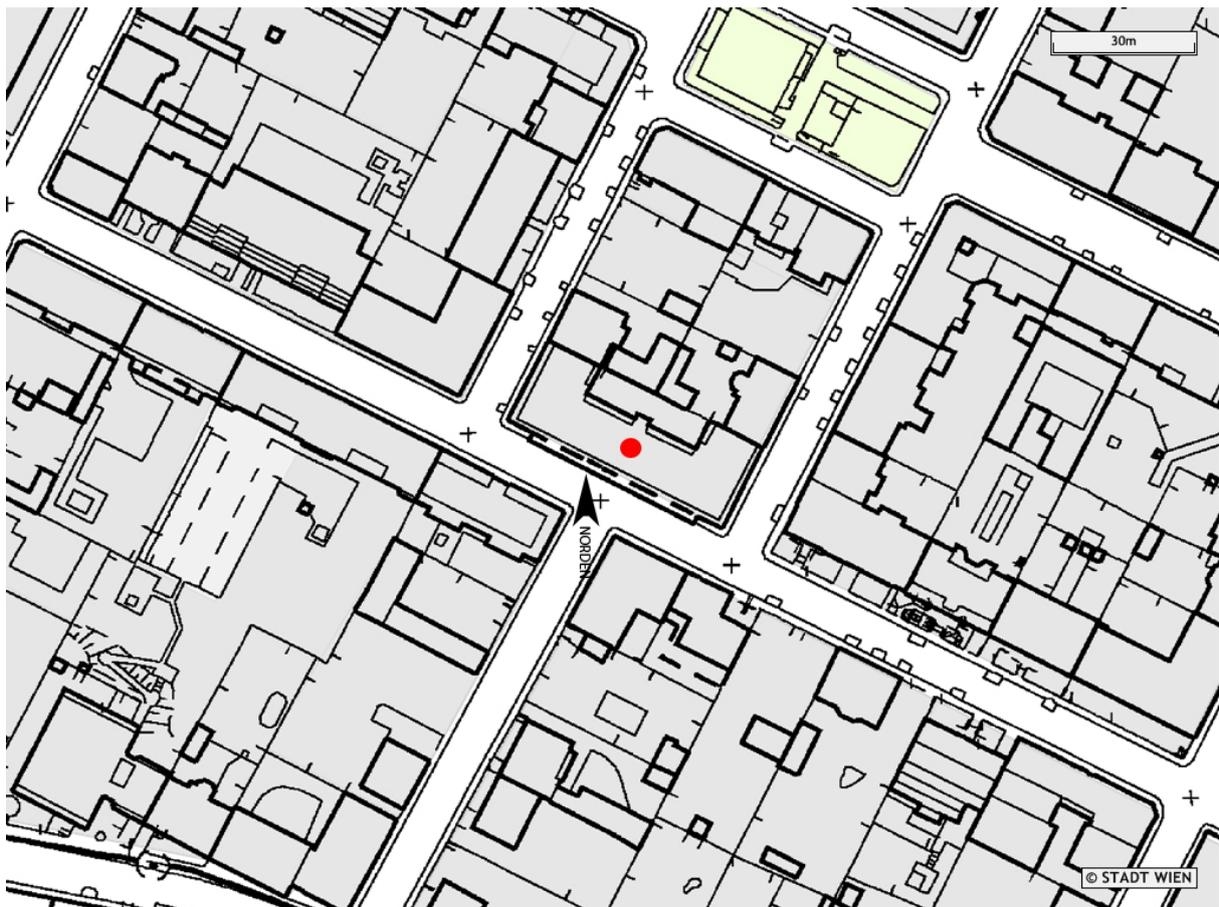


Abbildung 2.29. - Lageplan Objekt O7 (eA)

2.3.1.8. Objekt O8

Bei dem Objekt O8 handelt es sich um ein Wohnhaus in einer Straßenzeile, das im Jahre 1891 errichtet wurde. Die für diese Zeit typische reiche Fassadenausschmückung wurde, wie bei vielen im zweiten Weltkrieg beschädigten Häusern, nach dem Krieg im Zug von Sanierungsarbeiten entfernt. Unter dem vorhandenen Steildach befindet sich ein nicht ausgebauter, unbeheizter Dachraum. Die Grundrisskonfiguration mit Einfahrt zum Hinterhof und außen liegendem Stiegenhaus ist für Häuser dieser Epoche typisch.

Tabelle 2.8. - Daten des Objekts O8

Objekt O8			
Standort	Wien 12	Beheizte Geschosse	4
Keller- / Tiefgaragengeschosse	Unbeheizter Keller	Anzahl Wohnungen	9
		Baujahr	1891
Brutto-Volumen (beheizt)	3235,76 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	832,35 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche		1187,73 m ²	100,00 %
Opake wärmeabgebende Bauteile nach außen		493,99 m ²	41,61 %
Transparente wärmeabgebende Bauteile nach außen		99,60 m ²	8,39 %
Opake wärmeabgebende Bauteile zu unbeheizt		594,14 m ²	50,00 %
Adiabatische Bauteilflächen	2 Feuermauern, Gesamt: 457,84 m ²		
Charakteristische Länge l _c	2,73 m		
Heizwärmebedarf des Original-Energieausweises	164,93 kWh.m ⁻² .a ⁻¹		
LEK-Wert des Original-Energieausweises	87,1		
Mittlerer U-Wert Original-Gebäude	1,374 W.m ⁻² .K ⁻¹		
Klasse	E		

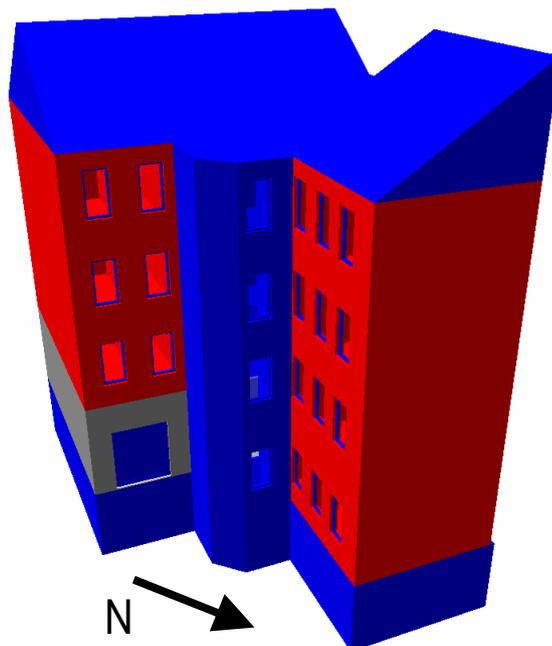


Abbildung 2.30. - Straßenfassade O8 (eA) Abbildung 2.31. - virtuelles Gebäudemodell O8 (eA)

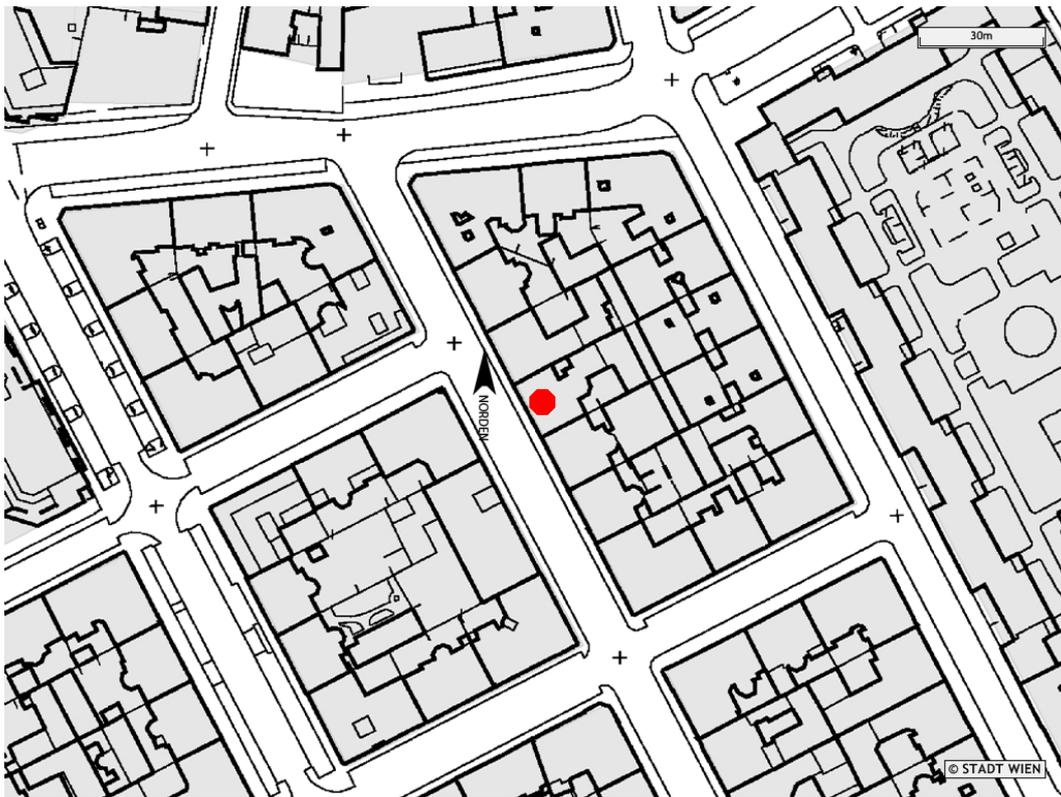


Abbildung 2.32. - Lageplan O8 (Stadt Wien, modifiziert)

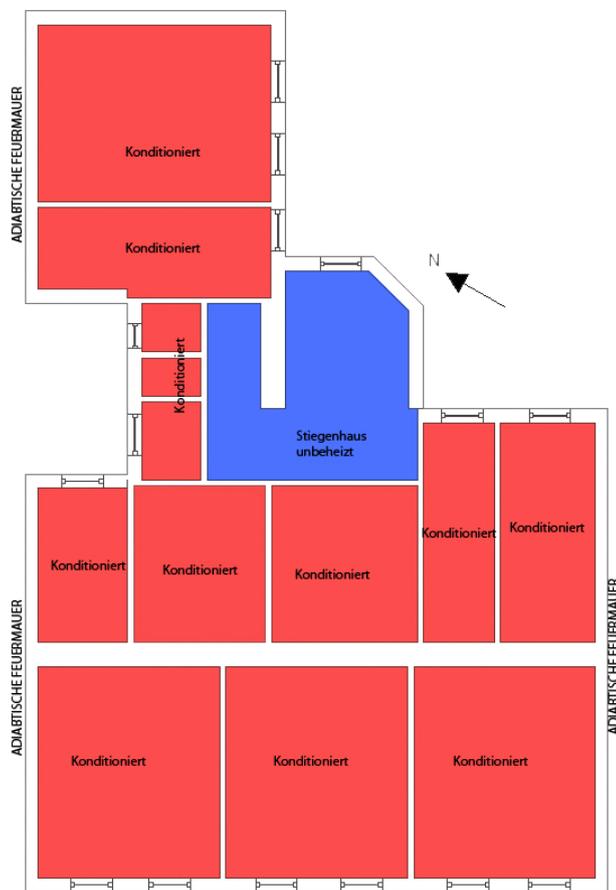


Abbildung 2.33. - Grundriss Regelgeschoss Objekt O8. (eA)

2.3.1.9. Zusammenfassende Datentabelle aller Objekte

Tabelle 2.9. - Datenzusammenfassung der Objekte O1-O8

Objektname	Baujahr	Lage	Beheizte Bruttogeschossfläche [m ²]	Beheiztes Bruttovolumen [m ³]	Anteil opake Außenbauteile [%]	Anteil transparente Außenbauteile [%]	Anteil Bauteile zu unbeheizt [%]	Heizwärmebedarf (original Energieausweis) [kWh.m ⁻² .a ⁻¹]*	Mittl. U-Wert - Original Bauteile [W.m ⁻² .K ⁻¹]*	Charakteristische Länge [m]
O1	1956	freistehend	1483,24	4726,20	60,54	9,27	30,19	171,04	1,390	2,19
O2	1956	freistehend	1483,24	4726,20	60,54	9,27	30,19	171,04	1,390	2,19
O3	1961	freistehend	1726,22	5546,26	57,00	9,82	33,18	159,71	1,240	2,07
O4	1961	freistehend	1719,82	5525,71	57,19	9,76	33,05	161,89	1,240	2,05
O5	1961	freistehend	2247,12	7215,48	56,72	8,43	34,85	144,16	1,210	2,26
O6	1973	Ecklage	1891,08	5261,53	46,17	18,61	35,22	118,09	1,412	2,78
O7	1965	U-förmiger Blockabschluss	2564,29	7649,04	54,34	12,92	32,74	116,34	1,284	2,68
O8	1891	Straßenzeile	832,35	3235,76	41,61	8,39	50,00	164,93	1,374	2,73

*) Der mittlere U-Wert sowie der Heizwärmebedarf in oben angeführter Tabelle beziehen sich auf Berechnungen nach dem Referenzklima und den originalen Bauteilen. Dieses Referenzklima unterscheidet sich von dem in dieser Arbeit verwendeten Klima, genauso wie die Bauteilsets nicht den originalen Bauteilen entsprechen.

2.3.2. Vorstellung der verwendeten virtuellen einfachen Volumina

Neben den realen Objekten, die sich durch einen großen Komplexitätsgrad auszeichnen, wurden anhand eines ganz einfachen Volumens zahlreiche Szenarien gerechnet, um weitere Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten.

Diese basieren auf einer Objekt-Grundgröße von 4 x 4 x 4 Metern, das heißt einem würfelförmigen Gebäude mit einer Außenkantenlänge von 4 Metern. Ausgehend von diesem Basisobjekt wurden 31 Szenarien gebildet.

Einige Szenarien besitzen keine Verglasungen, das heißt sie sind komplett opak. Dieses wenig realistische Konzept wurde deswegen aufgegriffen, um Szenarien mit einzubeziehen, bei dem solare Gewinne durch transparente Bauteile nicht vorkommen.

Eine Außenwandfläche hat durch die geometrischen Vorgaben immer eine Größe von 16 m². Weiters wurde festgelegt, dass ein Außenfenster (inklusive Rahmen) eine Fläche von 4 m² (2 auf 2 Meter) hat. In jeder Außenwandfläche befinden sich maximal zwei Fenster: Somit ist der Anteil der Verglasungen (bestehend aus Glasfläche und opaker Rahmenfläche) stets 25% oder 50%.

Es wurden weiters die - in der Praxis häufig vorkommenden - folgenden Sonderfälle anhand einiger dieser Szenarien betrachtet:

- Eine oder mehrere Grenzflächen des Volumens grenzen an einen geschlossenen, aber nicht konditionierten Raum. Solche Bauteile zu unbeheizt kommen in der Praxis oft vor, beispielsweise als Trennwand zwischen beheizter Wohnung und unbeheiztem Stiegenhaus.
- Eine oder mehrere Grenzflächen des Volumens grenzen an ebenfalls konditionierte Nachbarvolumina. Dieser Fall kommt beispielsweise dann vor, wenn ein Haus in einer Straßenzeile an zwei Nachbargebäude grenzt, von denen man annimmt, dass sie ebenfalls beheizt sind. Man spricht dann von adiabatischen Bauteilen, d.h. Bauteilen durch die - aufgrund der gleichen Bedingungen auf beiden Seiten - kein oder nur in äußerst geringem Maße ein Wärmestrom und daher keine beziehungsweise kaum Transmissionsverluste erfolgen.

Unbeheizte oder beheizte Nachbarvolumen haben, wenn ein oder zwei Außenwände betroffen sind, jeweils die Größe des betrachteten einfachen Würfels. Wenn das Gebäude dreiseitig umschlossen ist, wird ein U-förmiges Volumen um das Basisvolumen herumgebaut.

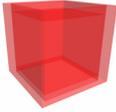
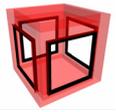
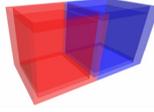
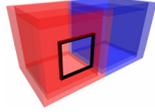
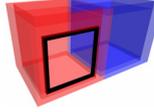
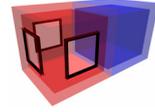
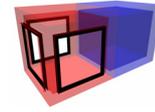
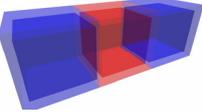
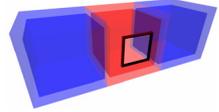
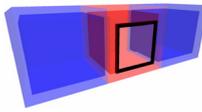
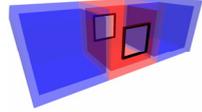
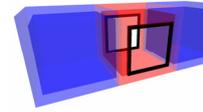
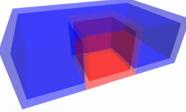
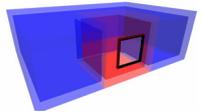
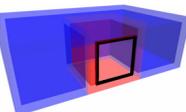
Die Szenarios wurden dann entsprechend diesen Ausführungen in 7 Gruppen eingeteilt (Tabelle 2.10).

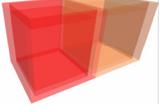
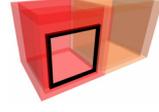
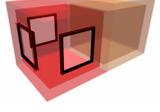
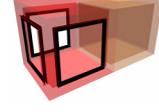
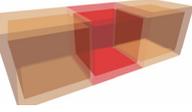
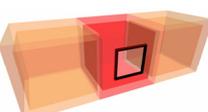
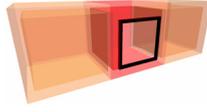
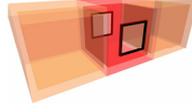
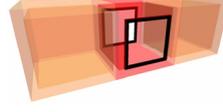
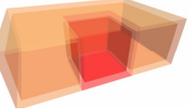
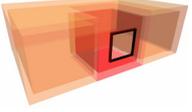
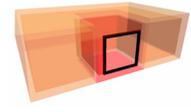
Tabelle 2.10. Gruppenbildung der Szenarien

Name & Beschreibung	Beinhaltende Szenarien	Charakteristische Länge [m]
Fre Freistehend	A,B,C,D,E	0,67
1SU Eine Seitenfläche zu unbeheizt	F1,G1,H1,I1,J1	0,67
2SU Zwei Seitenflächen zu unbeheizt	K1,L1,M1,N1,O1	0,67
3SU Drei Seitenflächen zu unbeheizt	P1,Q1,R1	0,67
1SA Eine Seitenfläche adiabatisch	F2,G2,H2,I2,J2	0,80
2SA Zwei Seitenflächen adiabatisch	K2,L2,M2,N2,O2	1,00
3SA Drei Seitenflächen adiabatisch	P2,Q2,R2	1,33

In Tabelle 2.11. werden alle Szenarios kurz dargestellt.

Tabelle 2.11. Vorstellung der Szenarien

FRE - Freistehend				
Szenario A  Freistehend, keine Verglasung	Szenario B  Freistehend, 25 % VG (S)	Szenario C  Freistehend, 50 % VG (S)	Szenario D  Freistehend, 25 % VG (S,O,N,W)	Szenario E  Freistehend, 50 % VG (S,O,N,W)
1SU - Eine Seitenfläche zu unbeheizt				
Szenario F1  O zu unbeheizt keine Verglasung	Szenario G1  O zu unbeheizt 25 % VG (S)	Szenario H1  O zu unbeheizt 50 % Verglasung (S))	Szenario I1  O zu unbeheizt 25 % VG (S,W,N)	Szenario J1  O zu unbeheizt 50 % VG (S,W,N)
2SU - Zwei Seitenflächen zu unbeheizt				
Szenario K1  O & W zu unbeheizt, keine Verglasung	Szenario L1  O & W zu unbeheizt, 25 % VG (S)	Szenario M1  O & W zu unbeheizt, 50 % VG (S)	Szenario N1  O & W zu unbeheizt, 25 % VG (S,N)	Szenario O1  O & W zu unbeheizt, 50 % VG (S,N)
3SU - Drei Seitenflächen zu unbeheizt				
Szenario P1  O,N,W zu unbeheizt, keine Verglasung	Szenario Q1  O,N,W zu unbeheizt, 25 % VG (S)	Szenario R1  O,N,W zu unbeheizt, 50 % VG (S)		

1SA - Eine Seitenflächen adiabatisch				
<p>Szenario F2</p>  <p>O adiabatisch, keine Verglasung</p>	<p>Szenario G2</p>  <p>O adiabatisch, 25 % VG (S)</p>	<p>Szenario H2</p>  <p>O adiabatisch, 50 % VG (S)</p>	<p>Szenario I2</p>  <p>O & W adiabatisch, 25 % VG (S,W,N)</p>	<p>Szenario J2</p>  <p>O & W adiabatisch, 50 % VG (S,W,N)</p>
2SA - Zwei Seitenflächen adiabatisch				
<p>Szenario K2</p>  <p>O & W adiabatisch, keine Verglasung</p>	<p>Szenario L2</p>  <p>O & W adiabatisch, 25 % VG (S)</p>	<p>Szenario M2</p>  <p>O & W adiabatisch, 50 % VG (S)</p>	<p>Szenario N2</p>  <p>O & W adiabatisch, 25 % VG (S,N)</p>	<p>Szenario O2</p>  <p>O & W adiabatisch, 50 % VG (S,N)</p>
3SA - Drei Seitenflächen adiabatisch				
<p>Szenario Q1</p>  <p>O,N,W adiabatisch, keine Verglasung</p>	<p>Szenario Q2</p>  <p>O,N,W adiabatisch, 25 % VG (S)</p>	<p>Szenario R2</p>  <p>O,N,W adiabatisch, 50 % VG (S)</p>		

2.4. Vorstellung der verwendeten Software

Folgende Softwareprodukte wurden für die Berechnungen beziehungsweise Simulationen verwendet:

2.4.1. Excel-basiertes OIB-Programm für die Berechnung von Energiekennzahlen Version hwb02h (in weiterer Folge mit dem Kürzel "**OIB**" bezeichnet)

Hierbei handelt es sich um ein vom österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) herausgegebenes Berechnungstool, das auf dem OIB Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen aus dem Jahre 1999 basiert. Die Berechnungen werden hier nach dem so genannten Heizperiodenbilanzverfahren vorgenommen. Im Hintergrund liegt ein Katalog mit jährlichen Klimadaten. Seit der Publikation der OIB-Richtlinie Energieeinsparung und Wärmeschutz im Jahre 2007 ist dieses Verfahren nicht mehr gebräuchlich und wird inzwischen auch nicht mehr von den Gebietskörperschaften verwendet. Dennoch ist es für eine schnelle Abschätzung des Heizwärmebedarfs sehr gut geeignet.

2.4.2. Archiphysik 8 (in weiterer Folge mit dem Kürzel "**APH**" bezeichnet)

Das von der Firma A-Null Bauphysik GmbH herausgegebene Programm Archiphysik ist ein komfortables Werkzeug zur Berechnung vieler verschiedener bauphysikalischer Nachweise. Neben der Umsetzung der Berechnungen, die auf der OIB Richtlinie Energieeinsparung und Wärmeschutz sowie den darin erwähnten Ö-Normen basieren, beherrscht das Programm auch die Berechnung von U-Werten, Kondensationsberechnungen, Schallschutz und sogar sommerlicher Überwärmung, jeweils entsprechend den nationalen Normen. Im Hintergrund des Programms liegen zahlreiche Kataloge mit Wetterdaten, Bauteildaten, etc., die auch laufend online aktualisiert werden können.

Der von Archiphysik erzeugte Energieausweis basiert auf den gleichen Eingabedaten und Berechnungen wie das im Moment vom österreichischen Institut für Bautechnik herausgegebenem Schulungstool, das die Nachfolge des in 2.4.1. erwähnten Tools angetreten hat und eine Monatsbilanzberechnung durchführt. Dieses Excel-Schulungstool ist im Vergleich zu dem kommerziellen Programm im Handling durch die Benutzeroberfläche in Excel etwas eingeschränkt, daher wurde auf eine Betrachtung dieses Tools verzichtet. Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Resultate in Archiphysik und anderen kommerziellen Softwareprodukten (z.B. geq von Zehentmayer Software) sehr nahe an den Resultaten dieses Schulungstools liegen, da die Programme bei einem vorgegebenen Validierungsfall des OIBs nahezu gleiche Resultate erbringen mussten, um als "validiert" zu gelten.

Die bisher genannten Programme gehören zur Kategorie der stationären Berechnung, das folgende Werkzeug ist dagegen ein Tool zur dynamischen Simulation:

2.4.3. EDSL TAS (in weiterer Folge mit dem Kürzel "**SIM**" bezeichnet)

Das von der Firma Environmental Design Solutions Limited seit 1988 entwickelte Programm TAS (Thermal Analysis Software) ist ein Programm zur detaillierten thermischen Simulation. Neben der Berechnung von Heiz- und Kühlenergie können Temperaturverläufe, Feuchtigkeit und viele weitere Parameter stündlich berechnet werden. Das Programm besteht aus unterschiedlichen Programmmodulen, die jeweils unterschiedliche Aufgaben erfüllen. So gibt es einen 3D-Modeller, mit dem die Geometrieingabe erfolgt, ein Modul namens Building Simulator, mit dem die Berechnungsparameter wie Wetter, Bauteile, interne Bedingungen und mehr eingestellt werden können und dann die Berechnung durchgeführt wird, und ein Modul namens Result Viewer, mit dem sich die Berechnungsergebnisse ausgeben und Abfragen innerhalb der doch recht umfassenden Resultat-Dateien vornehmen lassen. Die Simulationen in TAS sind laut Herstellerangaben durch Messungen validiert und entsprechen diversen internationalen Vorgaben und Normen, wie z.B. der EN ISO 13791 (Thermisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Berechnungsalgorithmen).

2.5. Eingabedaten

2.5.1. Geometrie

2.5.1.1. Grundsätzliches

Um thermische Berechnungen durchführen zu können, benötigen die Berechnungsprogramme bestimmte geometrische Eingabedaten. Diese können neben der Orientierung zu den Himmelsrichtungen, den Bauteilabmessungen (eventuell bereits mit den Bauteilaufbauten beziehungsweise thermischen Kenndaten), Flächen und Volumen des Gesamtgebäudes auch Daten sein, die nicht unmittelbar mit dem Bauwerk zusammenhängen (z.B. Verschattungen durch umstehende Gebäude).

Die Geometrieingabe in Berechnungsprogramme kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Bei einigen Programmen z.B. EDSL TAS ist es notwendig, ein eigenes 3D-Modell zu erstellen.

Bei anderen Programmen, z.B. Archiphysik, ist dies nicht möglich. Hier kann stattdessen sowohl eine numerische Eingabe erfolgen, das heißt es werden die Abmessungen jedes Bauteils in listenartige Strukturen eingetragen, als auch eine direkte Datenübergabe aus Geometrien die in CAD- oder 3D-Programmen wie Autocad, Archicad oder Google Sketch Up gezeichnet wurden.

Die Idee, die thermischen Berechnungen beziehungsweise den Prozess der Datenübergabe mittels einheitlicher Standards branchenübergreifend zum sogenannten **Building Information Modelling (BIM)** weiter zu entwickeln, steht seit einiger Zeit im Raum. Die Vorteile werden - speziell bei zu errichtenden Neubauten - darin gesehen, dass statt einer Vielzahl von individuellen Plänen und Datenstrukturen, die für verschiedene am Planungs- und Bauprozess beteiligte Personen und Firmen benötigt werden, eine einheitliche Grundbasis geschaffen wird, in der modular die entsprechenden Pläne und Daten enthalten sind. Bei richtiger Handhabung führt dies zu Arbeits- und Kommunikationserleichterungen.

Möchte man energetische Berechnungen für bestehende Bauten durchführen, steht man oft vor dem Problem, dass die Geometriedaten nur auf analogen Plänen zur Verfügung gestellt werden. In diesem Fall kann es schneller sein, sich eine Tabelle mit den entsprechenden Daten durch Messen auf dem Plan mit Maßstab und Lineal zu erstellen.

2.5.1.2. Eingabe der Geometrie in den verwendeten Programmen

Das Berechnungstool **OIB** benötigt eine numerische Eingabe der Bauteilgrößen und bei transparenten Bauteilen auch die Orientierung für die Berechnung von solaren Gewinnen.

APH kann sowohl numerische Eingaben verarbeiten, wie auch Daten aus diversen CAD-Programmen. Hier sind die Außenabmessungen/wärmeabgebenden Flächen, sowie die Ausrichtung der Flächen von Bedeutung.

Für die **Simulation** mit EDSL TAS ist ein Modellieren des Gebäudes im Modul 3D-Modeller erforderlich. Es können CAD-Pläne untergelegt werden, um dies zu erleichtern.

Da die Basisinformation über die Gebäudegeometrie nur auf Papier vorlag, wurde folgende Arbeitsweise gewählt:

Anhand der nur analog vorliegenden Pläne der realen Gebäude wurden tabellarische Aufstellungen über Art, Ausrichtung und Abmessungen aller relevanten Bauteile erstellt. Aus diesen Aufstellungen wurden dann die Eintragungen in OIB und APH vorgenommen.

Für SIM wurde entsprechend den Programmnotwendigkeiten ein 3D-Gebäudemodell im 3D-Modeller erstellt.

Bei den simplen Volumina wurde analog verfahren, wobei wegen der Einfachheit der Objekte der Zwischenschritt mit der Tabellenkalkulation auch vermeidbar gewesen wäre.

2.5.1.3. Einschränkungen / Unterschiede bei den Geometrieingaben

Beim Berechnungstool **OIB** ist eine Bauteilausrichtung nur nach den Himmelsrichtungen Süd, Ost, Nord und West möglich. Bei den realen Gebäuden wurde daher die nächstliegende Ausrichtung gewählt. Es ist außerdem nicht möglich, eine Neigung der Bauteile anzugeben - diese sind entweder als vertikal oder horizontal einzugeben.

Beim Berechnungstool **APH** ist eine Ausrichtung von Bauteilen in 22,5° Schritten möglich, dem entsprechend stehen 16 Ausrichtungen (N, NNO, NO, ONO, O, OSO, SO, SSO, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW und NNW) zur Verfügung. Eine Neigung eines Bauteils kann zwischen Vertikal und Horizontal in 15°-Schritten (0, 15, 30, 45, 60, 75 und 90°) angegeben werden. Werden Daten über die CAD-Schnittstelle hineingeladen, werden diese entsprechend angepasst, auch wenn sie nicht genau den Vorgaben entsprechen.³¹

³¹ Battisti, K.; Stosch, G.; 2010

Bei dem Simulationswerkzeug können die Ausrichtungen numerisch frei eingegeben werden (Drehung des 3D-Modells mittels Eingabe des "North Angle"). Da im 3D-Modeller grundsätzlich Extrusionskörper mit frei anzugebender Höhe anhand der Grundrissform erstellt werden, müssen geneigte Flächen durch Verschneiden mit einer Ebene generiert werden.

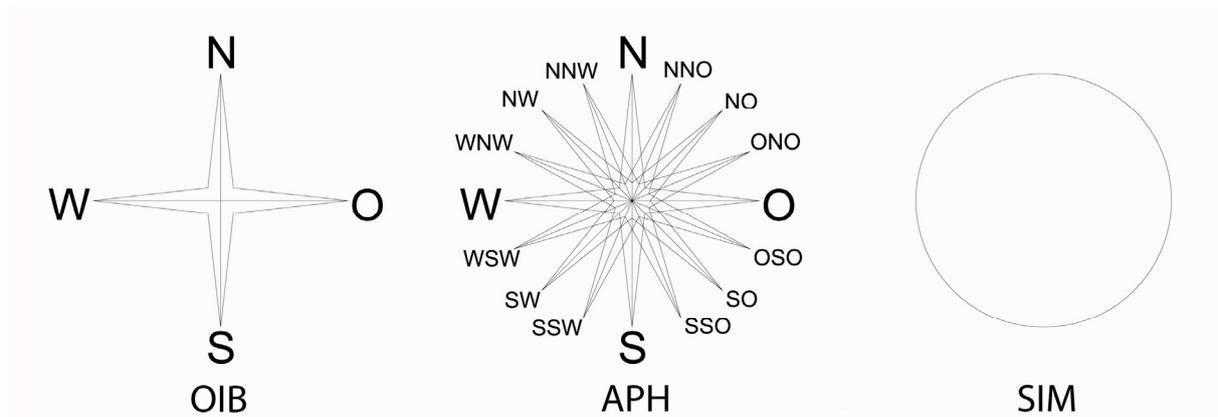


Abbildung 2.34. - Mögliche Bauteilorientierungen bei OIB, APH und SIM (eigene Abbildung)

Aus Gründen der Verwendbarkeit ist anzuraten, die Eingabedaten zwar genau, aber dennoch einfach zu halten. Gebäude mit Freiformflächen oder sehr komplizierten Dachformen (Gaupenverschneidungen, etc.) sollten entsprechend angenähert werden. Das war in dieser Arbeit aufgrund der klaren geometrischen Formen der vorliegenden realen Gebäude und einfachen Volumina aber nicht notwendig.

2.5.2. Bauteile

2.5.2.1 Prinzipielles zu den Bauteilen

Eine häufige Problematik bei der thermischen Evaluation und Simulation bestehender Bauwerke ist der Mangel an ausreichenden Informationen bezüglich der thermischen Eigenschaften der relevanten Bauteile. Während bei Neubauten diese Daten meistens relativ einfach zu bekommen sind, liegen Daten von älteren Bestandsbauten, wenn überhaupt, nur rudimentär vor.

Für eine stationäre Berechnung ist bei opaken Bauteilen zumindest der U-Wert erforderlich, bei transparenten Bauteilen außerdem Angaben über den Transmissionsgrad.

Außerdem sollten Informationen über Verschattungen auf Bauteile bekannt sein, wobei zwischen Eigenverschattung, z.B. durch hervorspringende Geometrien des betrachteten Objekts (z.B. Erker oder Balkone) und Fremdverschattung durch die Umgebung (Bäume, andere Gebäude, Horizontüberhöhungen durch Geländetopologie, etc.) zu unterscheiden ist.

Für dynamische Simulationen sind neben diesen Basis-Informationen weitere notwendig, damit diese Berechnungen überhaupt durchgeführt werden können. Eine Aufstellung der erforderlichen Eingabedaten betreffend Bauteile folgt unter 2.5.2.2.

In den Verfahren OIB und APH werden nur wärmeabgebende Bauteile berücksichtigt, bei der Simulation hingegen auch innere Bauteile wie Zwischenwände und Geschossdecken. Auch diese Bauteile wurden modelliert, weil für bestimmte Teilwerte der Berechnung die Fläche der Geschossdecken nötig ist, da sie pauschal auf die Fläche berechnet werden (interne Gewinne, siehe 2.5.4.1.). Darüber hinaus liegt das Vorhandensein von internen Bauteilen näher an der Realität und hat durch deren Masse Auswirkungen auf die Resultate.

In der Simulation liegen ausreichende Informationen über das Wärmespeichungsvermögen der Baustoffe anhand der einzugebenden Kennwerte vor, Diese Informationen werden in APH und OIB nicht aus an Bauteile angehängten Informationen, sondern prinzipiellen Einstellungen vorgegeben (siehe 2.5.6.)

2.5.2.2. Erforderliche Bauteildaten für stationäre und dynamische Berechnungen

Die erforderlichen Daten betreffend Bauteile und der Gebäudehülle in den verschiedenen Berechnungsverfahren beinhalten zum Teil neben thermischen Eigenschaften auch bestimmte zusätzliche Informationen, beispielsweise die Lage im Gebäude oder die Größe der jeweiligen Elemente.

In der folgenden Tabelle werden die erforderlichen Informationen betreffend Bauteile für die drei genannten Tools aufgezeigt:

Tabelle 2.12. - Mögliche notwendige Eingangsdaten für Bauteile in den Verfahren OIB,APH und SIM

	OIB	APH	SIM
Erforderliche Kennwerte Opake BT	U-Wert	U-Wert	Detaillierter Aufbau mit folgenden Daten d[mm], λ , ρ , μ , c, SRie, LRie, Eie
Weitere Möglichkeiten Opake BT	U-Wert-Berechnung anhand von λ und d[m]	U-Wert-Berechnung anhand von λ und d[m]	
Erforderliche Kennwerte Transparente Bauteile	U-Wert _{Fen, g}	U-Wert _{Fen, g}	Daten für den Rahmen analog der opaken Bauteile Daten für die Glasfläche aus Gläsern und Luft/Gas-Ebenen. Folgende Daten sind hierzu erforderlich d[mm], λ , ρ , μ , c, SRie, LRie, Eie, zusätzlich SAie
Weitere Möglichkeiten Trans. BT	Eine Berechnung des resultierenden U-Werts aus Rahmen und Fenster ist möglich (%-Angabe der Verglasung vom Gesamtfenster erforderlich)	Eine Berechnung des resultierenden U-Werts aus Rahmen und Fenster ist möglich (%-Angabe der Verglasung vom Gesamtfenster erforderlich)	

BT	...Bauteile
U-Wert	...Wärmedurchgangskoeffizient in $W.m^{-2}.K^{-1}$
U-Wert _{Fen}	...Wärmedurchgangskoeffizient des (Gesamt-)Fensters in $W.m^{-2}.K^{-1}$
U-Wert _G	...Wärmedurchgangskoeffizient des Glases in $W.m^{-2}.K^{-1}$
U-Wert _R	...Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmen in $W.m^{-2}.K^{-1}$
d[m]	...Bauteildicke in Metern
d[mm]	...Bauteildicke in Millimetern
λ	...Wärmeleitfähigkeit in $W.m^{-1}.K^{-1}$
ρ	...Dichte in $kg.m^{-3}$
μ	...Diffusionswiderstandsfaktor
c	...Spezifische Wärmekapazität in $J.kg^{-1}.K^{-1}$
SRie	...Solar Reflectance internal & external in %
LRie	...Light Reflectance internal & external in %
Eie	...Emissivity internal & external in %
SAie	...Solar Absorptance internal & external in %

2.5.2.3. Vorgangsweise bei mangelnden Eingangsdaten

Bei bestehenden Objekten kommt es - wie schon erwähnt - häufig vor, dass nicht genug Eingabedaten für Berechnungen beziehungsweise Simulationen vorhanden sind.

Im Leitfaden zur Berechnung von Energiekennzahlen des OIB heißt es hierzu:

"Sind für einzelne Bauteile konkrete U-Werte bekannt, sind tunlichst diese heranzuziehen."³²

Selbstverständlich ist es bei Bestandsbauten möglich, mittels detaillierter Materialuntersuchungen bauphysikalische Kennwerte der Bauteile zu ermitteln.

So kann die Entnahme einer Bohrprobe durch einen Bauteil Klarheit über dessen Schichtaufbau liefern und anhand einer solchen Probe lassen sich weitergehende Untersuchungen vornehmen, mit denen im Labor der U-Wert und andere Kennwerte ermittelt werden können.

Zumeist wird aber auf solche detaillierten Untersuchungen verzichtet, wobei folgende Begründungen vorgebracht werden:

- Detaillierte Untersuchungen der vorhandenen Baumaterie sind meistens zu kostspielig. Ist das Ziel der Berechnungen die Erstellung eines Energieausweises, wird der Auftraggeber des Energieausweises in der Regel nicht bereit sein, detaillierte Untersuchungen an einzelnen oder allen Bauteilen zu finanzieren.
- Viele der Ersteller von Energiezertifikaten beziehungsweise Berechnungen von Energiekennzahlen besitzen darüber hinaus nicht die notwendigen Gerätschaften und auch nicht die erforderlichen Kenntnisse, um solche detaillierten Untersuchungen vorzunehmen.
- Oftmals werden detaillierte oder invasive Untersuchungen von den Besitzern und Mietern der Gebäude nicht gewollt, sei es aus Sicherheitsbedenken, ästhetischen Bedenken oder Angst vor Angriff am eigenen Besitz. An dieser Stelle sollte auch erwähnt werden, dass sogar eine Begehung oder Fotodokumentation auf den Widerstand der Gebäudenutzer stoßen kann.

³² OIB [Hrsg], 2007b, S. 9

- Oftmals wären auch mehrere punktuelle Untersuchungen notwendig, um die Aufbauten zu ermitteln - beispielsweise wenn tragende Betonteile mit Ziegeln ausgefacht sind oder ein Dachstuhl aus Sparrenkonstruktion mit dazwischen liegenden Dämmstoffpaketen aufgebaut ist.
- Oftmals sind die zu untersuchenden Bauteile gar nicht zugänglich.

Bestimmte Informationen über Bauteile lassen sich durch Studium der Gebäudepläne, die zumeist auf dem Informationslevel von Einreichplänen vorliegen und einfach über Behörden organisiert werden können, Begehungen und photographische Objektdokumentationen ermitteln, beispielsweise ob es sich um eine leichte Skelettkonstruktion oder einen schweren Massivbau handelt.

In Einreichplänen von Bauwerken, die in den letzten 30 Jahren errichtet wurden, finden sich erfahrungsgemäß Auflistungen von Bauteilschichten, bei neu errichteten Gebäuden sind darüber hinaus auch Details der Schichten angegeben (z.B. Lambda-Werte der Schichten, genaue Produktbezeichnungen oder sogar U-Werte).

Bei älteren Gebäuden kann man anhand der Pläne meistens nur die Dicke der Bauteile ermitteln. Allerdings gibt es auch hier Möglichkeiten zumindest über die typischen Konstruktionsaufbauten der jeweiligen Epoche Informationen zu suchen. Eine sehr gute Sammlung von historischen Aufbauten bietet die im Internet öffentlich zugängliche MASEA-Datenbank³³ des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau. Allerdings sind auch die Daten in dieser Datenbank in vielen Fällen nicht ausreichend für detaillierte Berechnungen.

Bei den verwendeten Objekten lagen für die einfachen Volumina keine Bauteilaufbauten vor, für die bestehenden Objekte waren in den zu Grunde liegenden Plänen partielle Angaben über die Bauteile vorhanden, jedoch weder mit thermischen Kennwerten noch vollständige Aufbauten.

Daher war es notwendig Annahmen für die entsprechenden Konstruktionen zu formulieren.

³³ Fraunhofer-IRB [Hrsg.]: <http://www.irb.fraunhofer.de/denkmalpflege/masea.jsp>

2.5.2.4. Generierte Bauteilaufbauten - Bauteil-"Reengineering"

Es wurden Bauteilaufbauten für alle notwendigen Bauteile generiert, die dann sowohl für stationäre Berechnungen wie auch für die dynamische Simulation eingesetzt wurden. Zwei von den Sets basieren auf den heutigen gesetzlichen Mindestanforderungen für wärmeabgebende Bauteile nach OIB (siehe Tabelle 2.13.), drei Sets basieren auf den Defaultwerten für historische Bauten nach OIB (siehe Tabelle 2.14.) und ein Set wurde anhand von typischen U-Werten von sehr stark gedämmten Gebäuden heutiger Zeit erstellt.

Tabelle 2.13. - heutige Anforderungen der thermischen Qualität wärmeabgebender Bauteile (OIB 2007a)

Bauteil	U-Wert [W/m²K]
WÄNDE gegen Außenluft	0,35
Kleinflächige WÄNDE gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2% der Wände des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die ÖNORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird.	0,70
TRENNWÄNDE zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten	0,90
WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume)	0,60
WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0,35
WÄNDE gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0,50
ERDBERÜHRTE WÄNDE UND FUSSBÖDEN	0,40
FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE oder UNVERGLASTE TÜREN (bezogen auf Prüfnormmaß) und sonstige vertikale TRANSPARENTE BAUTEILE gegen unbeheizte Gebäudeteile	2,50
FENSTER und FENSTERTÜREN in Wohngebäuden gegen Außenluft (bezogen auf Prüfnormmaß)	1,40
Sonstige FENSTER, FENSTERTÜREN und vertikale TRANSPARENTE BAUTEILE gegen Außenluft, VERGLASTE oder UNVERGLASTE AUSSENTÜREN (bezogen auf Prüfnormmaß)	1,70
DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft	1,70
Sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft	2,00
DECKEN gegen Außenluft, gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt) und über Durchfahrten sowie DACHSCHRÄGEN gegen Außenluft	0,20
INNENDECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
INNENDECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90

Tabelle 2.14. - Default U-Werte und g-Werte für Außenbauteile historischer Bauwerke laut Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden (OIB 2007b)

Epoche / Gebäudetyp	KD	OD	AW	DF	FE	G	AT
vor 1900 EFH	1,25	0,75	1,55	1,30	2,50	0,67	2,50
vor 1900 MFH	1,25	0,75	1,55	1,30	2,50	0,67	2,50
ab 1900 EFH	1,20	1,20	2,00	0,90	2,50	0,67	2,50
ab 1900 MFH	1,20	1,20	1,50	0,90	2,50	0,67	2,50
ab 1945 EFH	1,95	1,35	1,75	1,30	2,50	0,67	2,50
ab 1945 MFH	1,10	1,35	1,30	1,30	2,50	0,67	2,50
ab 1960 EFH	1,35	0,55	1,20	0,55	3,00	0,67	2,50
ab 1960 MFH	1,35	0,55	1,20	0,55	3,00	0,67	2,50
Systembauweise	1,10	1,05	1,15	0,45	2,50	0,67	2,50
Montagebauweise	0,85	1,00	0,70	0,45	3,00	0,67	2,50

KD... U-Wert Kellerdecke; OD...U-Wert oberste Geschossdecke; AW... U-Wert Außenwand; DF...U-Wert Dachflächen; FE...U-Wert Außenfenster; G...g-Wert der Fenster (in %); AT...U-Wert Außentüren (alle U-Werte in $W.m^{-2}.K^{-1}$)

Die jeweiligen Konstruktionen wurden nun anhand dieser U-Werte entwickelt. Hierbei wurde folgende Arbeitsweise angewendet:

1. Ermittlung des geforderten U-Werts für den jeweiligen Bauteiltypus.
2. Überlegen einer prinzipiellen Schichtenabfolge entsprechend den allgemeinen Grundsätzen des Hochbaus, wobei hier nur thermische Aspekte beachtet wurden und Kondensation und Schallschutz nicht berücksichtigt wurden.
3. Ermitteln der Wärmeleitfähigkeiten und Schichtdicken aus den Archiphysik beigefügten Katalogen und Berechnung des U-Wertes mittels eines vordefinierten Excel-Sheets (der vom Autor für die Grundlagenlehre an der Abteilung Bauphysik und Bauökologie im Jahre 2009 erstellt wurde).
4. Angleichen des U-Werts an das Soll durch Modifikation der Schichtdicken und der Wärmeleitfähigkeiten, jedoch so, dass diese im Rahmen des jeweiligen Materials bleiben (das heißt, dass hier keine unrealistischen Werte angenommen werden, wie zum Beispiel eine Wärmeleitfähigkeit vom $0,04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ für Stahlbeton).
5. Übernahme der Werte μ , c und ρ aus der Archiphysik-Datenbank
6. Ergänzen der noch fehlenden Werte S_{Rie} , L_{Rie} und E_{ie} anhand vergleichbarer Materialien aus der TAS-Materialien-Datenbank.

Der Grund, warum nicht gleich komplett vorhandene Materialdaten aus der TAS-Datenbank entnommen wurden, ist, dass hier größtenteils Bauteile aus dem anglo-amerikanischen Raum vorhanden sind, die teilweise bei weitem nicht den mitteleuropäischen Standards entsprechen.

Exemplarisch soll der Ablauf des Bauteil-Reengineering an einer obersten Geschossdecke zur Außenluft gezeigt werden:

Schritt 1 - Der geforderte U-Wert lt. OIB-RL beträgt $0,20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Schritt 2 - Abfolge der Bauteilschichten von oben/außen nach unten/innen:

Abdichtung - Wärmedämmung - Stahlbetondecke - Innenputz

Schritt 3 & 4 ergeben die grau hinterlegten Daten in untenstehender Tabelle 2.15.

Schritt 5 ergibt die gelb hinterlegten Daten in untenstehender Tabelle 2.15.

Schritt 6 ergibt die rot hinterlegten Daten in untenstehender Tabelle 2.15.

Tabelle 2.15. - Beispiel für das Reengineering eines Bauteils - Oberste Geschossdecke zur Außenluft mit einem U-Wert von $0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

Schichtname	d[m]	λ	ρ	c	μ	SRie	LRie	Eie
Abdichtung	0,022	0,2	1.500	790	100.000	0,26	0	0,91
Wärmedämmung	0,18	0,038	30	1.030	1	0,6	0	0,9
STB-Decke	0,20	2	2.400	1.110	100	0,35	0	0,9
Innenputz	0,02	0,9	1.200	900	10	0,6	0	0,9

Nach diesem Arbeitsablauf wurden alle Bauteile aller Sets erstellt.

2.5.2.5. Verwendete Bauteilsets

Folgende Bauteilsets wurden konstruiert und verwendet:

- **"OIB2007s"**: Massivbauteile (Stahlbeton, Ziegelkonstruktionen) mit den U-Werten die in der OIB-RL6 für Neubauten gefordert werden
- **"OIB2007I"**: Leichtbauteile (Holzkonstruktionen, Skelettbau) mit den U-Werten die in der OIB-RL6 für Neubauten gefordert werden
- **"MFH1900"**: Massivbauteile (Beton/Ziegelkonstruktionen) mit den U-Werten die im Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden für Mehrfamilienhäuser vor 1900 angeführt werden (entspricht also den Bauteilen des typischen Wiener Gründerzeithauses)
- **"MFH1945"**: Massivbauteile/U-Werte die Mehrfamilienhäusern nach 1945 entsprechen (entsprechend Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden).
- **"MFH1960"**: Massivbauteile/U-Werte die Mehrfamilienhäusern nach 1960 entsprechen (entsprechend Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden).
- **"PASSIV"**: Bauteile/U-Werte die in der Errichtung von Niedrigstenergie- und Passivhäusern Verwendung finden.

Im folgenden Diagramm ist ein Überblick über die U-Werte der verschiedenen Bauteilsets zu finden. Die detaillierten Aufbauten sind im Anhang dokumentiert.

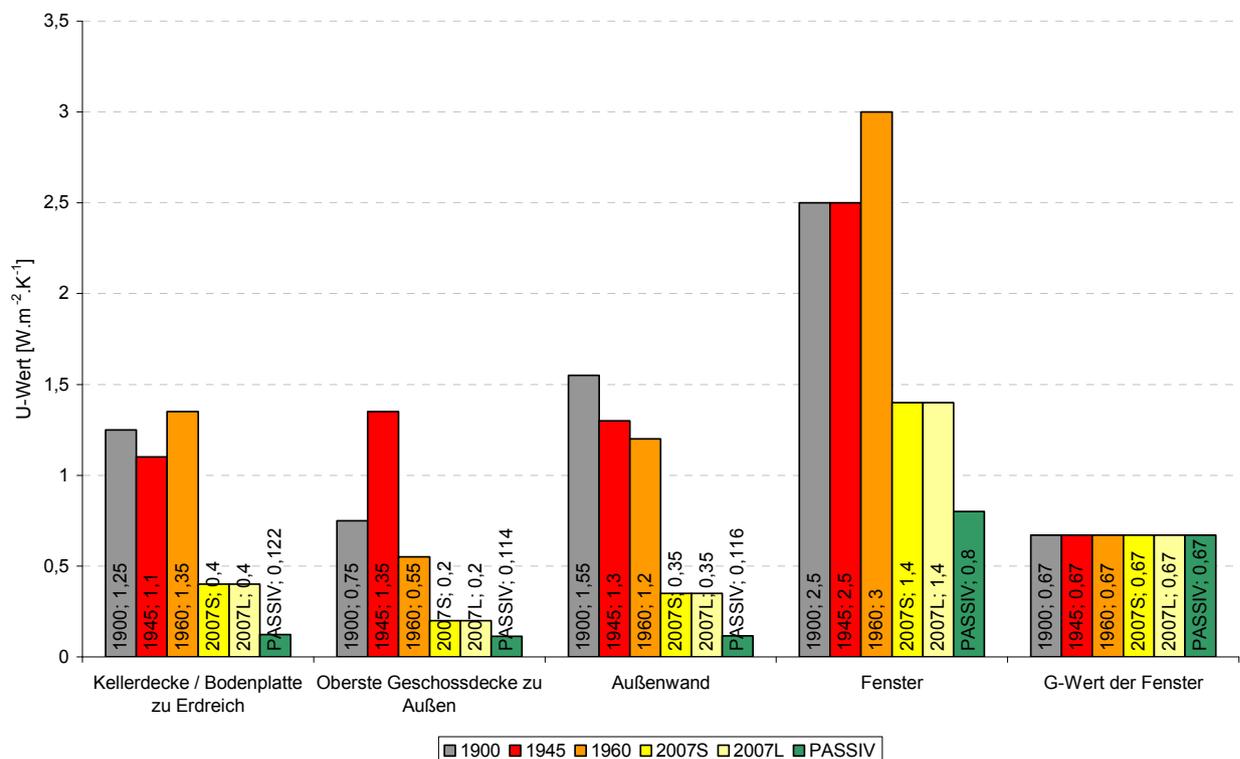


Abbildung 2.35.: U-Werte der verwendeten Bauteile (detaillierte Aufstellung im Anhang).

2.5.3. Wetterdaten

2.5.3.1. Allgemeines

In den Wetterdaten sind die Einflussparameter des Außenklimas an einem Standort zeitlich skaliert aufgeführt. Zu diesen Daten gehören in der Regel Außentemperatur (als Trockenkugeltemperatur) und Strahlungsdaten (Globalstrahlung). In vielen Wetterdaten sind weiters relative Luftfeuchtigkeit, Beleuchtungsstärke, Windgeschwindigkeit und Windrichtung, CO₂-Anteil der Atmosphäre und andere Daten enthalten.

Welche Anforderungen hinsichtlich Inhalte, Genauigkeit und zeitliche Skalierung an Wetterdaten-Files zu stellen sind, hängt natürlich vor allem vom Einsatzzweck ab.

2.5.3.2. Provenienz der Wetterdaten

Wetterdaten können generell folgendermaßen erstellt werden:

- Durch Messung: Dies erfordert eine geeichte Wetterstation. Die Daten werden über lange Zeiträume erfasst. Problematisch hierbei ist, dass der Standort der Messstation in der Regel nicht ident mit dem Standort des Gebäudes ist. Dadurch werden mikroklimatische Einflüsse, Verschattungen oder unterschiedliche Höhenlagen unter Umständen nicht berücksichtigt. Weiters wäre eine höhere Gewichtung neuerer Daten gegenüber einem geringeren Einfluss älterer Daten anzudenken.
- Durch Wetterdatensimulation: Dies erfolgt mittels einer Software, in deren Hintergrund eine große Datenbank mit Klimadaten liegt. Wetterdaten für einen Standort werden in der Regel aus den langjährigen Klimadaten vorhandener Standorte interpoliert, und es wird dadurch für den Standort ein durchschnittliches Jahr generiert. Die Schweizer Software Meteonorm³⁴ ist ein Beispiel für eine solche Wetterdaten-Simulations-Software. Ein Vorteil liegt daran, dass die Skalierung der Wetterdaten einstellbar ist und die Wetterdaten gleich im gewünschten Format geliefert werden.

³⁴ Meteotest 2007b

2.5.3.3. Klimadaten in den verschiedenen Berechnungswerkzeugen:

2.5.3.3.1. Klimadaten für OIB

Entsprechend der in OIB verwendeten Heizperiodenbilanzierung sind Daten der jährlichen Heizperiode für die Berechnung erforderlich. Es sind Wetterdaten für österreichische Orte in einer langen Datenliste vorhanden. Das Programm verwendet die Postleitzahlen der Orte als Schlüssel zu dieser Datentabelle. Tabelle 2.16. zeigt die Titelzeile des im Programm vorhandenen Wetterdatenkatalogs (eine eigene Registrierkarte im Excel):

Tabelle 2.16: Titelzeile des Wetterdatenkatalogs von OIB.

PLZ	Ortsname	Seehöhe m	HGT _{12/20} Kd/a	HT ₁₂ d	Θ _e °C	Θ _{ne} °C	I _s kWh/m ² a	I _{ow} kWh/m ² a	I _N kWh/m ² a	I _{horizontal} kWh/m ² a	Land
-----	----------	--------------	------------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	--	---	--	---	------

Abkürzungen:

PLZ	Postleitzahl
HGT _{12/20}	Heizgradtage 12/20
HT ₁₂	Heiztage 12
Θ _e	jährliche mittlere Außentemperatur
Θ _{ne}	jährliche minimale Außentemperatur
I _{s,O/W,N,horizontal}	jährliche Global-Strahlungssummen auf Süd-, Ost/West-, Nordfassaden und horizontale Flächen

Folgende Empfehlung wurde von Seiten des OIBs zu diesen Wetterdaten lanciert:

Wenn der Standort des berechneten Gebäudes stark (d.h. mehr als +/- 100 m) von der im Wetterdatenkatalog angegebenen Seehöhe abweicht, müssen die Daten mittels prozentueller Zu-/Abschläge modifiziert werden.

Anzumerken ist, dass die im Katalog vorhandenen Daten aus langjährigen Messungen aus den Jahren 1951-1980 entstammen und 1984 vom damaligen Ministerium für Bauten und Technik publiziert wurden. Ein Schwachpunkt der Daten dieses Katalogs ist das Alter der Messdaten, in denen aktuelle Trends der globalen Erwärmung kaum erfasst sein dürften.

Eine Modifizierung der Wetterdaten ist durch eine Sperrung des Excelsheets an und für sich nicht möglich, es wurde daher mit einem zusätzlichen Wetterdatensatz mit der nicht-existent Postleitzahl 9999 gerechnet, dessen Basis-Daten in 2.5.3.5.3. noch vorgestellt werden.

2.5.3.3.2. Klimadaten für APH

Auch in der Software APH ist ein Katalog mit Klimadaten enthalten, dieser ist feiner skaliert als der Katalog in OIB, da für das in APH verwendete Monatsbilanzverfahren auch monatliche Daten notwendig sind. Außerdem werden durch das Berechnungsverfahren nicht nur in quantitativer, sondern auch in qualitativer Hinsicht höhere Anforderungen an die Klimadaten gestellt (es sind die Globalstrahlungen für die Orientierungswinkel SO, SW, NO, NW notwendig).

Weiters sind diese Daten auch nicht mehr an Postleitzahlen gebunden, stattdessen wurde Österreich in 7 "Klimaregionen" unterteilt:

Region West (W), Region Nord - Föhngebiet (NF), Region Nord - außerhalb von Föhngebieten (N), Region alpine Zentrallage (ZA), Region Beckenlandschaften im Süden (SB), Region Südost-südlicher Teil (S/SO), Region Südost - nördlicher Teil (N/SO).

Für diese Klimaregionen liegen Musterklimadatenätze vor, die durch Eingabe einer Seehöhe in Metern geringfügige Wertanpassungen erfahren.

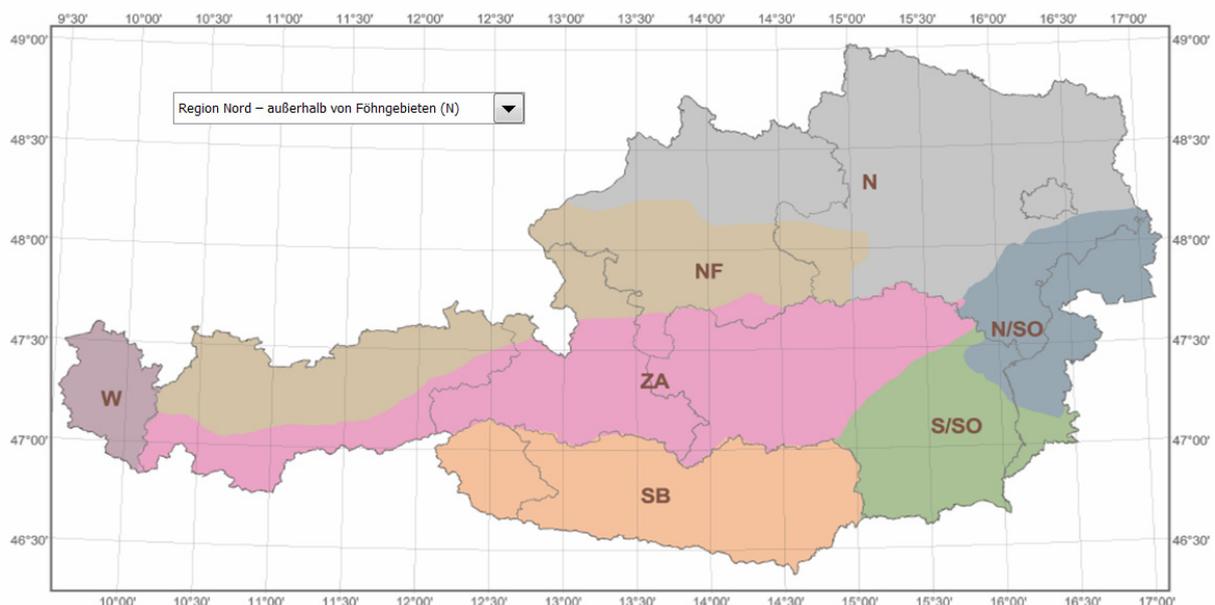


Abbildung 2.36. - Aufteilung Österreichs in die 7 verschiedenen Klimaregionen (Archiphysik 2010).

Die vorliegenden beziehungsweise notwendigen Daten sind nun folgende:

Seehöhe	Seehöhe in Metern
Θ_{ne}	jährliche minimale Außentemperatur in °C
Temperatur	durchschnittliche Außentemperatur in °C für jeden Monat
I	Globalstrahlung auf Vertikale Flächen folgender Ausrichtungen: S,SW+SO,W+O,NW+NO,N

Das Programm kann anhand der in der Software integrierten Konversationsfaktoren nach ÖNORM B 8110 Teil 5 aus den Globalstrahlungsdaten die monatlichen Strahlungssummen auf die Orientierungen entsprechend 2.5.1.3 (Abbildung 2.34.) berechnen. Es sind also beliebige Orientierungen in 22,5°-Schritten und Neigungen in 15°-Schritten möglich, die durch diese Konversationsfaktoren möglich gemacht werden.

Ein Referenzdatensatz mit einem Wert von 3400 Kd liegt ebenfalls vor - dieser dient zum Vergleich von Gebäuden in ganz Österreich.

In der folgenden Tabelle 2.17. sind die Referenzseehöhen für die sieben Regionen genannt, bei deren Verwendung dann aus den Klimadaten der Regionen das arithmetische Mittel genau den Referenzklimadatensatz von 3400 Kd bildet.

Tabelle 2.17. - Klimaregionen mit jeweiliger Seehöhe - aus diesen Klimadatensätzen lässt sich mittels Bildung des arithmetischen Mittelwertes der Referenzdatensatz mit 3400 Kd bilden.

Klimaregion	Seehöhe [m]
Region West (W)	346,76
Region Nord-Föhngebiet (NF)	220,28
Region Nord - außerhalb von Föhngebieten (N)	113,89
Region alpine Zentrallage (ZA)	126,34
Region Beckenlandschaften im Süden (SB),	120,46
Region Südost-südlicher Teil (S/SO),	190,49
Region Südost - nördlicher Teil (N/SO).	247,13

Archiphysik 8 überprüft bei der Eingabe der Seehöhe auch, ob diese Seehöhe für eine Region beziehungsweise Katastralgemeinde überhaupt realistisch ist. Wenn die Eingabe den Gültigkeitsbereich verlässt, wird eine Warnung ausgegeben

Der Import von zusätzlichen Wetterdaten ist möglich und wurde für diese Arbeit auch vorgenommen. Die Dokumentation der Erstellung dieses Datensatzes wird in 2.5.3.4. beschrieben.

2.5.3.3. Klimadaten für die dynamische Simulation

Im Simulationspaket EDSL TAS sind für Berechnungen Wetterdaten auf stündlicher Basis erforderlich. Ein Katalog an Wetterdaten wird vom (britischen) Softwarehersteller angeboten, auf dessen Webseite sich sogar eine Datei mit österreichischem Klima findet. Das Wetterdatenformat kann außerdem von anderen Simulationsprogrammen, wie z.B. Energy Plus übernommen oder auch von Wettersimulationsprogrammen wie meteonorm generiert werden.

Ein in TAS verwendbares Wetterdatenfile besteht aus folgenden Einzahl-Daten:

- Latitude / geographische Breite des Standorts.
- Longitude / geographische Länge des Standorts
- Time Zone / Zeitverschiebung gegenüber General Mean Time (GMT)
- Ground Temperature / Durchschnittstemperatur des Erdreichs in Grad Celsius
- Altitude / Seehöhe in Metern

Weiters beinhaltet das Wetterfile 8760 Datenzeilen (das entspricht der Anzahl der Stunden eines Jahres mit 365 Tagen) mit jeweils folgendem Inhalt:

- Global Radiation / Global Strahlung auf horizontale Flächen in W/m^2
- Diffuse Radiation / Diffusstrahlung auf horizontale Flächen in W/m^2
- Cloud Cover / Wolkenbedeckung in Prozent (d.h. Werte zwischen 0 und 1)
- Dry Bulb / Trockenkugeltemperatur in Grad Celsius
- Humidity / Relative Luftfeuchtigkeit in Prozent
- Wind Speed / Windgeschwindigkeit in m/s
- Wind Direction / Windrichtung (d.h. Richtung aus der der Wind kommt).

Im Vergleich zu den Wetterdaten aus den vorgenannten Tools sind diese Wetterdaten damit sehr viel ausführlicher.

2.5.3.4. Angleichen der Klimadaten

Da die Klimadaten einen signifikanten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben, war eine Anpassung notwendig. Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, ist es nicht möglich, einen Datensatz ohne Modifikationen in jedem Verfahren zu verwenden.

Um die Berechnung nun betreffend Klimadaten zu vereinheitlichen, gibt es folgende Möglichkeiten:

- Anpassung der Eingabedaten (vor Verwendung in den jeweiligen Berechnungsverfahren) und Verwendung der gleichen unterschiedlich skalierten Klimadaten.
- Postprocessing der Berechnungsergebnisse, die aus verschiedenen Wetterdaten erstellt wurden.

Das Postprocessing funktioniert in der Regel nur dann gut, wenn die Eingangsdaten Einzahlwerte wie z.B. die Heizgradtage sind. Es stößt rasch an seine Grenzen, wenn man bedenkt, dass unterschiedliche Wetterdatenfiles nicht nur aus solchen Einzahlwerten bestehen, sondern auch aus Summenwerten von zeitlich variablen Einflussgrößen, wie z.B. der Globalstrahlung. Daher wurde auf eine Anwendung dieser Methode verzichtet.

Die Anpassung der Eingabedaten ist komplizierter, aber sinnvoller: Aus einem Klimadatensatz werden mittels mathematischer Methoden die gleichen Klimadatensätze in veränderter Feinheit erstellt.

Da es sich bei den Daten für OIB und APH um aufsummierte Daten handelt, erscheint es vernünftiger vom Feinen ins Grobe zu gehen. Der umgekehrte Weg, das heißt von Jahres- oder Monatsdaten auf Stundendaten zu schließen, ist zwar mathematisch mittels Durchschnittswerten leicht möglich, aber nicht besonders sinnvoll, da Eigenheiten der Stundendaten, wie z.B. die Tag-Nacht-Unterschiede, nicht nachgebildet werden können. Es ist allerdings anzunehmen, dass solche inhomogenen Werteverteilungen in den Klimadaten einen Einfluss auf das detaillierte Simulationsverfahren und dessen Resultate haben, wenn man beispielsweise an das Aufheizen und Abkühlen von Bauteilen denkt. Daher besteht die Gefahr, dass die derart generierten Eingangsdaten in den Simulationen verfälschte Resultate errechnen.

Abbildung 2.36. zeigt den in dieser Arbeit gewählten Weg der Klimadatenanpassung.

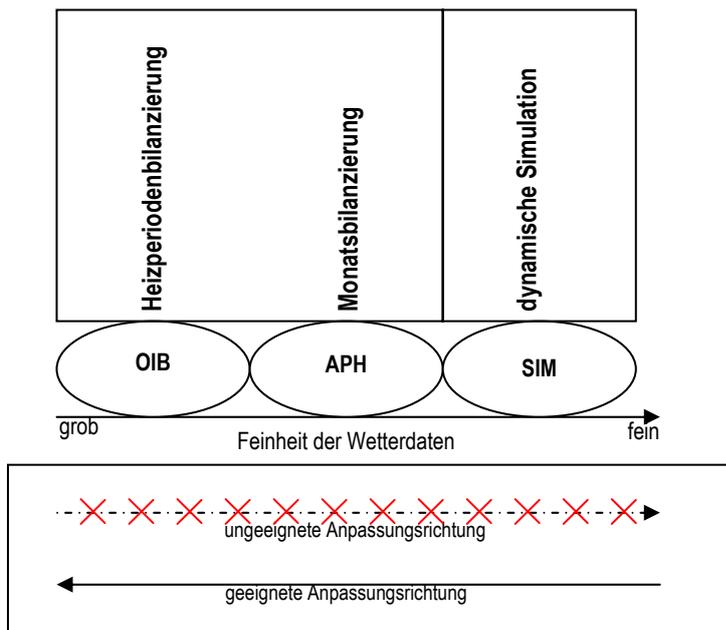


Abbildung 2.37.: Zusammenhang zwischen Feinheit der Klimadaten und Richtung einer mathematischen Synchronisierung der Klimadaten

2.5.3.5. Verwendete Klimadatenfile & Berechnungsschritte zur Anpassung

2.5.3.5.1. Ausgangs-Klimadatenfile (in SIM verwendet)

Der für die Berechnungen verwendete detaillierte Klimadatenatz ist ein aus der Wetterdatensimulationssoftware Meteonorm generierter Datensatz für Wien (fortan als wien_meteororm bezeichnet). Die generellen Charakteristiken sind in Tabelle 2.18. abgebildet.

Tabelle 2.18. - Generelle Charakteristiken von wien_meteororm

Longitude	Latitude	Time Zone	Ground Temp.	Altitude	Ø Außen- temperatur	Ø hor. Globalstrahlung
16,03 °E	48,22 °N	GMT +1	14,03°C	171 m	11,44 °C	129,26 W/m ²

2.5.3.5.2. Monatsklimadaten (für APH beziehungsweise das Monatsbilanzverfahren)

Berechnung der durchschnittlichen monatlichen Außentemperaturen aus der originalen Klimadatendatei.:

1. Aufsummieren der stündlichen Temperaturwerte für jeden Monat
2. Division durch die Anzahl der Stunden des jeweiligen Monats

Berechnung der monatlichen Strahlungssummen aus der originalen Klimadatendatei:

1. Aufsummieren der stündlichen horizontalen Globalstrahlung für jeden Monat
2. Multiplikation mit dem Faktor $3600/3600000$ um von W/m^2 auf kWh/m^2 zu kommen
3. Die Globalstrahlung auf Vertikalflächen wird durch Multiplikation mit den Konversationsfaktoren der ÖNORM B8110-5 berechnet

Anmerkung:

Für die Globalstrahlungen dürfen nicht die Durchschnitte gebildet werden, sondern müssen Summen errechnet werden (APH benötigt monatliche Strahlungssummen). Bildet man die Durchschnitte nach folgendem - zur Temperaturermittlung analogem - Verfahren, bekommt man Werte, die auf den ersten Blick den Summen ähnlich sehen.

1. Aufsummieren der stündlichen horizontalen Globalstrahlung für jeden Monat
2. Division durch die Anzahl der Stunden des jeweiligen Monats
3. Die Globalstrahlung auf Vertikalflächen wird durch Multiplikation mit den Konversationsfaktoren der ÖNORM B8110-5 berechnet

Zur Illustration sind in Tabelle 2.19 die Durchschnitte von Temperatur und Globalstrahlungen abgebildet, während Tabelle 2.20 die Durchschnitte der Monatstemperaturen und die Summen der Globalstrahlungen zeigt:

Tabelle 2.19. - Aus wien_meteonorm generierte monatliche Durchschnittsdaten (Achtung - nicht zum Import in Archiphysik verwendbar!)

Monatsbezogenes Ø aus Stundendaten (Temp in °C, Gr in W/m²)									
Monat	h	d	Temp	GR _{hor}	GR _s	GR _{O/W}	GR _N	GR _{SO/SW}	GR _{NO/NW}
Jan	744	31	0,79	35,48	47,19	23,06	15,61	37,96	16,32
Feb	672	28	2,68	65,86	77,06	41,49	27,00	63,23	28,98
Mär	744	31	6,55	112,40	105,65	69,69	38,21	92,16	47,21
Apr	720	30	11,57	167,80	117,46	100,68	58,73	114,10	75,51
Mai	744	31	17,18	219,88	125,33	125,33	79,16	131,93	101,14
Jun	720	30	19,60	232,29	116,15	132,41	88,27	130,08	111,50
Jul	744	31	21,22	226,64	115,59	131,45	83,86	129,18	106,52
Aug	744	31	21,57	197,51	124,43	116,53	63,20	128,38	84,93
Sep	720	30	16,11	137,07	113,77	83,61	49,34	104,17	60,31
Okt	744	31	11,59	84,48	92,08	53,22	31,26	77,72	35,48
Nov	720	30	6,35	40,29	53,59	25,79	16,92	42,71	17,73
Dez	744	31	1,47	27,28	42,01	18,00	11,73	33,01	12,28
Summe	8760	365	136,69	1546,98	1130,30	921,26	563,30	1084,65	697,91

Tabelle 2.20. - Aus wien_meteonorm generierte monatliche Klimadaten - monatliche Durchschnittstemperaturen und Strahlungssummen.

Monatsbezogene Klimadaten (Temperaturdurchschnitte in °C, Strahlungssummen in kWh/m²)									
Monat	h	d	Temp	GR _{hor}	GR _s	GR _{O/W}	GR _N	GR _{SO/SW}	GR _{NO/NW}
Jan	744	31	0,79	26,40	35,11	17,16	11,61	28,24	12,14
Feb	672	28	2,68	44,26	51,79	27,88	18,15	42,49	19,47
Mär	744	31	6,55	83,62	78,60	51,85	28,43	68,57	35,12
Apr	720	30	11,57	120,81	84,57	72,49	42,28	82,15	54,37
Mai	744	31	17,18	163,59	93,25	93,25	58,89	98,15	75,25
Jun	720	30	19,60	167,25	83,62	95,33	63,55	93,66	80,28
Jul	744	31	21,22	168,62	86,00	97,80	62,39	96,11	79,25
Aug	744	31	21,57	146,95	92,58	86,70	47,02	95,52	63,19
Sep	720	30	16,11	98,69	81,91	60,20	35,53	75,00	43,42
Okt	744	31	11,59	62,85	68,51	39,60	23,26	57,82	26,40
Nov	720	30	6,35	29,01	38,59	18,57	12,19	30,75	12,77
Dez	744	31	1,47	20,30	31,26	13,40	8,73	24,56	9,13
Summe	8760	365	136,69	1132,35	825,78	674,21	412,03	793,04	510,79
DS von 12 Monaten			11,39	94,36	68,81	56,18	34,34	66,09	42,57

Auf diese wichtige Umformung darf, wie ersichtlich ist, nicht vergessen werden, da das fälschliche Einsetzen der Monatsdurchschnitte in $W \cdot m^{-2}$ statt dem richtigen Verwenden der

Summen in kWh.m⁻² zu hohe solare Einstrahlungen generieren und daher Heizwärmebedarfsberechnungen zu niedrige Ergebnisse ausweisen würden!

Die in Tabelle 2.20 dargestellten Werte können dann mittels einer csv-Datei in den Archiphysik-Klimakatalog dazu geladen und für Berechnungen verwendet werden.

Anmerkung:

Bei den Berechnungen des Heizwärmebedarf werden in der APH-Berechnung nur die Temperaturen und Strahlungswerte der Heizperiode berücksichtigt, dennoch müssen für korrekte Berechnungen alle Daten eingespielt werden, da die resultierende Heizperiode und die Heizgradtage programmintern berechnet werden. Das gleiche gilt für die maximale Außentemperatur, die ebenfalls aus den Datensätzen generiert wird.

2.5.3.5.3. Jahresklimadaten beziehungsweise Daten für das Heizperiodenbilanzverfahren (für OIB)

Um aus wien_meteonorm Jahresdaten für das Heizperiodenverfahren aus OIB zu generieren, muss man zunächst die Heiztage und Heizgradtage errechnen.

Die Heizperiode, auf die sich dieses Verfahren bezieht, steht nämlich nicht von Vorneherein fest, sondern hängt von der Heizgrenztemperatur (in der Regel 12°C) und der gewünschten Innenraumtemperatur (in der Regel 20°C) ab. Würde man einfach den Jahresdurchschnitt der Außentemperaturen und Globalstrahlungen errechnen, kämen zu hohe Werte heraus und damit ein bei Weitem zu niedriger Heizwärmebedarf.

Für die Berechnung von HT_{12} und $HGT_{12/20}$ bildet man zunächst den Durchschnitt der Stunden 1-24 jeden Tages. Liegt dieses Tagesmittel über 12°C wird der Tag nicht gewertet. Alle Tage mit einer Durchschnittstemperatur von 12°C oder weniger gehören zur Heizperiode, deren Anzahl sind die HT_{12} .

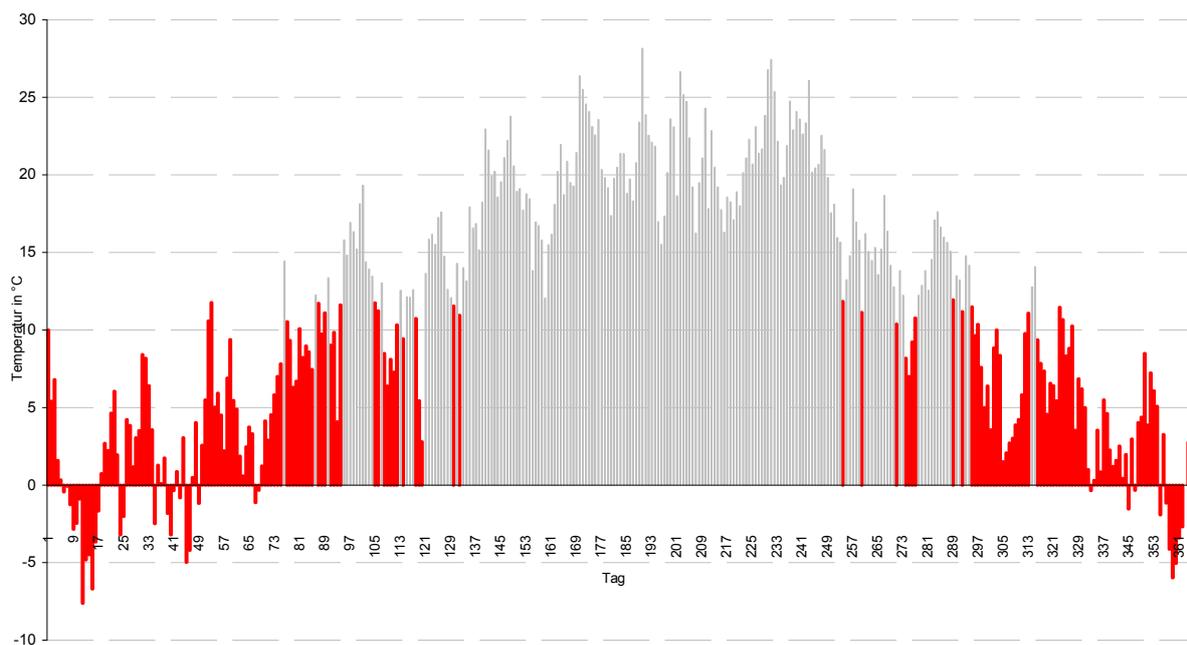


Abbildung 2.38. - Temperaturverlauf von wien-meteonorm (durchschnittliche Tagestemperaturen).
Rot eingezeichnet die Tage der Heizperiode (Durchschnitt kleiner 12 °C)

Die Heizgradtage berechnen sich dann als Summe der Differenzen von Raumtemperatur (20°C) und der durchschnittlichen Außentemperatur.

Die HGT12/20 von wien_meteororm betragen 2846 Kd, die HT12 betragen 182 Tage. Diese Daten sind Teile der notwendigen Klimadaten für OIB.

Die mittlere Außentemperatur der Heizperiode ermittelt sich dann aus der Summe aller Tagesdurchschnittstemperaturen durch die Anzahl der Heiztage und beträgt im Fall von wien_meteororm 4,36 °C.

Eine minimale Tagesaußentemperatur kann einfach aus den Daten entnommen werden (hier: -9,5 °C)

Die durchschnittliche Globalstrahlung der Heizperiode wird folgendermaßen errechnet:

Die Summe der Globalstrahlung auf Horizontalflächen der Heizperiode (d.h. nur der HT12) wird errechnet und mittels des Umrechnungsfaktors 3600/3600000 in kWh.m⁻².a⁻¹ umgewandelt.

Globalstrahlung auf vertikale Flächen wird analog zur Berechnung für die Daten für APH wieder mittels der Konversationsfaktoren der ÖNORM B8110-5 aus den Werten für Horizontalstrahlung berechnet.

Tabelle 2.21. - Aus wien_meteororm generierte Klimadaten für die Heizperiode - Strahlungssummen.

Gewichtete Jahreswerte (anhand Strahlung der HT)				
Ihor	301766	(W/m ²)/a	302	kWh/(m ² a)
Isüd	312378	(W/m ²)/a	312	kWh/(m ² a)
Iwest/Ost	188125	(W/m ²)/a	188	kWh/(m ² a)
Inord	114269	(W/m ²)/a	114	kWh/(m ² a)

Würde man fälschlicherweise auf das Ausschließen aller Nicht-Heiztage verzichten, d.h. in diesen Berechnungen das gesamte Jahr berücksichtigen, käme eine durchschnittliche Außentemperatur von 11,44 °C heraus, und Strahlungssummen wie in Tabelle 2.22. abgebildet.

Tabelle 2.22. - Aus wien_meteororm generierte Klimadaten für das gesamte Jahr - Strahlungssummen.

Ihor	1132350	(W/m ²)/a	1132	kWh/(m ² a)
Isüd	825775	(W/m ²)/a	826	kWh/(m ² a)
Iwest/Ost	674214	(W/m ²)/a	674	kWh/(m ² a)
Inord	412033	(W/m ²)/a	412	kWh/(m ² a)

Berechnungen mit diesen falschen Werten würden bei weitem zu niedrige Werte für den Heizwärmebedarf ergeben.

2.5.3.5.4. Zusammenfassender Überblick der Modifikationen an wien_meteonorm und Vergleich der unterschiedlich skalierten Daten

Die Generierung der Wetterdaten für OIB und APH wurde anhand der vorhergehenden Abschnitte erläutert und ist als graphischer Ablauf in Abbildung 2.39. (auf der nächsten Seite) abgebildet.

Die Abflachung der Inhalte lässt sich sehr gut anhand von Abbildung 2.38 nachvollziehen, in der die unterschiedliche Skalierung der Außentemperatur in den Wettersets für SIM, APH und OIB abgebildet ist.

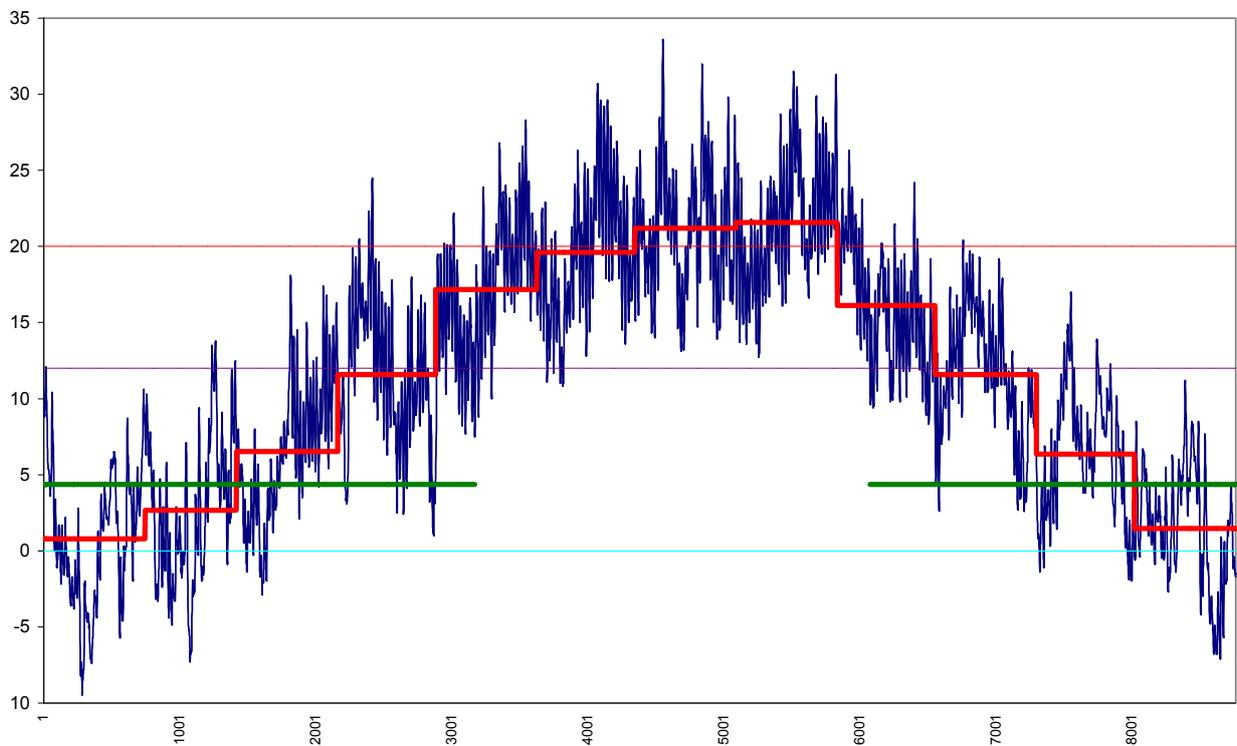


Abbildung 2.39. - Verlauf der Außentemperatur über das Jahr in den Klimadaten nach wien_meteonorm für SIM (blau, Stundendaten), APH (rot, Monatsdatendaten) und OIB (grün, Heizperiodendaten). Temperatur in °C.

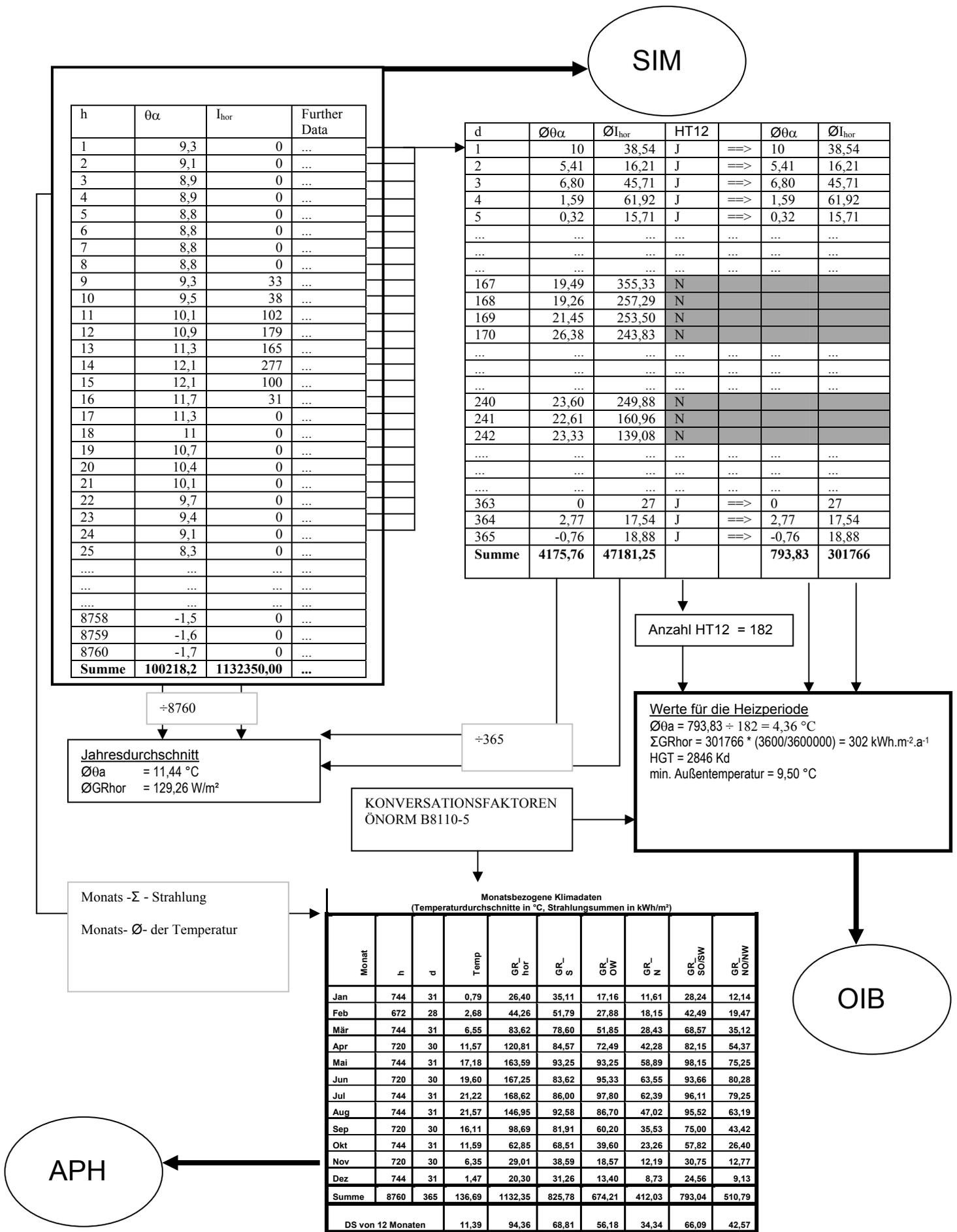


Abbildung 2.40. - Berechnungsschema für die Generierung von Wetterdaten für APH und OIB aus den Wetterdaten von SIM

2.5.4. Interne Bedingungen

Die internen Bedingungen in ihrer Gesamtheit stellen wichtige Berechnungsparameter dar, welche die Resultate in allen Verfahren stark beeinflussen können.

Sie setzen sich aus den Einstellungen zu den internen Gewinnen, zur Luftwechselrate und zur angestrebten Innenraumtemperatur/Raumkonditionierung zusammen. Diese Einstellungen werden im Folgenden vorgestellt.

2.5.4.1. Interne Gewinne / Lasten

Wie bereits in der Einleitung angedeutet, setzen sich interne Gewinne aus folgenden Teilwerten zusammen:

- Wärme, die Gebäudenutzer abgeben
- (Ab)Wärme, die durch Benutzung elektrischer Beleuchtung erzeugt wird
- (Ab)Wärme, die durch Benutzung elektrischer Geräte erzeugt wird

Die ÖNORM B 8110 - 5 schreibt für die internen Gewinne je nach Gebäudenutzung Pauschalwerte in unterschiedlichen Höhen vor. Diese sind in Tabelle 2.23 abgebildet.

Tabelle 2.23. interne Wärmegewinne nach ÖNORM B-8110-5 (2010)

Innere Wärmegewinne nach ÖNORM in W/m ²			
Einfamilienhäuser/Mehrfamilienhäuser	3,75	Pension	3,75
Bürogebäude	3,75	Hotel	7,5
Kindergarten/Pflichtschule	3,75	Gaststätte	7,5
Höhere Schule/Hochschule	7,5	Veranstaltungsstätte	7,5
Krankenhaus	7,5	Sportstätte	7,5
Pflegeheim	3,75	Verkaufsstätte	3,75

Diese Wärmegewinne sind für Gebäudenutzungen mit großen Menschenmassen und intensivem Geräteinsatz höher. Bei einigen Nutzungen sind die angeführten Werte jeweils nur eine bestimmte Zeit anzusetzen - man spricht von Nutzungsprofilen. Im Wohnbau werden die Wärmegewinne als permanent, d.h. rund um die Uhr, angenommen.

In den Berechnungsalgorithmen von OIB und APH werden die internen und solaren Wärmegewinne noch mit einem Ausnutzungsgrad-Faktor multipliziert beziehungsweise reduziert, der von der Bauweise des Gebäudes abhängt. Die Argumentation dafür ist, dass schwere Baumassen Wärme besser speichern und die Wärmegewinne oft dann anfallen, wenn sie nicht benötigt werden. Dieser Faktor kann nicht gesetzt werden, da die Schwere der Baustoffe und das Wärmespeichervermögen durch die Definition der Bauteile gewährleistet ist.

Im Zuge der Berechnung des Heizwärmebedarfs setzt die heutige ÖNORM die internen Gewinne eher als niedrig ein, um auf jeden Fall zu vermeiden, dass diese in der Heizwärmebedarfsberechnung ein falsches, zu niedriges Resultat verursachen. Aktuelle Forschung (Kiesel 2010) hat gezeigt, dass die internen Lasten im Vergleich zur Realität zu niedrig angesetzt sind.

Die vorgegebenen Werte der ÖNORM haben in den vergangenen Jahren eine geringfügige Erhöhung beziehungsweise Ausdifferenzierung nach Nutzungen erfahren, was ein Vergleich der Tabellen 2.23 und 2.24 zeigt - in letztgenannter sind die veralteten internen Gewinne (bis 2004 gültig) aufgeführt.

Tabelle 2.24. interne Wärmegewinne nach ÖNORM B-8110-5 veraltet.

Gebäudewidmung	Qi [W/m ²]
Wohnhäuser, Schulen	3,0
Büro- und Industriegebäude	4,0
Krankenhäuser, Pflegeheime	5,0

Das ist für das Berechnungstool OIB von Relevanz, da dieses aus einer Zeit stammt, in der noch die alten Werte verwendet wurden. Um nicht hier einen Eingabeunterschied zu verursachen, ist das Tool entsprechend angepasst worden.

In allen Verfahren wurden eine Wohnnutzung und damit ein interner Gewinn von 3,75 W.m⁻² angenommen.

In SIM können die internen Gewinne nach den verschiedenen Verursachern getrennt eingegeben werden. Hier wurden die 3,75 W.m⁻² wie in Tabelle 2.25 beschrieben aufgeteilt. In dieser Tabelle zeigen sich die Einstellungen der internen Gewinne für konditionierte und nicht-konditionierte Zonen (d.h. Stiegenhäuser, Kellerräume, Aufzugsbetriebsräume etc.). Letztgenannte wurden mit einem internen Gewinn von 1 W.m⁻² berücksichtigt, da auch in diesen Räumen mit Wärmequellen zu rechnen ist.

Die internen Gewinne in der Simulation wurden zusätzlich mit einem Faktor multipliziert, der sich aus der unterschiedlichen Berücksichtigung der Geschossflächen in den Verfahren ergibt. Während die 3.75 W.m⁻² aus der ÖNORM auf Bruttogeschossflächen bezogen werden, ist eine Eigenheit der Simulation, dass die eingetragenen Werte auf Nettoflächen bezogen werden. Um diesen Fehler auszugleichen, wurde der erwähnte Konversationsfaktor als Quotient der jeweiligen Bruttogeschossfläche zur jeweiligen Nettogeschossfläche berechnet.

Tabelle 2.25. Für die Berechnungen verwendete interne Gewinne bei allen Verfahren

Konditionierung	OIB	APH	SIM
Konditionierte Räume	3,75 W.m ⁻²	3,75 W.m ⁻²	Lighting 1,00 W.m ⁻² + Occupancy 1,00 W.m ⁻² + Equipment 1,75 W.m ⁻² = Summe: 3,75 W.m ⁻² Zusätzlicher Multiplikator: BGF/NGF
Unkonditionierte Räume (Stiegehäuser, Keller, ungeheizte Dachräume)	In der Berechnung nicht erforderlich, da Raumtypus nicht berücksichtigt	In der Berechnung nicht erforderlich, da Raumtypus nicht berücksichtigt	Lighting 1,00 W.m ⁻²

2.5.4.2. Luftwechselzahl

Die ÖNORM B 8110 - 5 schreibt für die Luftwechselzahl in Wohngebäuden einen Wert von $0,4 \text{ h}^{-1}$ vor. Für unbeheizte Räume gibt es keine Festlegungen, diese sind auch nur in der Simulation zu setzen. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 2.26 beschrieben.

Tabelle 2.26. Für die Berechnungen verwendete Luftwechselraten bei allen Verfahren

Konditionierung	OIB	APH	SIM
Konditionierte Räume	$0,4 \text{ h}^{-1}$	$0,4 \text{ h}^{-1}$	$0,4 \text{ h}^{-1}$
Unkonditionierte Räume (Stiegenhäuser, Keller, ungeheizte Dachräume)	In der Berechnung nicht erforderlich, da Raumtypus nicht berücksichtigt	In der Berechnung nicht erforderlich, da Raumtypus nicht berücksichtigt	$0,8 \text{ h}^{-1}$

2.5.4.3. Raumkonditionierung / angestrebte Innenraumtemperaturen

Wie bereits in Kapitel 1 ausgeführt, sieht die ÖNORM B 8110 - 5 eine Mindestraumtemperatur von 20°C für Aufenthaltsräumen vor. Daher wurden die Werte dafür in den verschiedenen Verfahren alle auf 20°C gesetzt.

Tabelle 2.26. Für die Berechnungen angestrebte Temperaturen bei allen Verfahren

Konditionierung	OIB	APH	SIM
Konditionierte Räume	20°C	20°C	20°C
Unkonditionierte Räume (Stiegenhäuser, Keller, ungeheizte Dachräume)	In der Berechnung nicht erforderlich, da Raumtypus nicht berücksichtigt	In der Berechnung nicht erforderlich, da Raumtypus nicht berücksichtigt	Keine Festlegung für unbeheizte Räume.

An dieser Stelle muss auf einen prinzipiellen Unterschied bei den Berechnungsverfahren hingewiesen werden:

Während der Heizwärmebedarf bei den Verfahren OIB und APH abhängig von der Außentemperatur berechnet wird, d.h. ein Tag wird als Heiztag bezeichnet, wenn seine mittlere Außentemperatur eine Heizgrenztemperatur von 12°C unterschreitet, wird in der Simulation immer dann Energie in die beheizten Zonen geschickt, wenn die Innenraumtemperatur unter 20°C fällt.

2.5.5. Zonierung

Unter Zonierung wird die Verknüpfung der Festlegungen zu internen Bedingungen und der Geometrie verstanden. Das heißt, dass zu bestimmten Flächen beziehungsweise Volumen innerhalb eines Gebäudes die Daten wie Konditionierung, Lüftung und interne Gewinne zugewiesen werden.

Mit allen Verfahren ist es möglich, eine grobe Zonierung vorzunehmen. Mit SIM und in eingeschränktem Maße auch mit APH lassen sich auch detaillierte Zonierungen vornehmen. Ein Beispiel hierfür wäre das Zonieren einer Wohnung in Berechnungszonen für Bad, WC, Küche, Schlafzimmer und Wohnzimmer. Jeder dieser Räume wird in der Realität durch den Nutzer und die verschiedenen Einflussfaktoren anders bespielt.

Eine detaillierte Zonierung ist von Seiten der OIB-Richtlinien und der ÖNORM nicht vorgesehen, so lange in der Realität keine groben Unterschiede bestehen. Im Detail heißt es hier zu in der OIB-Richtlinie:

"Zonierungskriterien für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs

a) Allgemeines

Die Zuordnung erfolgt anhand der überwiegenden Nutzung und Bauweise, sofern andere Nutzungen bzw. Bauweisen im Ganzen einen Anteil von 10% der konditionierten Brutto--Grundfläche - bei Wohngebäuden entweder nicht mehr als 50 m² Netto-Grundfläche oder einen Anteil von 10% der Brutto-Grundfläche - nicht überschreiten. Wenn diese Grenze überschritten wird, ist eine Teilung des Gebäudes und eine Zuordnung der einzelnen Zonen zu den unterschiedlichen Nutzungsbedingungen und Bauweisen gemäß der Kriterien b) bis d) durchzuführen.

b) Bauweise

Wenn einzelne Abschnitte eines Gebäudes einer unterschiedlicher Bauweise (leicht, mittel, schwer) entsprechen, sind die jeweiligen Abschnitte als eigene Zone zu berechnen.

c) Nutzungsbedingungen (Nutzungsprofile) Wenn sich Nutzungsbedingungen in den nachfolgenden Kriterien unterscheiden, sind die jeweiligen Abschnitte als eigene Zone zu berechnen.

- Abwärmen durch Personen, Geräte, Beleuchtung*
- Luftwechselzahlen*
- Beleuchtungsannahmen*
- Nutzungszeiten*

d) Kriterium 4 K

Das Kriterium „4 Kelvin“ (siehe ÖNORM EN 13790) gilt als Grenzwert für die Berechnung der Wärmeströme zwischen zwei benachbarten Zonen. Sobald sich die Raumbilanzinnentemperatur zweier benachbarter Zonen um mehr als 4 K voneinander unterscheidet, müssen die Zonen getrennt bilanziert werden. Abschließend erfolgt die Summierung der Bilanzen.“³⁵

³⁵ OIB 2007b

Beispiele für notwendige Zonierungen sind demnach historische Gebäude mit modernen Dachgeschossausbauten, Gebäude mit verschiedenen Nutzungen im Innenraum und Räume mit verschiedenen Rauminnentemperaturen (wobei der Unterschied größer 4K sein muss).

In den vorliegenden Fällen wurde für die Gebäude und Volumina jeweils nur eine Zone definiert, da die beheizten Räumlichkeiten alle als gleich konditioniert angenommen wurden und miteinander zusammenhängen. In den Beschreibungen der realen Objekte sind in den Grundrissen der Regelgeschosse die beheizten und nicht beheizten Bereiche eingezeichnet (vgl. 2.3.1.).

Beispielhaft wird in der Abbildung 2.40 die beheizte Zone von Objekt O1 in Schnitt und Geschossplan farblich hinterlegt angezeigt.

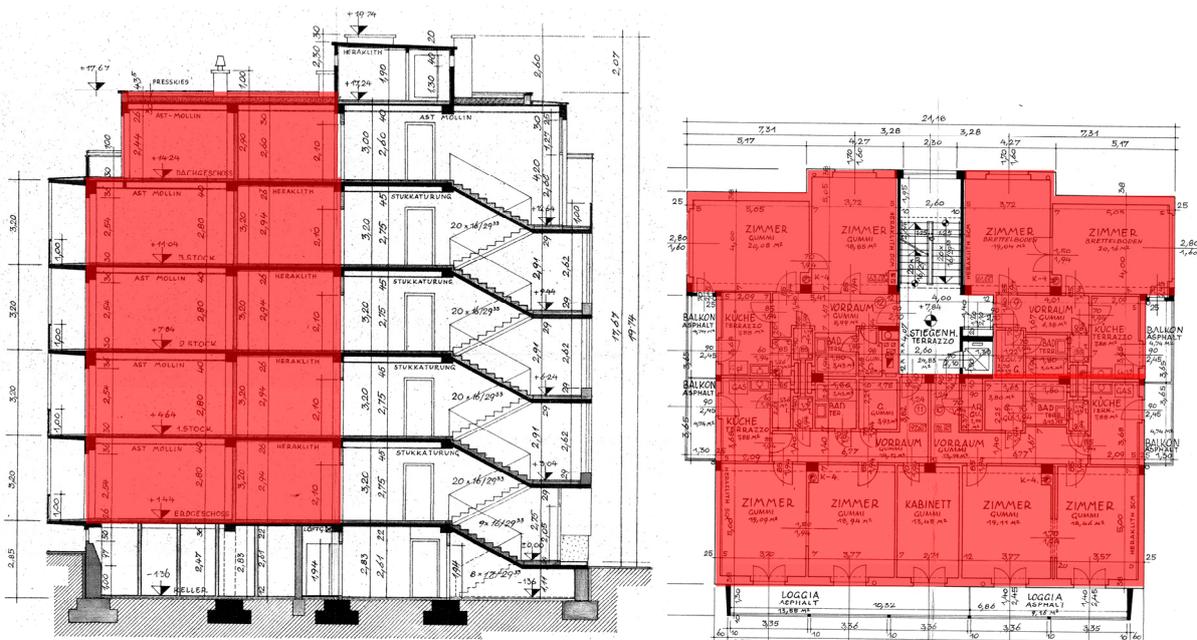


Abbildung 2.41. - beheizte Zone in Objekt O1 (anhand von Schnitt und Grundriss des Gebäudes)

2.5.6. Weitere Berechnungsparameter

Einschwingen der Simulation:

Da es wenig realistisch ist, dass ein Gebäude vor der ersten Stunde des ersten Tages keinerlei thermischen Einflüssen unterliegt, ist in der Simulation vorgesehen, dass vor dem tatsächlichen Berechnungszeitraum eine gewisse Zeit "vorberechnet" wird.

Im Handbuch zur Simulationssoftware TAS wird dazu folgendes aufgeführt:

"Tas performs a dynamic simulation and therefore requires a starting point for its analysis. The starting point assumed in Tas is a steady state condition corresponding to an inside air temperature of 18 C in all zones and an outside air temperature set to the value read from the weather file for the first hour of the simulation. It takes some time for the effects of these starting assumptions to become negligible, so it is advisable to start the simulation a few days in advance of the date when the first output is required. The extra simulation days constitute the preconditioning period."³⁶

Es wird weiters eine Preconditioning Time von 15 Tagen empfohlen - dies wurde im Zuge der in dieser Arbeit durchgeführten Simulationen beherzigt.

Information über die Ausnutzung der Wärmegewinne in APH und OIB

Da die Ausnutzung der Wärmegewinne in der ÖNORM B 8110 einerseits von der Bauweise des berechneten Objekts, andererseits an das Verhältnis von Wärmegewinnen und Wärmeverlusten zueinander abhängig gemacht wird, hängt dieser Ausnutzungsgrad von einer prinzipiellen Einstellung (leichte, mittelschwere, schwere und sehr schwere Bauweise), andererseits von der Berechnung mit allen Eingangsparametern an sich ab. Bei allen Bauteilsets wurde die Einstellung "schwer" in OIB und APH gewählt, nur bei OIB2007L wurde eine leichte Bauweise angenommen.

³⁶ EDSL 2010b

3. Resultate

3.1. Einleitung

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Berechnungen und Simulationen, die wie im Kapitel 2 beschrieben durchgeführt wurden, vorgestellt. Zunächst werden die Resultate der realen Gebäude zusammenfassend präsentiert. Anschließend werden die Resultate der einfachen Volumina beschrieben und mit den Resultaten der realen Gebäude verglichen. Detaillierte Resultataufstellungen aller Berechnungen und Simulationen sind im Anhang zu finden.

Die Resultate bestehen aus mit den jeweils drei Verfahren berechneten Werten für den Heizwärmebedarf für jedes Gebäude, jedes Szenario und jedes Bauteilset.

Jeder Heizwärmebedarf wird dann in Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, sowie interne und solare Gewinne zerlegt.

Aus diesen detaillierten Daten können dann gegebenenfalls Regelmäßigkeiten und Abweichungen durch unterschiedliche Geometrien, Bauteilsets oder Szenarien festgestellt werden.

3.2. Resultate der realen Gebäude

3.2.1. Vergleich des resultierenden Heizwärmebedarfs

In Tabelle 3.1. und Abbildung 3.1. sind die Resultate für den Heizwärmebedarf der Objekte O1 bis O8 aufgeführt. In Summe handelt es sich um 144 verschiedene Datenpunkte (jeweils sechs Bauteilsets, jeweils drei Berechnungsverfahren, acht Objekte).

Wenig überraschend haben die Bauteilsets einen großen Einfluss auf die Höhe des Ergebniswerts bei allen Verfahren. Die niedrigsten Werte haben die Ergebnisse, die mit dem Bauteilset PASSIV gerechnet wurden, die nächst höheren sind bei den Bauteilsets OIB2007S und OIB2007L zu finden. Die höchsten Resultate liefern die Berechnungen mit den Bauteilsets MFH1900, MFH1945 und MFH1960.

Tabelle 3.1. HWB-Ergebnismatrix für die Objekte O1-O8, jeweils gerechnet mit den Verfahren SIM, APH und OIB (Zeilen) und alle Bauteilsets (Spalten). HWB in kWh.m⁻².a⁻¹

GEBÄUDE		BAUTEILSET	MFH1900	MFH1945	MFH1960	OIB2007S	OIB2007L	PASSIV
O1	SIM		97,28	91,82	81,72	33,75	34,99	15,60
	APH		182,05	172,45	157,18	54,18	56,88	20,52
	OIB		124,37	112,19	101,72	31,54	34,47	8,86
O2	SIM		97,28	91,82	81,72	33,75	34,99	15,60
	APH		182,05	172,45	157,18	54,18	56,88	20,52
	OIB		124,37	112,19	101,72	31,54	34,47	8,86
O3	SIM		97,62	93,46	85,99	29,90	31,60	15,14
	APH		161,18	150,54	139,58	46,33	48,72	17,62
	OIB		128,99	121,27	111,77	37,21	40,63	12,12
O4	SIM		100,63	88,24	80,75	24,42	26,10	9,54
	APH		151,67	150,76	139,54	46,31	49,5	18,19
	OIB		129,96	122,22	112,71	37,78	41,16	12,76
O5	SIM		83,15	80,17	72,63	24,92	26,45	12,27
	APH		146,09	137,52	136,19	40,75	42,67	15,04
	OIB		113,92	108,11	98,09	32,66	35,29	10,86
O6	SIM		61,12	60,27	56,89	21,19	22,22	10,76
	APH		108,24	104,27	100,97	33,13	33,65	14,00
	OIB		65,75	64,36	59,72	15,76	19,25	0,00
O7	SIM		63,14	59,88	56,98	18,56	20,13	8,48
	APH		122,91	119,29	109,05	35,65	38,01	14,49
	OIB		97,31	96,73	85,67	25,09	28,05	5,60
O8	SIM		88,44	83,27	75,18	30,48	31,96	17,11
	APH		137,58	130,72	119,47	39,38	40,92	16,01
	OIB		114,19	110,45	99,73	35,22	37,78	14,31

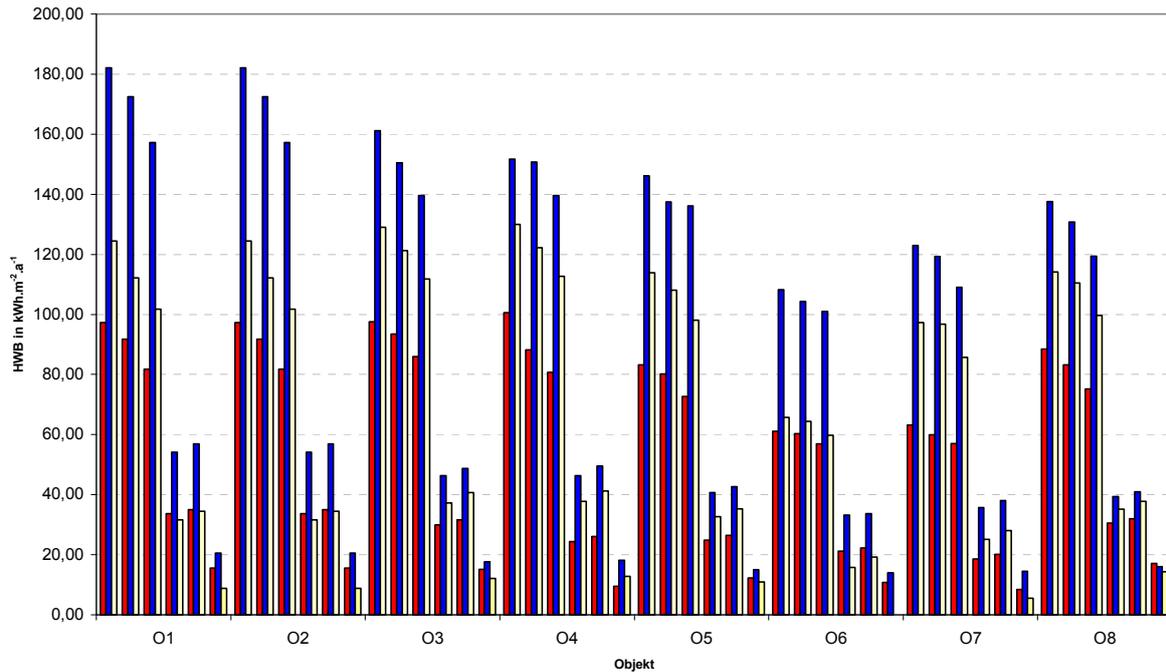


Abbildung. 3.1. - Ergebnisse der HWB-Berechnungen für die Objekte O1-O8 mittels SIM (rot), APH (blau) und OIB (gelb). Für jedes Objekt wurden 6 Bauteilsets gerechnet (v.l.n.r. MFH1900, MFH1945, MFH1960, OIB2007s, OIB2007L und PASSIV)

Weiters können aus diesen Daten folgende Sachverhalte herausgelesen werden:

- Die Vergleichsgraphen zeigen bei allen Objekten ein sehr ähnliches Muster.
- Die Berechnungsmethode APH errechnet bis auf eine Ausnahme (O8 - PASSIV) immer den höchsten Heizwärmebedarf.
- Bei den Bauteilsets MFH1900, MFH1945 und MFH1960 ist das Ergebnis von SIM das niedrigste, dann folgt OIB und APH.
- Bei den Bauteilsets OIB2007s, OIB2007L und PASSIV liegt in einigen Fällen das Ergebnis von OIB unter dem von SIM.
- In einem Fall - Objekt O6, Bauteilset PASSIV - fällt die Berechnung nach OIB sogar auf einen negativen Wert. Hier wurde der Heizwärmebedarf dann mit Null angenommen (Da das Annehmen eines negativen Heizwärmebedarfs nicht sinnvoll ist).
- Wie zu erwarten reduzieren sich die absoluten Unterschiede der verschiedenen Verfahren zu einander mit steigender thermischer Qualität der Bauteile.

Eine fundamentale Frage ist, ob eine grundsätzliche Korrelation zwischen den Ergebnissen der Simulation und den Resultaten der stationären Berechnungen für die betrachteten Objekte besteht. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Ergebnisse von APH und OIB als x-Koordinaten, und die Resultate von SIM als y-Koordinaten von Punkten interpretiert und in Abbildung 3.2. abgebildet

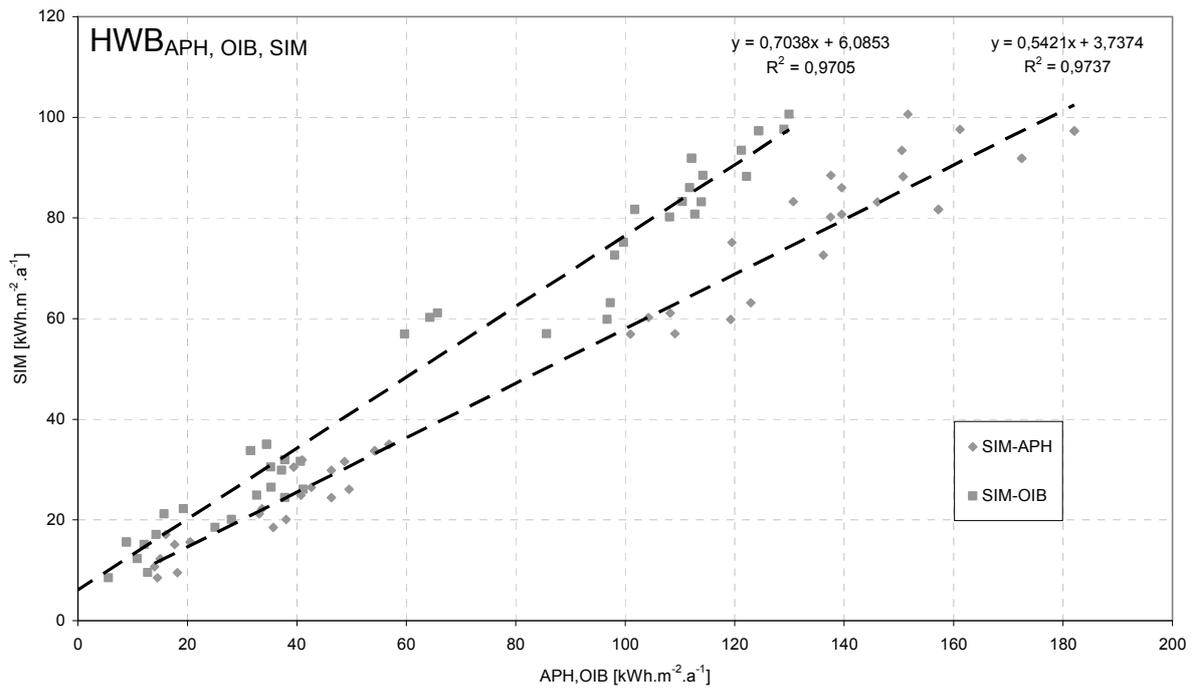


Abbildung 3.2. - Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM-APH und SIM-OIB.

Anhand des Diagramms und der hohen Bestimmtheitsmaße R^2 bestätigt sich eine lineare Korrelation. Die beiden stationären Verfahren weisen für die Objekte O1-O8 ebenfalls eine gute Korrelation auf (Abbildung 3.3.).

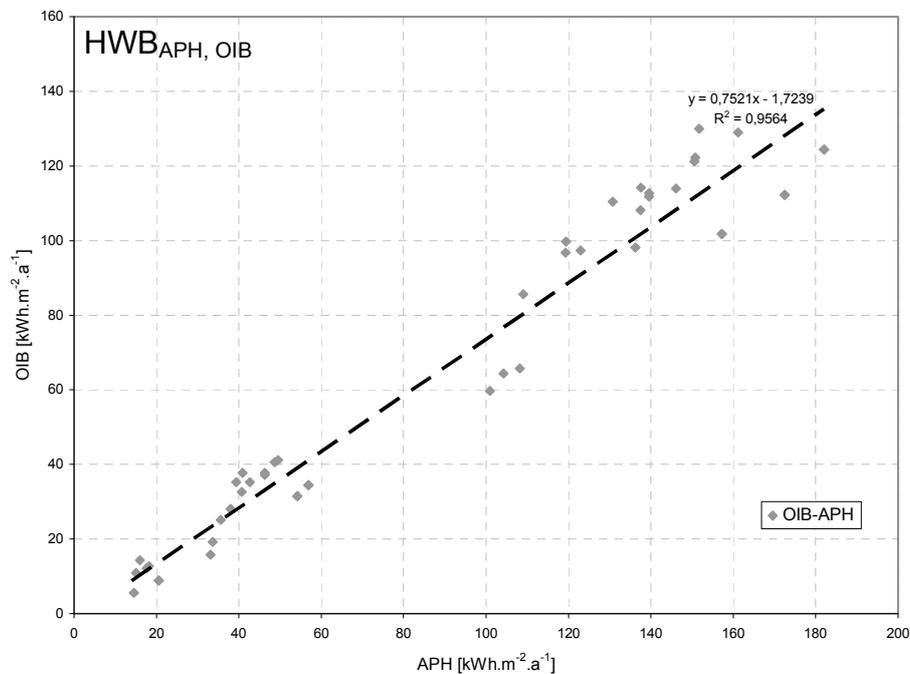


Abbildung 3.3. - Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von APH und OIB

Um die relative Abweichung der Resultate voneinander abzubilden, wurden - ausgehend von den Resultaten der Simulation - für jeden Fall die Kennwerte RA_{APH} und RA_{OIB} (Formeln 3.1. und 3.2.) berechnet.

$$RA_{APH} = \frac{HWB_{SIM} - HWB_{APH}}{HWB_{SIM}} \cdot 100 \quad [\text{Formel 3.1.}]$$

$$RA_{OIB} = \frac{HWB_{SIM} - HWB_{OIB}}{HWB_{SIM}} \cdot 100 \quad [\text{Formel 3.2.}]$$

Aus diesen Kennwerten wurde eine Fünf-Punkt-Zusammenfassung (bestehend aus Minimum, unterem Quartil, Median, oberem Quartil und Maximum) als Boxplot erstellt (Abbildung 3.4.).

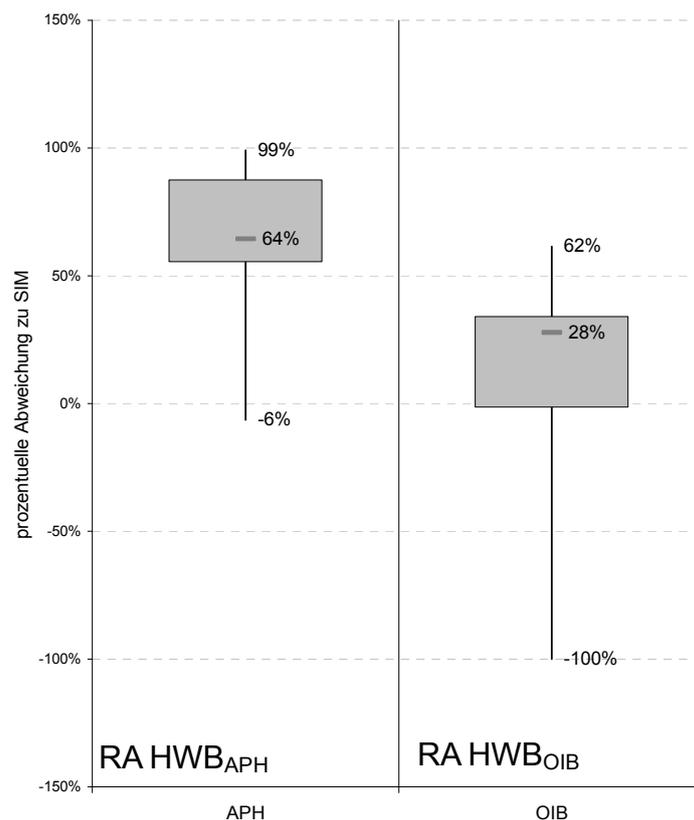


Abbildung 3.4. - Boxplot der Relativen Abweichungen des Heizwärmebedarfs von APH und OIB zu SIM

Es zeigt sich, dass die relativen Abweichungen von APH zu SIM von -6% bis +99% betragen und dass die Hälfte der Daten zwischen +55% und +88% von den Resultaten der Simulation abweicht. Beim Indikator RA_{OIB} beträgt die Abweichung von -100% bis +62%, und die Hälfte der Daten weicht von der Simulation um -1% bis +34% ab.

Da es sich bei den Abweichungen um doch relativ große Bereiche handelt, wurde untersucht, wie sich die Ergebnisse der einzelnen Bauteilsets zu den Gesamtabweichungen verhalten. Außerdem wurden die Daten der freistehenden und flankierten Objekte getrennt voneinander betrachtet. Hierzu wurden weitere Fünf-Punkt-Zusammenfassungen erstellt, für jedes der sechs Bauteilsets, sowie für freistehende (O1-O5) und flankierte Objekte (O6-O8). Den Vergleich mit den Abweichungen aller Objekte kann man anhand der Abbildungen 3.5 und 3.6 ziehen.

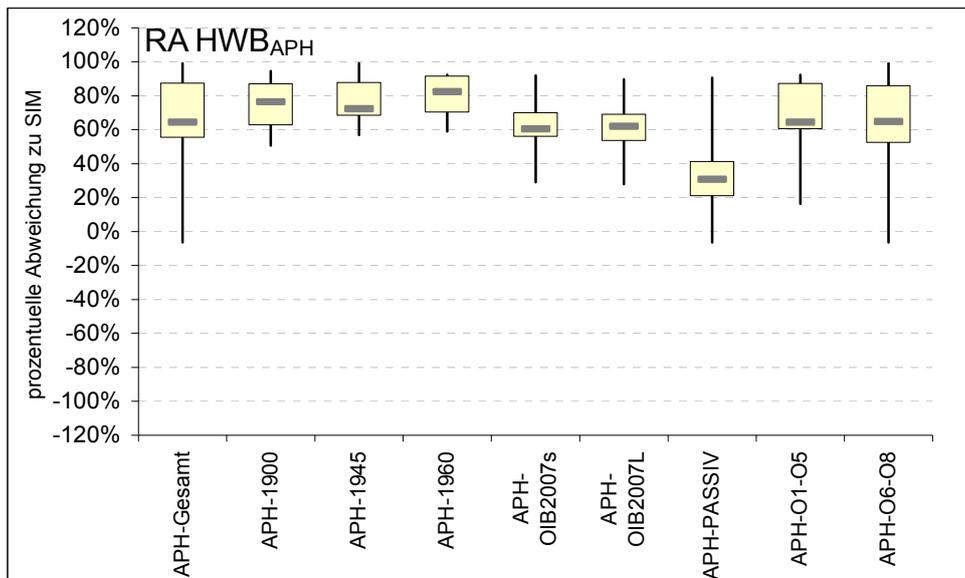


Abbildung. 3.5.: RA_{APH}, aufgeteilt nach Bauteilsets und freistehenden und flankierten Bauten.

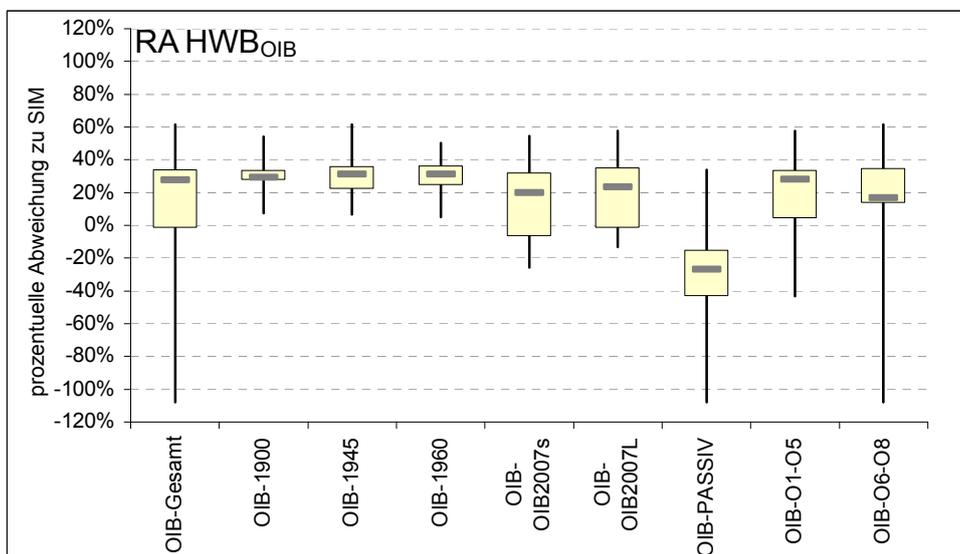


Abbildung. 3.6.: RA_{OIB}, aufgeteilt nach Bauteilsets und freistehenden und flankierten Bauten.

Aus den dargestellten Abbildungen ist gut ersichtlich, dass der Streubereich der Daten offenbar im Fall des Bauteilsets PASSIV sehr ausgeprägt ist. Die extreme negative Abweichung (d.h. -6% bei den Darstellungen für APH und -100% bei den Darstellungen für OIB) geht auf den einen Fall zurück, wo das Resultat für OIB einen Nullwert annimmt.

Folgende detaillierte Abbildungen, die der generellen Darstellung der Resultate der Heizwärmebedarfsberechnung entsprechen, finden sich im Anhang:

- Abbildung wie Abbildung 3.2. mit Aufspaltung der Daten nach den Bauteilssets
- Abbildung wie Abbildung 3.2. mit Aufspaltung der Daten nach den Objekten.

3.2.2. Vergleich der Resultate als "Bilanzen"

Wie bereits am Anfang dieser Arbeit ausgeführt, kann der Heizwärmebedarf als notwendiger "Bilanzausgleich" verstanden werden. Der Heizwärmebedarf muss jenen Wärmebedarf abdecken, der der Differenz von Verlusten - Gewinnen entspricht. In Tabelle 3.2. ist das als "Bilanz" im wirtschaftlichen Sinne dargestellt.

Tabelle 3.2. Der Heizwärmebedarf als Bilanzposten

Wärmeverluste		Wärmegewinne	
-	Transmissionswärmeverluste	+	Solare Gewinne
-	Lüftungswärmeverluste	+	Interne Gewinne
		+	Heizwärmebedarf
Gesamtwärmeverlust		=	Gesamtwärmeeintrag

Für die Objekte O1-O8 wurde für jede Berechnung und jedes Bauteilset ein Balkendiagramm erstellt, welches einer "Bilanzdarstellung" entspricht. Diese sind komplett im Anhang zu finden. Beispielhaft ist ein Auszug daraus als Abbildung 3.7. abgebildet.

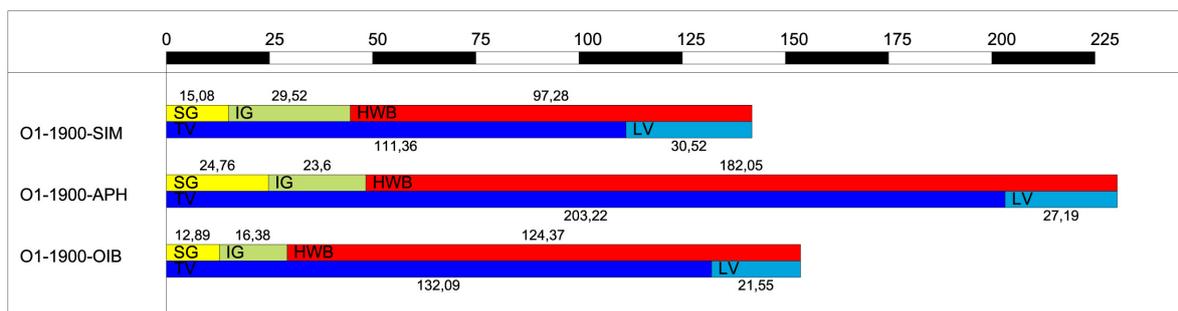


Abbildung 3.7.: Balkendiagramm-Bilanz für O1, Bauteilset MFH1900, alle Berechnungsverfahren. SG...solare Gewinne, IG...Interne Gewinne, HWB...Heizwärmebedarf, TV...Transmissionswärmeverluste, LV...Lüftungswärmeverluste; Einheit: kWh.m⁻².a⁻¹

Um das Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten darzustellen, wird ihr Verhältnis als Indikator γ nach Formel 3.3. für jeden Fall (d.h. jedes Objekt, jedes Bauteilset,

jedes Berechnungsverfahren) berechnet. (Dieser Indikator entstammt der ÖNORM B-8110 und ist in der EN 832 ebenfalls enthalten)

$$\gamma = \frac{Q_S + Q_i}{Q_T + Q_V} \quad [\text{Formel 3.3.}]$$

Demnach ist zu erwarten, dass γ bei Berechnung mit verschiedenen Verfahren und verschiedenen Bauteilsets unterschiedliche Werte annimmt. In folgender Abbildung 3.8. wurden die arithmetischen Mittel der Ergebnisse der HWB-Berechnung gegliedert nach Bauteilsets und Berechnungsmethoden abgebildet.

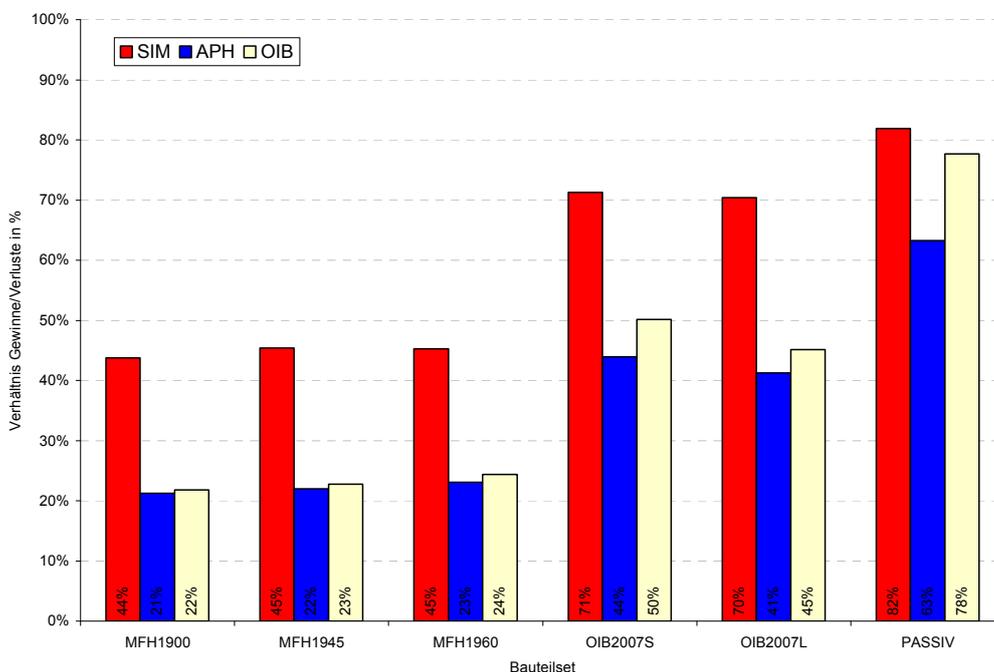


Abbildung. 3.8.: Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten in % [γ], arithmetische Mittelwerte der verschiedenen Bauteilsets, alle Verfahren

In der Abbildung ist zu erkennen, dass bei den thermisch besseren Bauteilsets der relative Anteil der Gewinne höher ist, als bei Bauteilsets mit weniger gut gedämmten Bauteilen. Bei Betrachtung der Bilanzgraphen im Anhang (wie Abbildung 3.7.) zeigt sich, dass die Transmissionswärmeverluste bei den besseren Bauteilsets niedriger sind, und dadurch der Verhältniswert γ größer wird.

Bei allen Bauteilsets ist γ bei SIM signifikant größer als bei APH und OIB und es stellt sich die Frage, welcher oder welche Teilparameter diesen Unterschied verursachen.

Um diese Frage zu beantworten werden anhand der Teilwerte Q_S , Q_i , Q_T und Q_V wieder Fünf-Punkt-Zusammenfassungen der relativen Abweichungen (analog zu Formeln 3.1 und

3.2) und Boxplots erstellt, die zeigen sollen, welche Teilwerte von APH und OIB wie stark von der Simulation abweichen (Abbildungen 3.9 und 3.10).

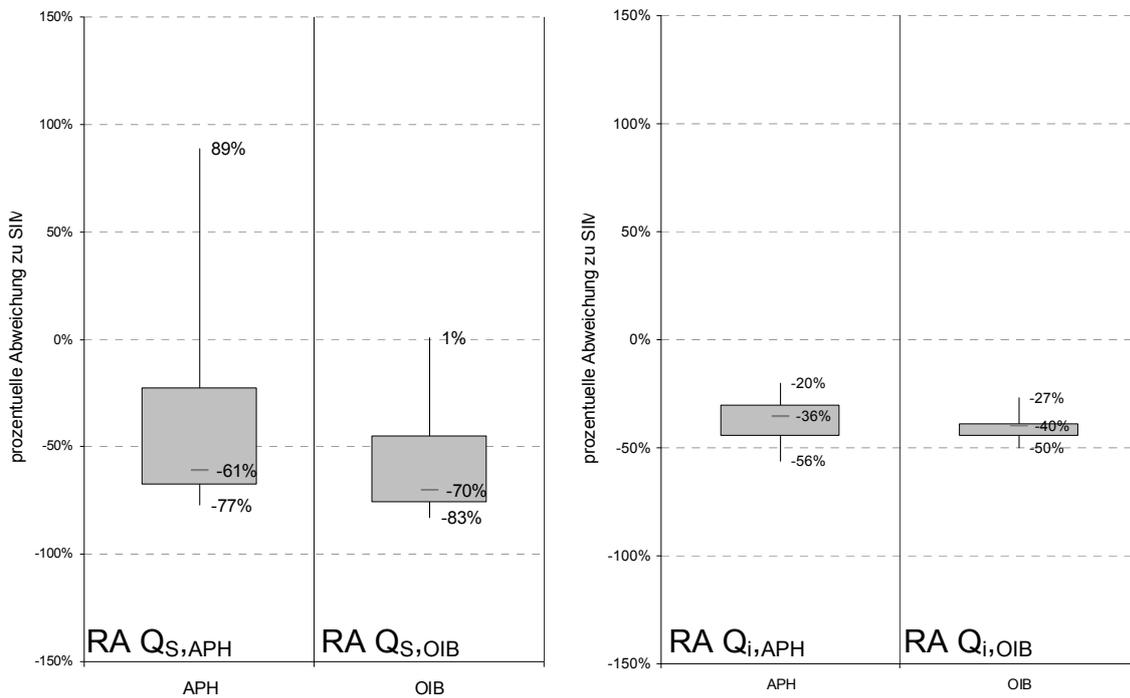


Abbildung. 3.9.: Relative Abweichung der solaren Gewinne (linker Boxplot) und der internen Gewinne (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM

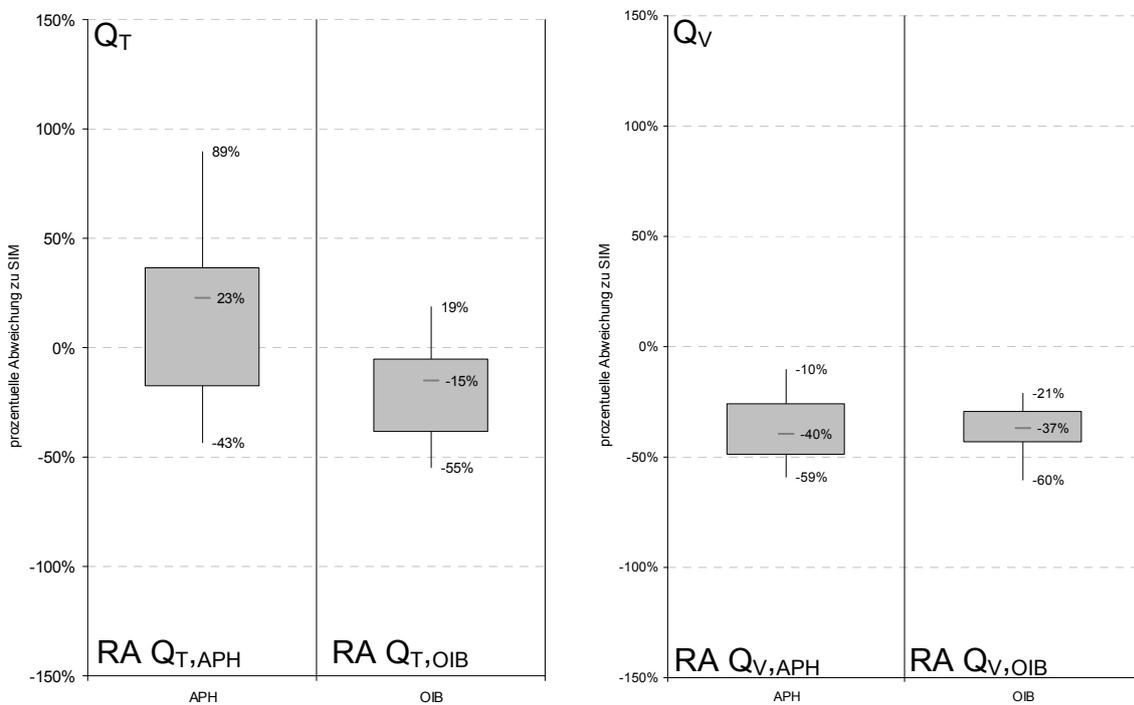


Abbildung. 3.10.: Relative Abweichung der Transmissionswärmeverluste (linker Boxplot) und Lüftungswärmeverluste (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM.

Aus diesen Diagrammen ist ersichtlich, dass bei APH für die Transmissionswärmeverluste tendenziell höhere Resultate als in der Simulation herauskommen, während bei OIB leicht niedrigere Werte errechnet werden. Die Abweichungen bei den Transmissionswärmeverlusten haben bei den Berechnungen mit APH insgesamt eine sehr große Spannweite (von -43 bis +80%), 50% der Datenpunkte weichen zwischen -18% und +36% ab.

Für die Lüftungswärmeverluste und die interne Gewinne resultieren in beiden stationären Verfahren niedrigere Werte als in der Simulation.

Die Abweichungen des Parameters Q_i betragen in APH im Vergleich zur Simulation zwischen -56 und -20%, wobei die Hälfte der Daten zwischen -30 und -45% liegen. Die Abweichungen des Parameters Q_v zur Simulation betragen zwischen -10% und -59%, der Großteil der Datenpunkte weicht zwischen -26 und -49% von der Simulation ab.

Bei den Abweichungen von OIB zu SIM liegen die Abweichungen für Q_i zwischen -27% und -50%, der Großteil der Daten befindet sich zwischen -39 und -45%. Die Werte von Q_v weichen von der Simulation um -21 bis -60% ab (Kernbereich -29 bis -44%).

Die solaren Gewinne von OIB und APH sind tendenziell ebenfalls niedriger als in der Simulation.

Es ergibt sich somit Folgendes:

Tabelle 3.3. Zusammenfassender Überblick über das Verhältnis der einzelnen Verluste und Gewinne in stationären Verfahren und Simulation

APH vs. SIM		OIB vs. SIM	
Solare Gewinne	APH < SIM	Solare Gewinne	OIB < SIM
Interne Gewinne	APH < SIM	Interne Gewinne	OIB < SIM
Transmissionswärmeverluste	APH > SIM	Transmissionswärmeverluste	OIB ≤ SIM
Lüftungswärmeverluste	APH < SIM	Lüftungswärmeverluste	OIB < SIM

Die Abbildungen 3.11. und 3.12. (im Verlauf der folgenden Seiten) splitten die Ergebnisse wieder anhand der Bauteilsets und der Kategorie freistehende und flankierte Objekte auf.

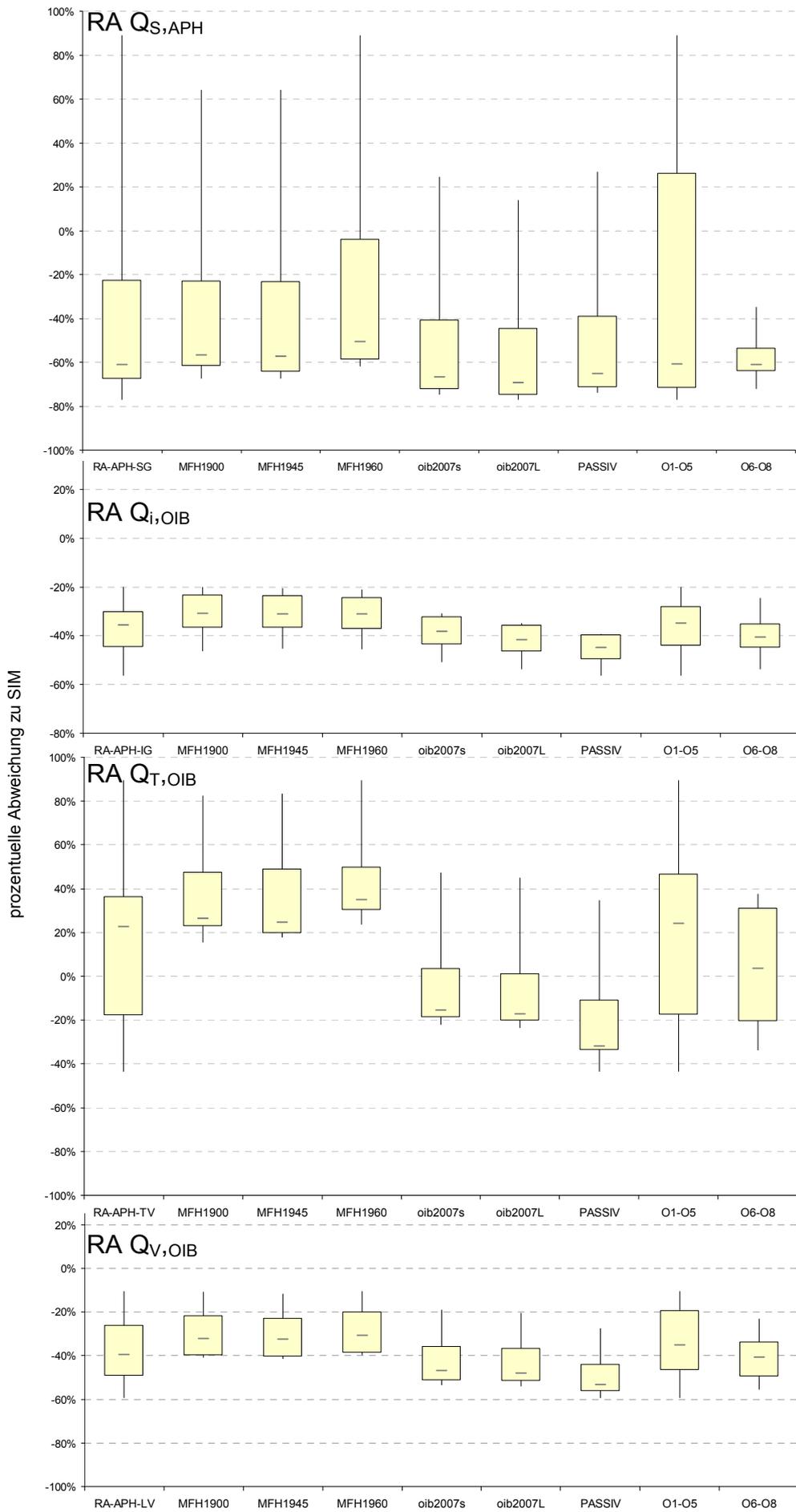


Abbildung 3.11.: Relative Abweichungen von APH zu SIM, für Q_S , Q_i , Q_T und Q_V (v.o.n.u.) aufgeteilt nach Bauteilsätzen freistehenden und nicht-freistehenden Bauten.

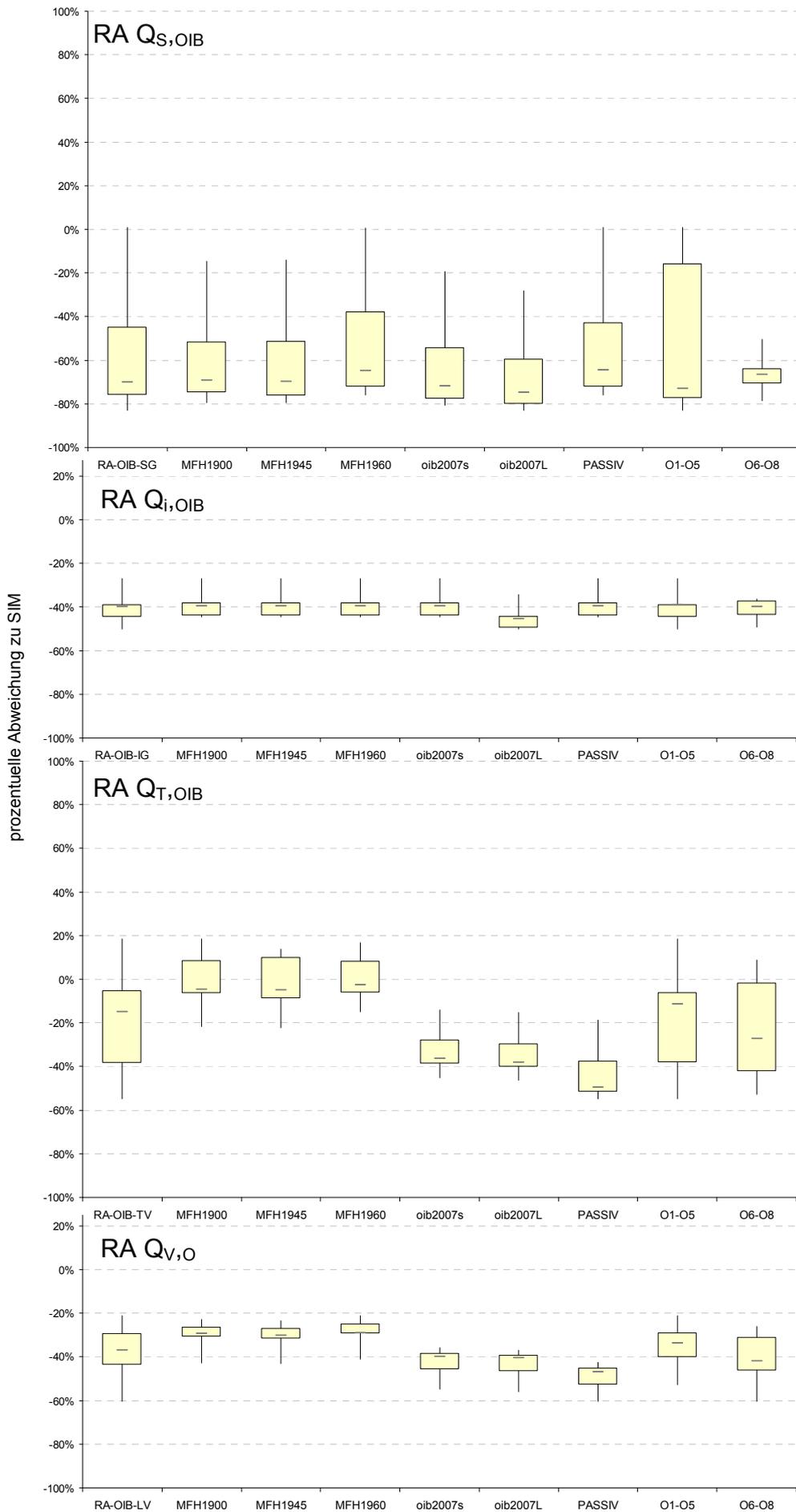


Abbildung 3.12.: Relative Abweichungen von OIB zu SIM, für Q_s , Q_i , Q_T und Q_v (v.o.n.u.) aufgeteilt nach Bauteilsets und freistehenden und nicht-freistehenden Bauten

Anhand dieser Graphen lässt sich Folgendes festhalten:

- Bei den solaren Gewinnen weisen die Bauteilsets sowohl bei APH als auch bei OIB untereinander geringfügige Abweichungen voneinander auf: Bei den Bauteilsets mit besseren thermischen Eigenschaften sind in APH die solaren Gewinne etwas niedriger als bei jenen mit "schlechten" Bauteilen. Bei OIB ist dies hingegen nicht klar ablesbar.

Auffällig ist bei den Werten von APH und OIB, dass das Bauteilset MFH 1960 gegenüber den anderen leicht erhöhte Abweichungen liefert. Dies liegt - nach Durchsicht der Daten - an Abweichungen der solaren Gewinne in der Simulation, die mit einem für diesen Datensatz erhöhten U-Wert für Verglasungen zusammenhängen dürften.

- Die internen Gewinne weichen auch in den detaillierten Aufteilungen von der Simulation relativ konsistent ab. Auffällig ist, dass bei APH die Abweichung der an und für sich konstant angenommenen internen Gewinne sich bei unterschiedlichen Bauteilsets verschieden verhält, während bei OIB die Abweichung bis auf das Bauteilset mit den leichten Bauteilen (OIB2007L) konstant ist.

Der Grund für die verschiedenen hohen Abweichungen bei APH liegt im Berechnungsverfahren nach ÖNORM B 8110 - 6. Der Ausnutzungsgrad η , der in OIB und APH durch die Schwere der Baukonstruktion bestimmt wird, wird im Monatsbilanzverfahren zusätzlich mit dem Faktor γ (vgl. Abbildung 3.4.) multipliziert, dadurch entstehen je nach Bauteilset unterschiedliche solare Gewinne.

Die generelle Abweichung fußt darüber hinaus auf der Berücksichtigung der internen Gewinne in $W \cdot m^{-2}$, die in der Simulation auf die Nettogeschossfläche bezogen werden, während sie in den stationären Verfahren normgerecht auf die Bruttogeschossfläche entsprechend ÖNORM B 1800 bezogen werden.

- Bei den Transmissionswärmeverlusten bildet sich sowohl bei APH wie auch bei OIB die unterschiedliche Qualität der thermischen Hülle der unterschiedlichen Bauteilsets ab. Die größten positiven Abweichungen - d.h. die Transmissionswärmeverluste sind in den stationären Verfahren größer - zeigen sich bei den Bauteilsets minderer thermischer Qualität, während die größten negativen Abweichungen bei den Bauteilsets OIB2007S, OIB2007L und PASSIV auftreten.
- Die Lüftungswärmeverluste weichen sowohl bei OIB wie auch bei APH negativ ab, d.h. sie sind absolut betrachtet geringer als bei der Simulation. Die größten Abweichungen finden sich hier bei den Bauteilsets OIB2007s, OIB2007L und PASSIV.

In Abbildung 3.11. werden die Verteilungen der Wärmegewinne und Wärmeverluste der stationären Verfahren im Vergleich mit der Simulation für alle Objekte und alle Bauteilsets als Absolutwerte gezeigt.

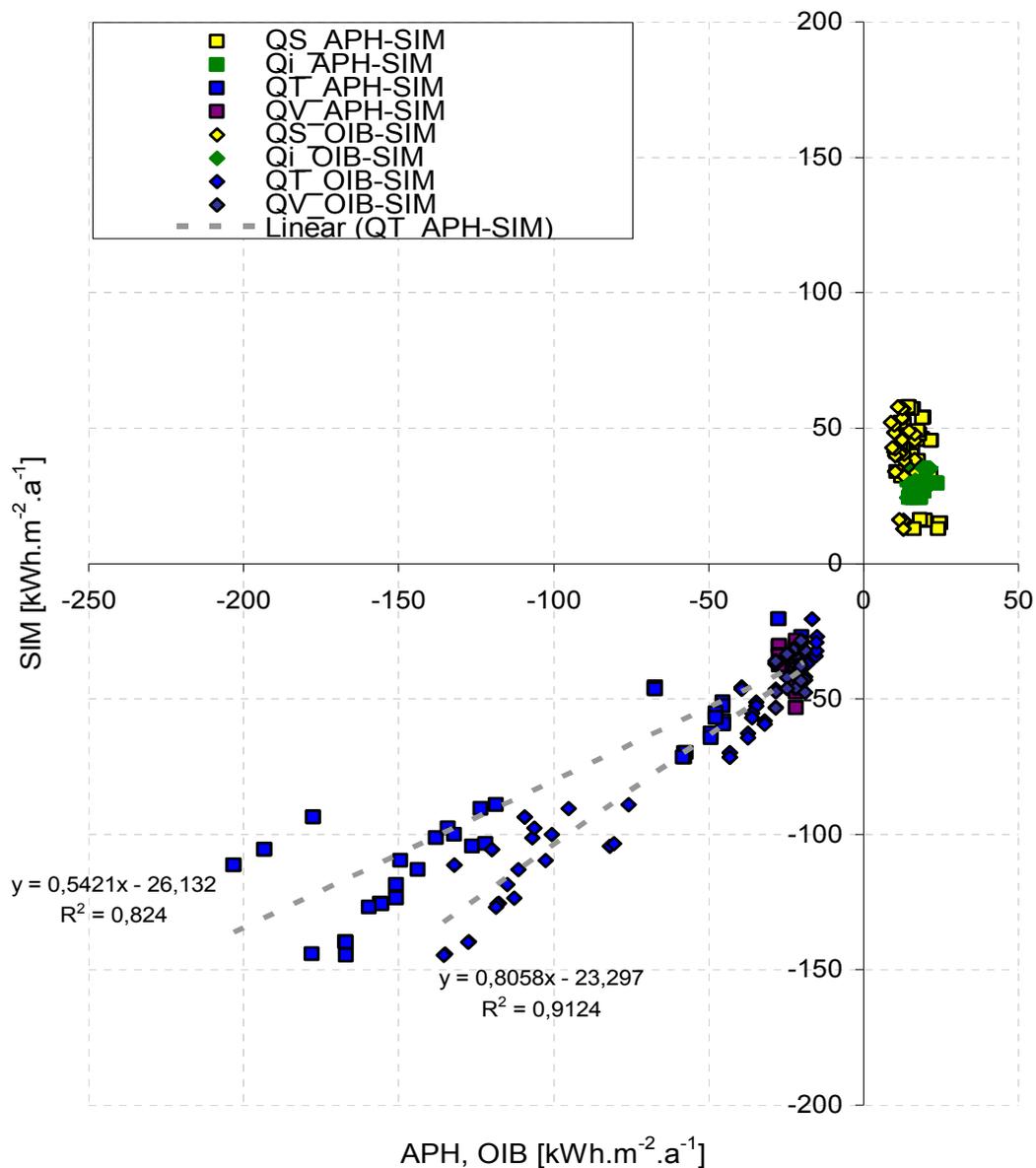


Abbildung. 3.13.: Absolutwerte der stationären Verfahren und der Simulation für solare Gewinne (SG), interne Gewinne (IG), Transmissionswärmeverluste (TV) und Lüftungswärmeverluste (LV). Alle Werte in $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$

Aus diesem Graphen lässt sich gut ablesen, dass die Transmissionswärmeverluste bei einem Großteil der Berechnungen den absolut größten Wert bilden und auch einen relativ hohen Korrelationskoeffizienten besitzen. Dies ist für die drei anderen Parameter, die absolut nicht so große Werte bilden, nicht so deutlich gegeben.

3.3. Resultate der einfachen Volumina

3.3.1. Vergleich des resultierenden Heizwärmebedarfs

Da es für die simplen Volumina 31 unterschiedliche Szenarien gibt, die jeweils mit 6 Bauteilsets und 3 Berechnungsverfahren gerechnet wurden, ergeben sich 558 Resultate. Diese Menge kann nicht mehr ansehnlich in einem Balkendiagramm gezeigt werden, so dass an dieser Stelle darauf verzichtet (entsprechende Auflistungen und Graphen sind im Anhang zu finden), und stattdessen die Korrelation der Ergebnisse in Abbildung 3.14. und 3.15. gezeigt wird.

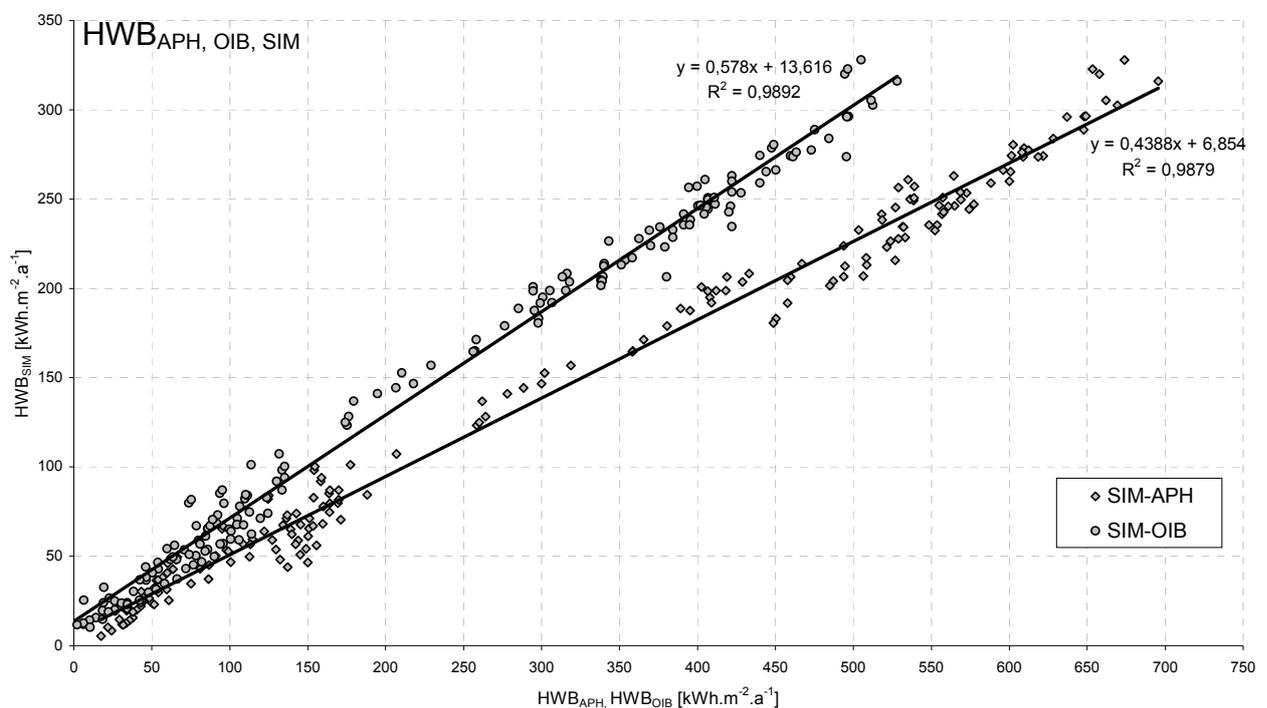


Abbildung. 3.14.: Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM-APH und SIM-OIB für die Szenarien der einfachen Volumina.

Es lässt sich in diesem Diagramm - ebenso wie bei den realen Objekten - eine eindeutige lineare Korrelation ablesen. Das Bestimmtheitsmaß der Zusammenhänge liegt sowohl bei OIB zu SIM wie auch bei APH zu SIM bei über 98%. Die zum Teil sehr hohen Werte für den Heizwärmebedarf lassen sich auf die geringe Größe des Testkörpers zurückführen und sein damit sehr schlechtes Verhältnis von Wärme abgebender Fläche zu Volumen. Dies verursacht bei Verwendung der thermisch schlechteren Bauteilsets sehr hohe Heizwärmebedarfswerte. Im Anhang wird Abbildung 3.14. nochmals gezeigt, dort sind auch die verschiedenen Bauteilsets ersichtlich.

Abbildung 3.15. zeigt das Verhältnis der Resultate von APH und OIB zueinander. Auch hier liegt ein Bestimmtheitsmaß größer 98% vor, und damit eine klare lineare Korrelation.

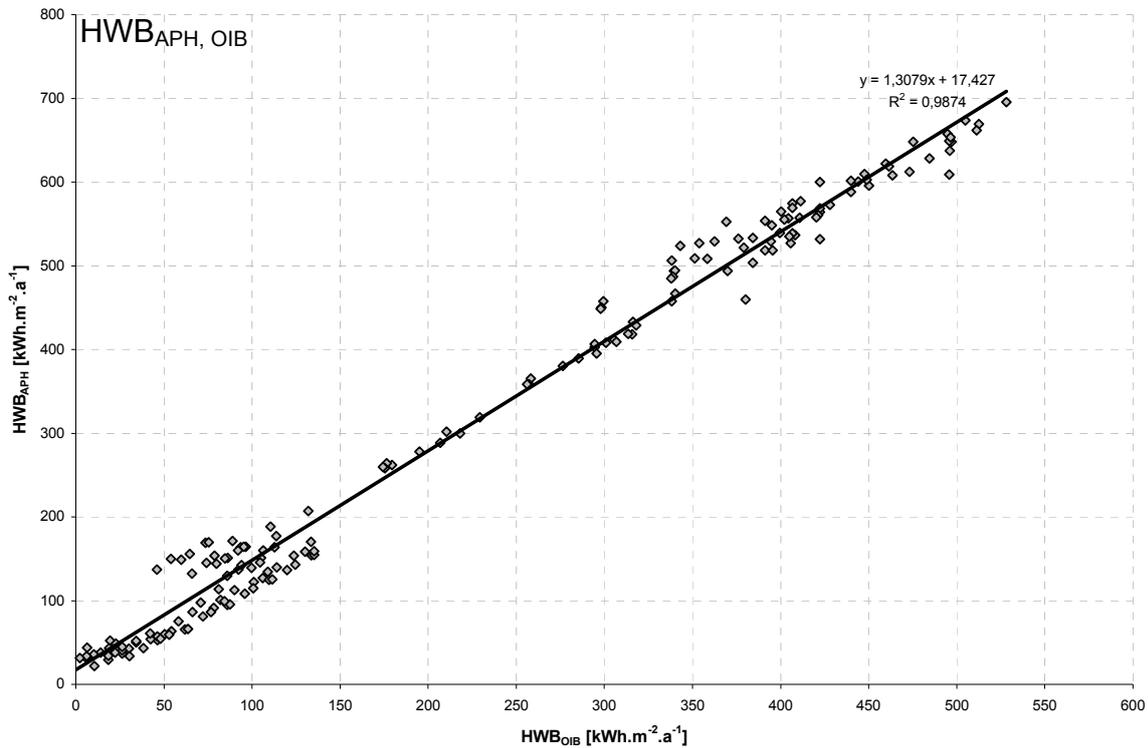


Abbildung. 3.15.: Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM und APH für die Szenarien der einfachen Volumina.

Analog zur Abbildung 3.4. wird in Abbildung 3.16. die relative Abweichung der Resultate der stationären Verfahren zu den Abweichungen der dynamischen Simulation gezeigt.

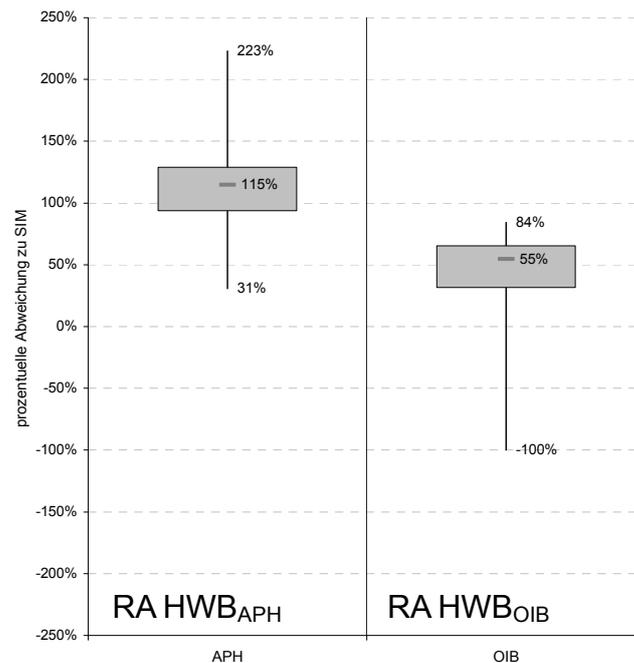


Abbildung. 3.16.: Boxplot über die relativen Abweichungen von APH und OIB zu SIM bei den simplen Volumina.

Im Diagramm sieht man, dass die relative Abweichung des Heizwärmebedarfs in Bezug zu SIM für APH um +31 bis +223% abweicht, und eine Häufung zwischen +94 und +129 % besteht, während die Abweichung bei OIB zwischen -100% und +84% besteht.

Da in den ursprünglichen Resultaten von OIB einige negative Ergebnisse enthalten waren, wurden diese auf 0 gesetzt, was die untere Grenze der Abweichung von -100% erklärt (welche ansonsten noch tiefer liegen würde).

In Abbildung 3.17 und 3.18 werden die Abweichungen gesamt und aufgeteilt nach den unterschiedlichen Bauteilsets dargestellt, um den Einfluss der thermischen Hüllqualität abzubilden. Bei APH wird die große Spannweite durch die Bauteilsets OIB2007s, OIB2007L und PASSIV verursacht, wobei die Mediane dieser Abweichungen niedriger liegen (d.h. der Heizwärmebedarf sich der Simulation besser annähert). In dem Graph von OIB zeigt sich, dass die große Spannweite nach unten von dem Bauteilset PASSIV verursacht wird (in dem auch die auf Null gesetzten Werte für den Heizwärmebedarf liegen).

In den darunter folgenden Abbildungen 3.19 und 3.20 werden die Ergebnisse noch einmal gruppenweise aufgeteilt, und zwar nach den Gruppen aus Tabelle 2.10., d.h. es werden die Volumina gegliedert nach der Anzahl ihrer Kontaktflächen zu unbeheizt bzw. ihrer adiabatischen Seitenflächen abgebildet. Da damit auch Gruppen mit unterschiedlichen charakteristischen Längen betrachtet werden, ist der Einfluss der Kompaktheit in den Ergebnissen zu erwarten.

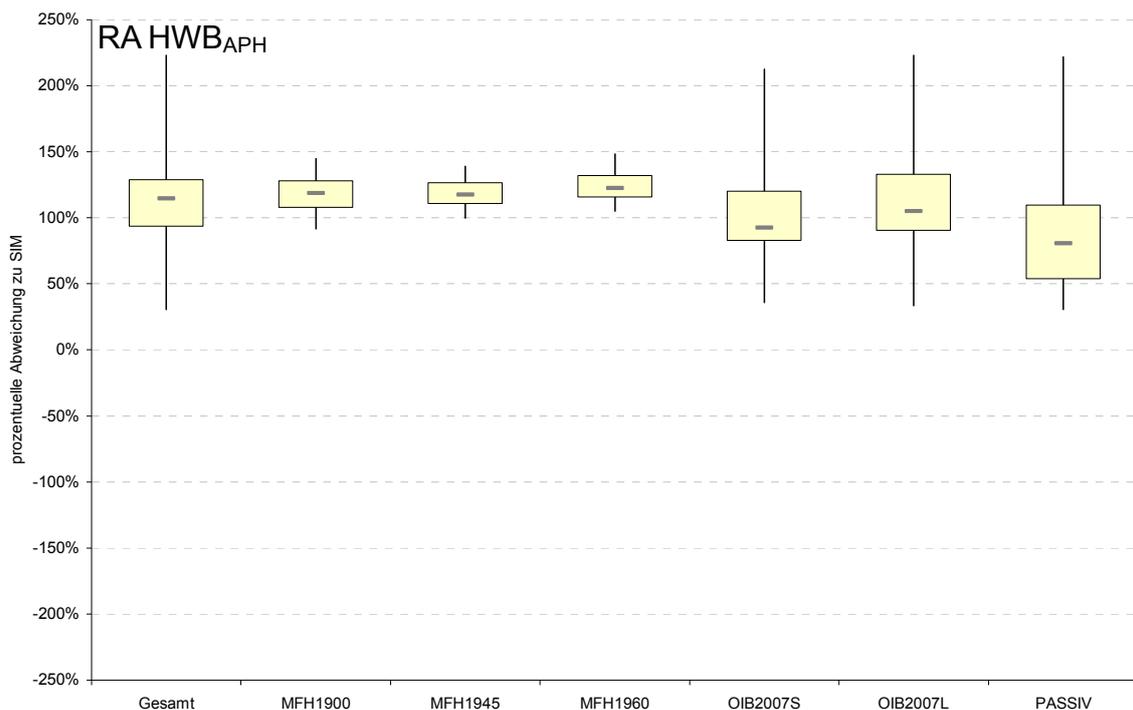


Abbildung. 3.17.: Relative Abweichungen des HWB_{APH} zu HWB_{SIM} gesamt und nach verschiedenen Bauteilsets.

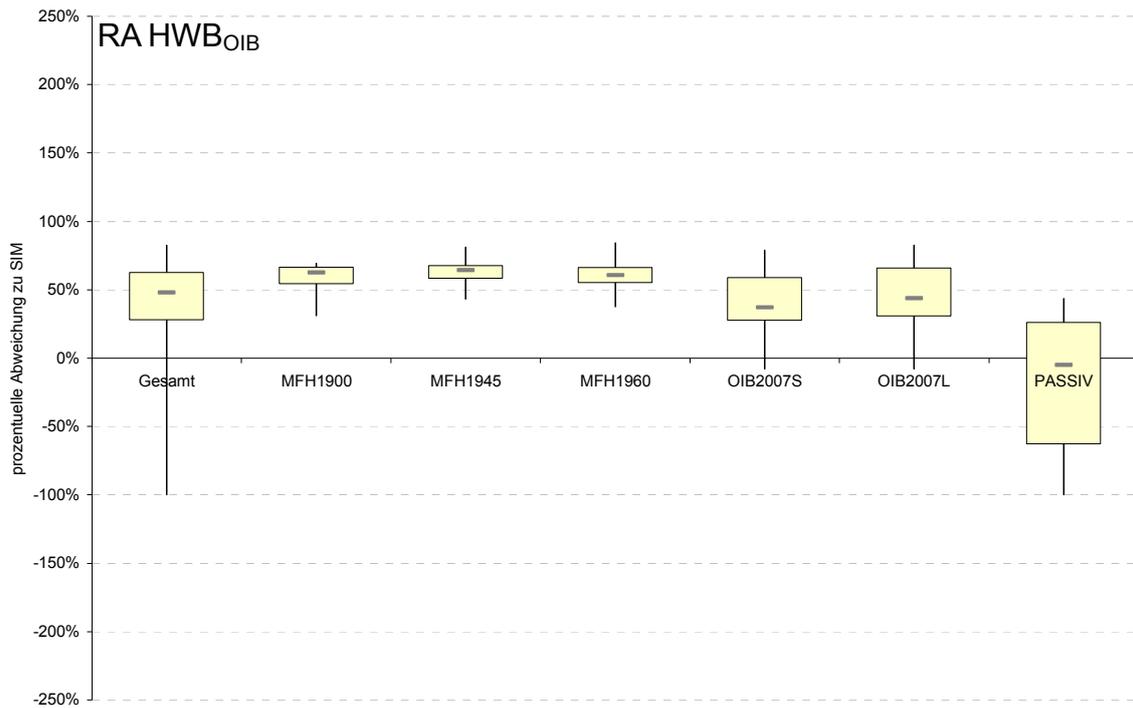


Abbildung. 3.18.: Relative Abweichungen des HWB_{OIB} zu HWB_{SIM} gesamt und unterteilt nach verschiedenen Bauteilsets.

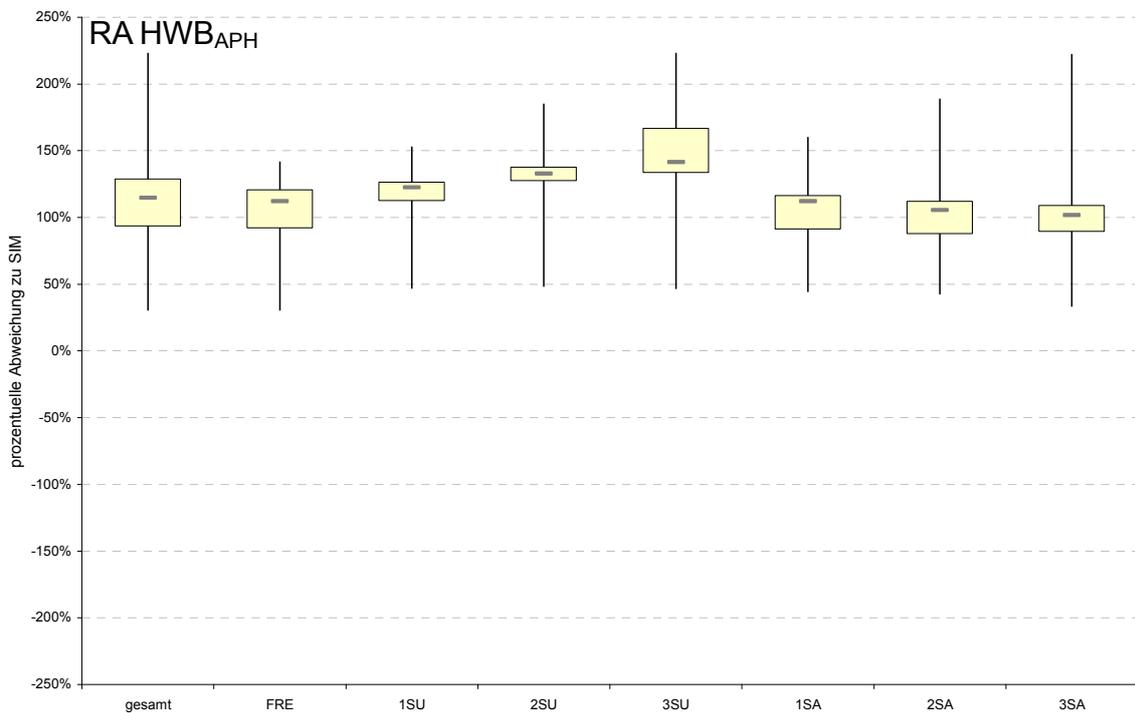


Abbildung. 3.19.: Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von APH gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.

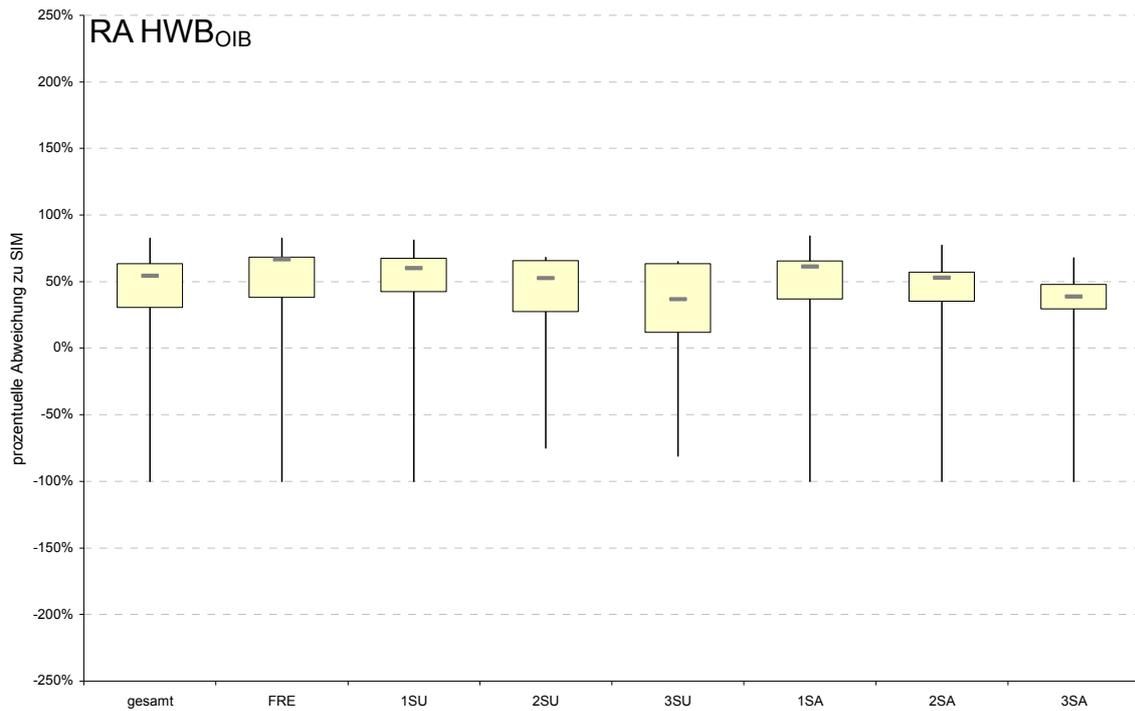


Abbildung. 3.20.: Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.

Tatsächlich sind geringfügige Unterschiede zu sehen - Bei der Berechnung mit APH sind bei den Gruppen 1SU, 2SU und 3SU im Vergleich zur Gruppe FRE erhöhte relative Abweichungen zu sehen, bei den Gruppen 1SA, 2SA und 3SA zeigt sich eine erhöhte Spannweite, allerdings auch geringere Mediane als bei den freistehenden Szenarien.

Die Abweichungen von OIB gegenüber der Simulation zeigen für die flankierten Szenarien fallende Mediane mit steigender Zahl von nicht nach außen grenzenden Wänden im Vergleich zu den nicht-flankierten Szenarien.

Um zu zeigen, wo die absoluten Ergebnisse entsprechend dieser Gruppen liegen, werden die Ergebnisse von APH mit den Ergebnissen von SIM in Abbildung 3.21. gezeigt. Die höchsten Resultate liefert die Gruppe FRE. Mit zunehmendem Grad der Flankierung sinkt dagegen der Heizwärmebedarf ab.

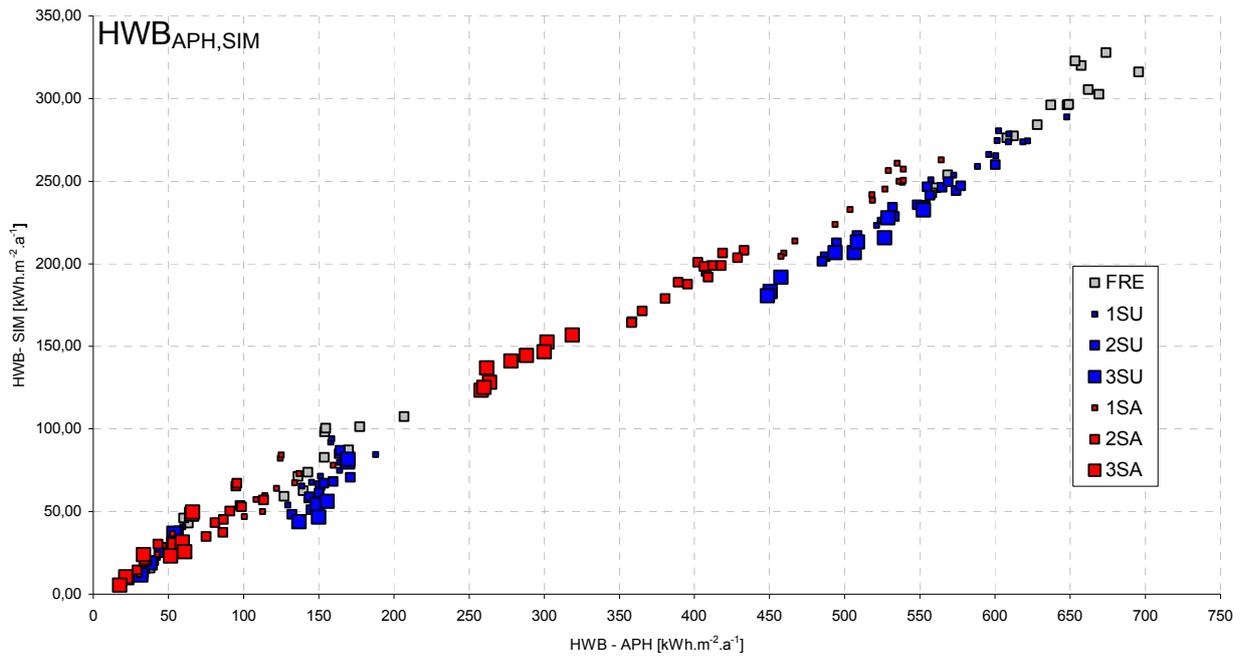


Abbildung. 3.21: Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM-APH, aufgeteilt entsprechend Tabelle 2.10.

Eine weitere Möglichkeit zur Differenzierung der Objekte kann anhand des Anteils der Verglasung vorgenommen werden.

Hierzu wurden folgende Gruppen gebildet:

Tabelle 3.4. Gruppenbildung der Szenarien anhand von Verglasung

Name	Beschreibung	Beinhaltende Szenarien
BLIND	keine Verglasung	A, F1,F2,K1,K2,P1,P2
S25	Südflächen 25% verglast	B, G1,G2,L1,L2, Q1,Q2
S50	Südflächen 50% verglast	C,H1,H2,M1,M2,R1,R2
R25	Rundum 25% verglast	D,I1,I2,N1,N2
R50	Rundum 50% verglast	E,J1,J2,O1,O2

In Abbildung 3.22. und 3.23. finden sich die Relativen Abweichungen von APH und OIB zu SIM gemäß den Gruppen in Tabelle 3.4.

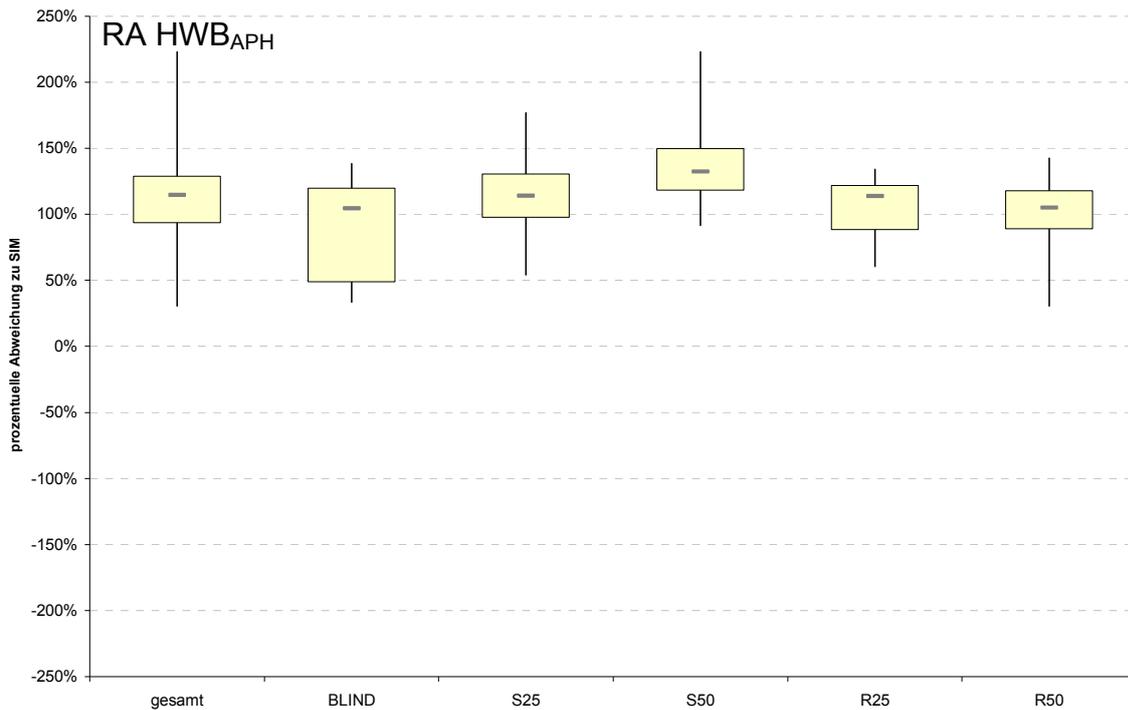


Abbildung. 3.22.: Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von APH gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.

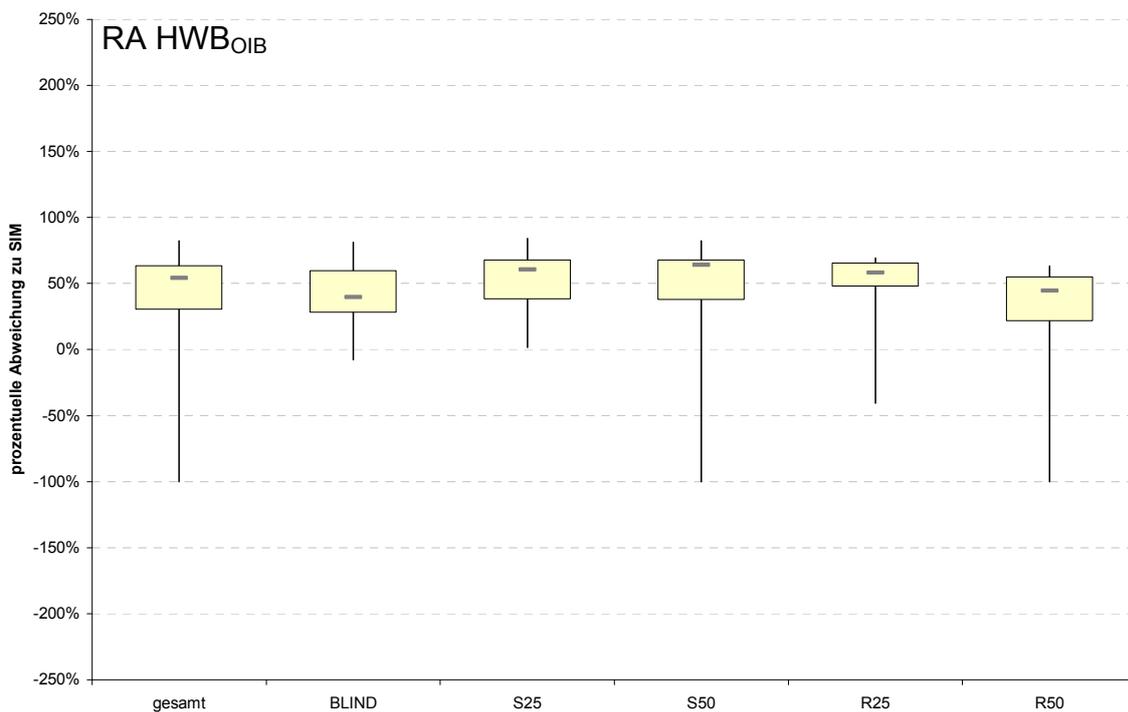


Abbildung. 3.23.: Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.

Es ist der Einfluss der Verglasung in den Daten für APH eindeutig sichtbar. Die relative Abweichung beim HWB ist offenbar in den nach Süd verglasten Fällen S25 und S50 am Größten. In den Abweichungen bei OIB ist dies nur in abgeschwächtem Maße ersichtlich.

In Abbildung 3.24. sind diese Werte wieder gruppenweise als Absolutwerte gezeigt. Hier zeigt sich eine sehr heterogene Durchmischung der Werte.

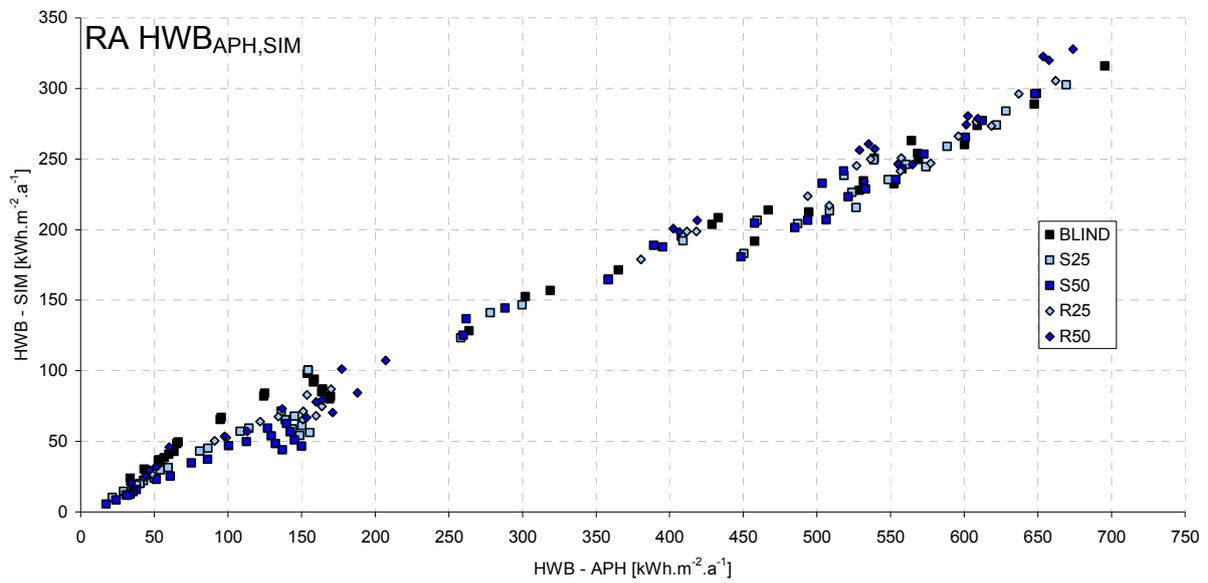


Abbildung. 3.24.: Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 3.4.

3.3.2. Vergleich der detaillierten Resultate

Genauso wie die Ergebnisse der realen Gebäude in einzelne Resultate zerlegt wurden, wird das in diesem Abschnitt auch an den Resultaten der simplen Volumina vorgenommen. (Abbildung 3.25. und 3.26.)

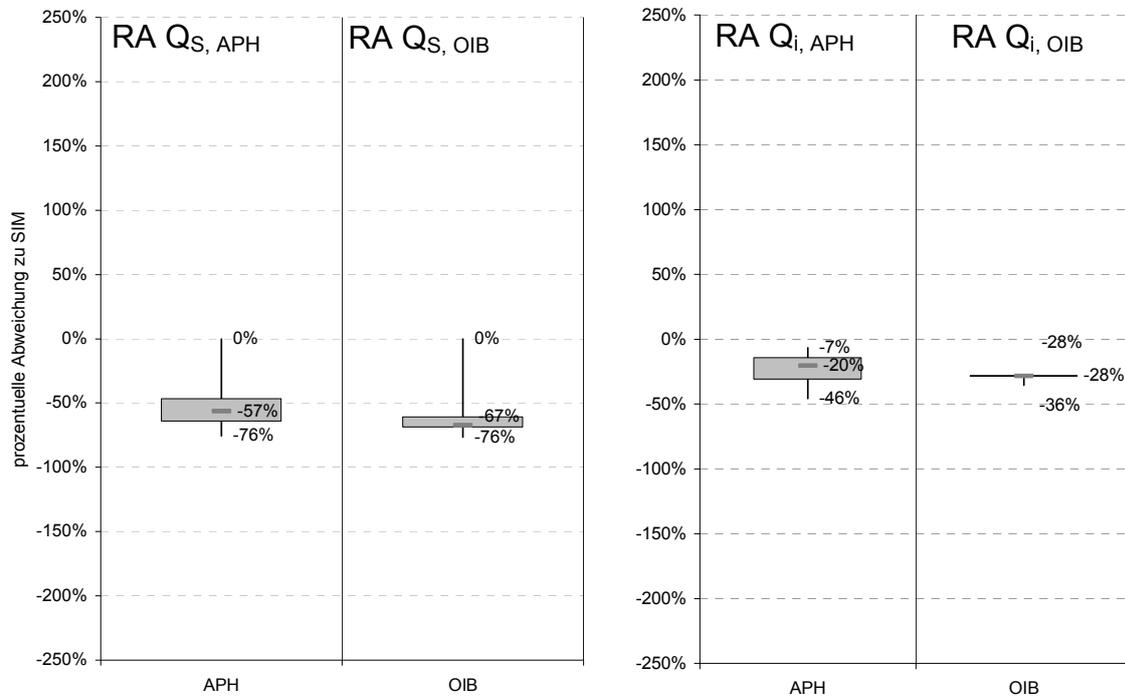


Abbildung. 3.25.: Relative Abweichung der solaren Gewinne (linker Boxplot) und der internen Gewinne (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM

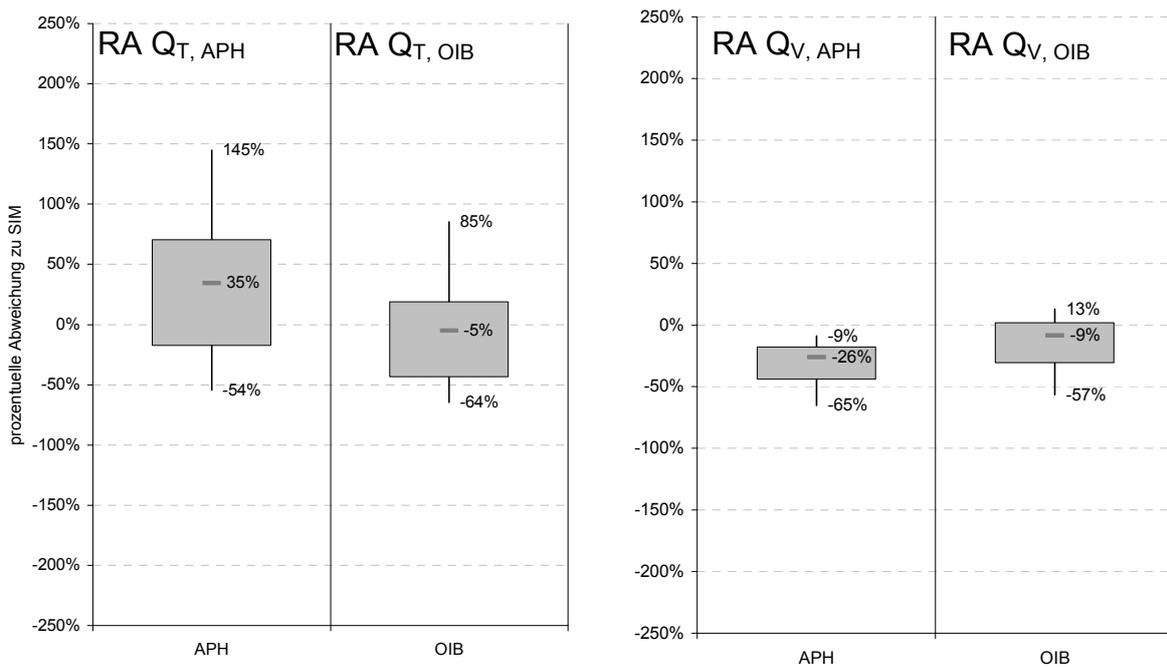


Abbildung. 3.26.: Relative Abweichung der Transmissionswärmeverluste (linker Boxplot) und Lüftungswärmeverluste (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM.

Die Abweichungen der solaren Gewinne sind sowohl bei APH wie auch bei OIB negativ im Vergleich zu SIM, die obere Grenze von 0% Abweichung liegt naturgemäß bei den fensterlosen Volumina vor.

Die internen Gewinne verhalten sich analog zu den internen Gewinnen der realen Objekte, die größere Abweichungsspannweite bei APH hängt mit dem Berechnungsverfahren zusammen (wo neben der Bauweise auch wieder der Faktor γ eingeht), während bei OIB hier der Großteil der Werte um -28% abweicht, und lediglich bei Verwendung des Bauteilssets OIB2007L ein Abweichung durch den veränderten Ausnutzungsgrad vorliegt.

Die Transmissionswärmeverluste weichen bei den stationären Verfahren um -54 bis +145% (APH) und -64 bis +85% ab (OIB), wobei die Verluste bei APH tendenziell größer als bei der Simulation sind, während sie bei OIB einen Median von -5% erreichen, d.h. sogar mehr als die Hälfte der Werte kleiner als bei der Simulation ist.

Die Lüftungswärmeverluste sind bei beiden stationären Verfahren kleiner als bei der Simulation.

Es ergibt sich somit folgendes:

Tabelle 3.5. Zusammenfassender Überblick über das Verhältnis der einzelnen Verluste und Gewinne in stationären Verfahren und Simulation bei den simplen Volumina

APH vs. SIM		OIB vs. SIM	
Solare Gewinne	APH < SIM	Solare Gewinne	OIB < SIM
Interne Gewinne	APH < SIM	Interne Gewinne	OIB < SIM
Transmissionswärmeverluste	APH > SIM	Transmissionswärmeverluste	OIB \leq SIM
Lüftungswärmeverluste	APH < SIM	Lüftungswärmeverluste	OIB < SIM

3.4. Zusammenführung der Resultate der realen und virtuellen Objekte

In Abbildung 3.27. werden die Resultate für die realen Objekte und die simplen Volumina zusammengeführt.

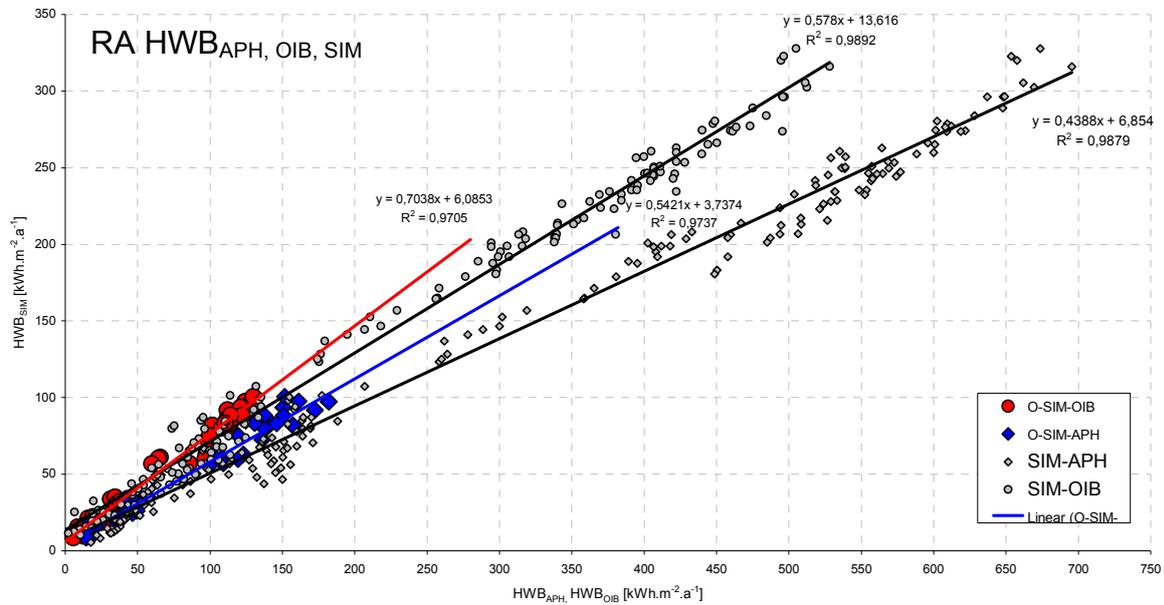


Abbildung. 3.27.: Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 3.4.

Wie erwartet sind hier keine tendenzielle Ähnlichkeiten zu sehen, wenn auch die Steigungsverhältnisse der Trendlinien Abweichungen aufweisen. Die Trends der realen Objekte besitzen ein steileres Steigungsverhältnis, das heißt, dass sich die Werte für stationäre Verfahren und Simulation geringfügig näher kommen.

Die Gewinne und Verluste verhalten sich bei realen Objekten und simplen Volumina wie in Tabelle 3.6. abgebildet

Tabelle 3.6. Gewinn und Verlustabweichungen bei realen Objekten und simplen Volumina mit stationärer Berechnung gegenüber SIM

		Minimum	Unteres Quartil	Median	Oberes Quartil	Maximum
Qs APH	Reale Objekte	-77%	-68%	-61%	-23%	89%
	Simple Volumina	-76%	-64%	-57%	-46%	0%
Qs OIB	Reale Objekte	-83%	-76%	-70%	-45%	1%
	Simple Volumina	-76%	-64%	-67%	-61%	0%
Qi APH	Reale Objekte	-56%	-45%	-36%	-30%	-20%
	Simple Volumina	-46%	-31%	-20%	-14%	-7%
Qi OIB	Reale Objekte	-50%	-45%	-40%	-39%	-27%
	Simple Volumina	-36%	-28%	-28%	-28%	-28%
QT APH	Reale Objekte	-43%	-18%	23%	36%	89%
	Simple Volumina	-54%	-18%	35%	70%	145%
QT OIB	Reale Objekte	-55%	-39%	-15%	-5%	19%
	Simple Volumina	-64%	-43%	-5%	19%	85%
QV APH	Reale Objekte	-59%	-49%	-40%	-26%	-10%
	Simple Volumina	-65%	-44%	-26%	-18%	-9%
QV OIB	Reale Objekte	-60%	-44%	-37%	-29%	-21%
	Simple Volumina	-57%	-31%	-9%	2%	13%

4. Diskussion, Schlussfolgerungen & zukünftige Forschung

4.1. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden EDV-gestützte Berechnungsmethoden für thermische Energiekennzahlen anhand ihrer Eingabedaten und der Resultate verglichen.

Um überhaupt vergleichbare Berechnungen durchführen zu können, ist es erforderlich, die Eingabedaten so anzugleichen, dass die Daten in der entsprechenden Form für die jeweilige Berechnung zur Verfügung stehen.

Das ist in einigen Fällen sehr einfach zu bewerkstelligen - beispielsweise die Anwendung der gleichen internen Bedingungen nach entsprechenden Normen - in anderen Fällen mit einem gewissen Aufwand verbunden. Das Anpassen der notwendigen Klimadaten an eine entsprechende Form gehört zu den anspruchsvolleren Modifikationen. Auch die Informationen über Materialien und Bauteile können je nach dem Stand der Daten einen gewissen Aufwand an Recherche verursachen.

Ist man einmal im Besitz aller notwendiger Eingabedaten in den entsprechenden Formaten, ist die Bedienung der Programme und die Durchführung von Simulationen und Berechnungen etwa gleich aufwendig.

Es ist allerdings auf Unsicherheitsfaktoren bei der Eingabe und den Berechnungsverfahren hinzuweisen:

Die Berechnungsverfahren, denen österreichische ÖNORMEN zugrunde liegen, beziehen die Ergebnisse, aber auch einige Berechnungsparameter auf Bruttoflächen, während in dem Simulationswerkzeug Netto-Flächen herangezogen werden. Die in der Methodik erwähnte Angleichung kann hier Abhilfe schaffen, ist aber nicht exakt.

In den stationären Verfahren werden komplexe thermische Zusammenhänge wie das Wärmespeichungsvermögen von verschiedenen Bauteilen grob vereinfacht anhand von Multiplikationsfaktoren berücksichtigt, während in der Simulation diese durch detaillierte Angaben bei Baustoffen und internen Bedingungen angegeben wird. Eine Unsicherheit bzw. Berechnungsdivergenz ist durch diese Problematik sicherlich gegeben.

Eine weitere Unsicherheit besteht durch die Berücksichtigung bzw. Nicht-Berücksichtigung von Wärmebrücken. Die stationären Verfahren berücksichtigen diese durch eine pauschalierende Faktorenberechnung (lt. ÖNORM B8110-6). In der Dokumentation der Simulationssoftware findet sich hierzu kein Eintrag, es wird allerdings von Tilmans und Van Orshoven³⁷ darauf hingewiesen, dass TAS mit der EN ISO 10211 ("Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen") validiert wurde.

Die oftmalige Anwendung der Berechnungswerkzeuge - für diese Arbeit wurden insgesamt 702 Berechnungen durchgeführt - kann zu verschiedenen Fehlern führen (vgl. Kaiser 2009), daher war es notwendig wiederholt Überprüfungen und gegebenenfalls Korrekturen vorzunehmen. Es stellt sich heraus, dass bei wiederholter Eintragung von Eingabedaten - die zur Modifikation verschiedenerer Szenarien leider nur bedingt automatisierbar ist - zwangsläufig immer wieder Fehler gemacht werden. Trotz schärfster Überprüfung der Resultate kann diesbezüglich eine Fehlerquelle nicht absolut ausgeschlossen werden.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor tritt dadurch auf, dass die stationären Verfahren die vorherrschenden thermischen Bedingungen in nicht konditionierten, angrenzenden Räumen nicht berücksichtigen. In der Simulation sind für die Berechnungen Angaben über den Luftwechsel und die Größe der angrenzenden adiabatischen oder unbeheizten Räume beziehungsweise Gebäude erforderlich.

Trotz all dieser Unsicherheiten zeigt sich aber ein Zusammenhang der Resultate für den Heizwärmebedarf. Zwar liegen die Ergebnisse der stationären Verfahren größtenteils über den Simulationsergebnissen, in den entsprechenden Gegenüberstellungen zeigt sich aber ein starker linearer Zusammenhang. Durch Angabe des Steigungsverhältnisses der Korrelationsgerade ist sogar denkbar, dass eine grobe Abschätzung des Ergebnisses von einem Verfahren anhand der Resultate eines anderen Verfahrens vorgenommen werden kann. Die Entwicklung von entsprechenden Konversationsfaktoren ist denkbar. Dies muss aber auf weiteren detaillierten Untersuchungen der

Die Teilparameter - wie in den Resultaten dargestellt - zeigen bei Lüftungswärmeverlusten und internen Gewinnen ebenfalls einen konsistenten Zusammenhang, während die relativen Veränderungen von Transmissionswärmeverlusten und solaren Gewinnen größeren Schwankungen unterliegen. Die Transmissionswärmeverluste unterliegen in ihrer Größe -

³⁷ Tilmans, A.; Van Orshoven, 2010

aber offenbar auch bei der Abweichung ihrer Resultate in den unterschiedlichen Verfahren - der thermischen Qualität der Bauteile, während die solaren Gewinne durch Art und Ausrichtung der Verglasung höhere oder geringere Abweichungen der Resultate voneinander verursachen.

Generell werden die Transmissionswärmeverluste in den stationären Berechnungsverfahren höher eingestuft, als in der Simulation, während Lüftungswärmeverluste, solare und interne Gewinne eher geringer eingeschätzt werden.

Die Fragestellung, welches der verwendeten Verfahren näher an der Realität liegt, kann anhand dieser Arbeit nur spekulativ beantwortet werden. Es liegt allerdings nahe, dass die komplexeren Rechenalgorithmen der Simulation und deren viel feiner aufgelöste Eingabedaten die Realität besser annähern können. Der Hersteller der Simulationssoftware bewirbt diese mit sehr aussagekräftigen Beispielen, die eindrucksvoll die Realitätsnähe der Ergebnisse dokumentieren sollen (z.B. Abbildung 4.1.)

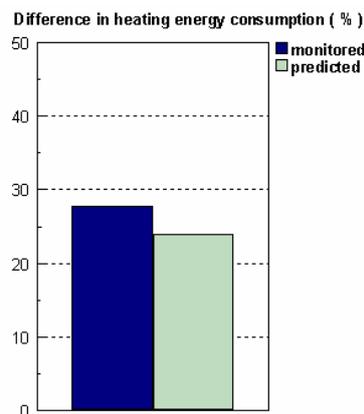


Abbildung. 4.1.: Nähe des simulierten Heizwärmebedarf ("predicted") zum gemessenen ("monitored") eines von EDSL aufgestellten Referenzbeispiels (EDSL 2010c; <http://www.edsl.net/main/Software/Designer/Validation.aspx>)

Wie im Anfang der Arbeit dargestellt, sind Energiekennzahlen von einer Vielzahl von Kennwerten abhängig und daher kann die Realität vermutlich von keinem Verfahren völlig exakt berechnet werden.

Die Stärken der Simulation gegenüber den stationären Verfahren liegen somit in der größeren Nähe zur Realität und in der freien Einstellbarkeit aller beeinflussenden Faktoren. Vor allem die Untersuchung der Konsequenzen einzelner Entwurfschritte und -entscheidungen für die künftige Performance der Gebäude lässt sich mit der dynamischen Simulation viel flexibler und konsistenter durchführen.

4.2. Schlussfolgerungen

Anhand der Anwendung und der Ergebnisse der stationären Berechnungen und dynamischen Simulationen in dieser Arbeit kann man folgende Sachverhalte festhalten:

- Prinzipiell erscheint die Simulation durch das stündliche Berechnungsverfahren der Realität am nächsten zu liegen. Die stationären Verfahren errechnen in einem Großteil der Fälle andere Werte, von denen die Mehrzahl höher liegt, als die Resultate der Simulationen. Für die Simulation gibt es Referenzfälle, die zeigen, dass das Berechnungsverfahren nahe an der Realität liegt. Die stationären Verfahren dienen jedoch per se als Vergleichsbasis zwischen Gebäuden, ohne die Realität zwangsläufig nachbilden zu wollen.
- Es besteht eine Korrelation zwischen den Simulationsergebnissen und den stationären Berechnungen, wie sowohl bei den bestehenden Objekten als auch den simplen Volumina gezeigt wurde.

Die Fragestellungen am Beginn der Arbeit können somit folgendermaßen beantwortet werden:

1. Welche Unterschiede sind bei Gebäude-Energiekennzahlen zu erwarten, wenn diese mit unterschiedlichen Verfahren berechnet werden? Ist ein Vergleich überhaupt möglich und sinnvoll?

Die Unterschiede zwischen den Resultaten von dynamischen Simulationen und stationären Berechnungen des Heizwärmebedarfs unterliegen einer linearen Korrelation, wie die Resultate gezeigt haben. Der absolute Unterschied zwischen den Ergebnissen wird mit schlechterer Qualität der thermischen Hülle größer, bleibt relativ gesehen jedoch mit hoher Bestimmtheit im Rahmen dieser linearen Korrelation.

Ein Vergleich ist unter gewissen Einschränkungen möglich und sinnvoll:

Dass die Ergebnisse völlig gleich sind, ist nicht zu erwarten, da sowohl Eingangsparameter wie auch Berechnungsmethoden sehr unterschiedlich sind. Sinnvoll ist ein Vergleich für die Weiterentwicklung und gegenseitige Validierung auf jeden Fall.

2. Was muss bei einem Vergleich der Verfahren und Resultate besonders beachtet werden? Wie kann ein Vergleich systematisch und richtig durchgeführt werden?

Es wurde im Rahmen der Arbeit gezeigt, wie die Eingabeparameter richtig angepasst werden können. Um einen Vergleich systematisch und richtig durchführen zu können, ist ein großes Sample an Referenzfällen sinnvoll, da diese ein Auffinden von Bedienungsfehlern erleichtern und große Sicherheit betreffend die Ergebnisse gewährleisten. Eine Variation der Eingabeparameter ist ebenso ein sinnvoller Gedanke.

3. Wo liegen die sinnvollen Anwendungsbereiche der beiden unterschiedlichen Verfahren und wie verhält sich geltendes Recht hierzu?

Die Anwendungsbereiche der beiden Verfahren sind nicht strikt von einander abzugrenzen. Für Planungszwecke scheint eine dynamische Simulation besser geeignet, da die Flexibilität höher ist - vor allem was die Beantwortung von Fragen angeht, die von der reinen Ermittlung von Energiekennzahlen abweicht (beispielsweise Ermittlung der Innentemperatur zu einem bestimmten Zeitpunkt), während die stationären Verfahren tendenziell nur zum Nachweis einer Kennziffer dienen, die nicht besonders aussagekräftig ist. Mit der Simulation lassen sich Extremfälle und beliebige Eingabeoptionen testen, was im Sinne eines Entwurfsprozesses als gutes Hilfsmittel erscheint. Nur in eingeschränktem Maße lassen sich solche entwurfs-unterstützenden Kalkulationen auch mit den stationären Verfahren berechnen.

In Österreich ist derzeit die Verwendung der stationären Berechnungsverfahren für die meisten bewilligungspflichtigen Neubau- und Umbaumaßnahmen nach rechtlichen Gesichtspunkten erforderlich, damit haben sich diese Verfahren - zwangsläufig - durchgesetzt. Die Rahmenbedingungen für eine Flexibilisierung der nationalen rechtlichen Vorschriften betreffend Berechnungsverfahren wären mit der EBPD und den entsprechenden Europanormen vorhanden, jedoch ist es wahrscheinlicher, dass die - für österreichische Verhältnisse erst kürzlich eingeführten - Berechnungsvorschriften weiterhin verpflichtend sein werden.

4.3. Zukünftige Forschung

Die in dieser Diplomarbeit angeschnittene Thematik eines Vergleichs von stationären und dynamischen Berechnungsverfahren für thermische Energiekennzahlen von Gebäuden ist einem laufenden Wandel unterworfen, da sich Verfahren und Normen weiterentwickeln und auch die Anforderungen für Gebäude zunehmend strenger werden.

Anhand der erstellten Methodik und des großen Datenpools, der laufend erweitert werden soll und in den weitere reale Gebäude eingepflegt werden sollen, sollen in Hinkunft die Einwirkungen der Einzelparameter von Gebäuden parametrisch untersucht werden, d.h. dass die Ergebnisabweichungen der Verfahren anhand von Modifikation bestimmter Eingabedaten überprüft werden. Anhand dieser Studien könnten Abhängigkeiten ermittelt und festgestellt werden, wie hoch die Elastizität bestimmter Veränderungen ist, das heißt, ob sich eine Veränderung stärker oder schwächer auf das Gesamtergebnis auswirkt.

Eine detailliertere Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse, beispielsweise aufgeteilt auf Monate, und unter Heranziehung anderer Klimadaten ist ebenso denkbar. Die Abweichungen, die durch Anwendung des umgekehrten - in dieser Arbeit nicht angewandten - Konversationswegs vom Klimadaten (von groben Daten zu feinen Daten) entstehen sowie dessen Unsicherheiten können anhand der vorliegenden Daten ebenso untersucht werden wie auch die Anwendung von der Norm abweichender interner Bedingungen, die auf realen Messungen beruhen.

5. Quellenverzeichnis

5.1. Literatur

5.1.1. Literaturangaben

Battisti, K.; Stosch, G.; 2010:

"Archiphysik 8 - Bauphysikalische Berechnungen für Energieeffiziente Gebäude" Handbuch zur Software Archiphysik Version März 2010;
Abrufbar unter <http://www.archiphysik.at>

Bednar, H.; 2009

"Überblick Energieausweis"

Folienpräsentation im Rahmen der LVA Bauökologie im WS2009, an der TU Wien

CEN, 1999

"EN 832 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude"

Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2008

CEN, 2008a

"EN ISO 13790 - Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung"

Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2008

CEN, 2008b

"EN ISO 10211, April 2008. Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen"

Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 2008

Demacsek, C.; Mikulits, R. [Hrsg.], 1999:

"OIB - Leitfaden für die Berechnung von Energiekennzahlen"

Version März 1999, Nummer OIB-382-010/99

Ebert, T.; Eßig, N.; Hauser G., 2010:

"Zertifizierungssystem für Gebäude - Nachhaltigkeit bewerten, Internatonaler Systemvergleich, Zertifizierung und Ökonomie"

Detail Green Books, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co KG, 2010, München

EDSL, 2010a:

A-Tas, Version 9.1.4.2

Environmental Design Solutions Limited, Grossbritannien

EDSL, 2010b:

"Handbuch zu A-TAS"

Environmental Design Solutions Limited, Grossbritannien

EDSL, 2010c:

"<http://www.edsl.net>"

Environmental Design Solutions Limited, Grossbritannien

EU (Hrsg.), 1992:

" ABI. C 191 vom 29.07.1992 Vertrag von Maastricht"

EU (Hrsg.), 2002:

"2002/91/Eg EPBD EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäude"

EU (Hrsg.), 2005:

"GRÜNBUCH über Energieeffizienz oder Weniger kann mehr sein"

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2005/com2005_0265de01.pdf

EU (Hrsg.), 2010:

"2010/31/EU EPBD EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden "

(Neufassung)

Exikon - Arch. Dipl.Ing. B. Sommer, 2009:

"Angebotsliste für Energieausweise ab April 2009"

Fraunhofer-IRB [Hrsg.]

"Masea-Datenbank"

<http://www.irb.fraunhofer.de/denkmalpflege/masea.jsp>

Freymuth, H.; Jenisch R. [et.al.] 2002:

"Lehrbuch der Bauphysik, Schall-Wärme-Feuchte-Licht-Brand-Klima"

5. überarbeitete Auflage 2002,

B.G.Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden

Grabenwarter, C.;Griller, S.;Holoubek, M., 2008:

"Europäisches und öffentliches Wirtschaftsrecht I"

6. Auflage, Springer - Wien New York,2008

Hatzenbichler et.al., 2007:

"Endbericht: Evaluierung der Umsetzung des Klimaschutzprogrammes (KliP) der Stadt Wien"

abgerufen unter <https://www.wien.gv.at/umwelt/klimaschutz/rf/klip-endbericht.rtf>, Dez.2010

Hausladen G.; Tichelmann M., 2009:

"Ausbau Atlas - Integrale Planung, Innenausbau, Haustechnik"

Birkhäuser, Stuttgart, 2009

Holzapfel, A.; Steixner, D.; Vonklich, A.[Hrsg.], 2009:

"Energieausweis in der Praxis - Technische und Rechtliche Umsetzung in Österreich"

Edition ÖVi Immobilienakademie, 2009, Wien ISBN 978-3-902266-18-7

Kaiser, J., 2009

"Energieausweis - Tickende Zeitbomben"

erschienen in Immo-Report, 03/2009

Kiesel, K. 2010

"The impact of user and system assumptions on energy simulation results"

Diplomarbeit an der Abteilung Bauphysik und Bauökologie, TU Wien, 2010

Mahdavi, A. 1989

"Traditionelle Bauweisen in wissenschaftlicher Sicht"

erschienen in Bauforum, 1989

Meteotest 2007:

"Meteonorm Version 6.0; Meteotest Bern"

Mikulits R., 2010:

"Die Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie und ihre Auswirkungen auf die OIB-Richtlinie 6"

Seminar der Arch-Ing Akademie, 22.11.2010, Kammer der Architekten und Ingenieure Wien

Pöhn, C.; Pech, A.; Bednar, T.; Streicher W., 2007:

"bauphysik - Erweiterung 1: Energieeinsparung und Wärmeschutz, Energieausweis - Gesamtenergieeffizienz"

Springer - Wien New York, 2007

ISBN 978-3-211-25722-7

Pöhn, C.; Pommer, G., 2010.:

"Energiekennzahlen und Energieausweis in Österreich; Rückblick – Überblick - Ausblick"

Präsentation bei der BauSim2010, 22-24.09.2010, TU Wien.

OIB [Hrsg], 2007a:

"OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz", Ausgabe April 2007,

herausgegeben vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB), Nummer OIB-300.6-038/07

Abrufbar unter <http://www.oib.or.at>

OIB [Hrsg], 2007b:

"Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden" Version 2.6, April 2007

herausgegeben vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB)

Abrufbar unter <http://www.oib.or.at>

ÖNORM [Hrsg], 2010

"Ö-Norm B 8110 Teil 1 - Teil 6 Wärmeschutz im Hochbau"

herausgegeben vom Österreichischen Normungsinstitut

Republik Österreich 2006:

"EAVG-Energieausweis-Vorlage-Gesetz" (Bundesgesetz über die Pflicht zur eines Energieausweises beim Verkauf und bei der In-Bestand-Gabe von Gebäuden und Nutzungsobjekten)

BGBL.I Nr. 137/2006

Stadt Wien, 2009:

"Wärmeschutzanforderungen Wohnbauförderung-NEUBAU"

<https://www.wien.gv.at/wohnen/wohnbautechnik/ahs-info/pdf/waermeschutz-neubau.pdf> (abgerufen am 12.Dezember 2010)

Tilmans, A.; Van Orshoven, 2010

"Software and atlases for evaluating thermal bridges"

http://www.buildup.eu/system/files/content/P198_Software_and_atlases_for_evaluating_thermal_bridges_0.pdf (abgerufen am 14.Dezember 2010)

UNO [Hrsg.] 1992:

Abschlussbericht Klimakonferenz 1992 in Rio de Janeiro

van Dijk, D. , Spiekman, M., 2007:

"CEN STANDARDS FOR THE EPBD – CALCULATION OF ENERGY NEEDS FOR HEATING AND COOLING"

http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5CIAQVEC2007%5CVanDijk.pdf (abgerufen am 05.November 2010)

5.1.2. weitere thematische Ressourcen

<http://www.archiphysik.at>

Webseite des Softwareherstellers mit Hintergrundinformationen zum Programm

<http://www.diag.org.uk/>

Directive * Implementation * Advisory * Group

EU Energy Performance of Buildings

<http://www.edsl.net>

Webseite des Softwareherstellers mit Hintergrundinformationen zum Programm und zu den dahinterliegenden Berechnungsverfahren.

<http://www.epbd-ca.org/>

Energy Performance of Buildings Directive

Directorate General for Energy and Transport

Pessenlehner, W.:

"Gebäudemorphologie, Transparenz und Energieperformance"

Diplomarbeit an der Abteilung Bauphysik und Bauökologie, TU Wien, 2003

5.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildungs-Nr.	Beschreibung	Quelle	Seite
Abbildung 1.1.	Thermische Einflüsse auf ein Gebäude	EDSL2010b	13
Abbildung 1.2.	Energieverbrauch in der EU: Etwa 50% wird durch Gebäude verursacht	FA. Kingspan, 2010	17
Abbildung 1.3	"Level Playing Field for different methods to calculate the energy use for heating and cooling"	Van Dijk & Spiekman, 2007	26
Abbildung 1.4.	Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie in Österreich	Holzapfel et al. 2009	27
Abbildung 2.0.	Flussdiagramm über Berechnungsverfahren	EN ISO13790	37
Abbildung 2.1	Der Heizwärmebedarf im Rahmen des Gebäudes	Bednar 2009	38
Abbildung 2.2.	virtuelles Modell O1	eigene	41
Abbildung 2.3.	Sicht auf die Südfassade von O1	eigene	41
Abbildung 2.4.	Grundriss des Regelgeschosses O1	eigene	42
Abbildung 2.5.	Lageplan O1	wien.at	42
Abbildung 2.6.	Sicht auf die Nordfassade von O2	eigene	43
Abbildung 2.7.	virtuelles Modell O2	eigene	43
Abbildung 2.8.	Grundriss Regelgeschoss O2	eigene	44
Abbildung 2.9.	Lageplan O2	Wien.at	44
Abbildung 2.10.	Sicht auf die Westfassade von O3	eigene	45
Abbildung 2.11.	virtuelles Modell O3	eigene	45
Abbildung 2.12.	Grundriss Regelgeschoss O3	eigene	46
Abbildung 2.13.	Lageplan O3	Wien.at	46
Abbildung 2.14.	virtuelles Modell O4	eigene	47
Abbildung 2.15.	Sicht auf die Ostfassade von O4	eigene	47
Abbildung 2.16.	Grundriss Regelgeschoss O4	eigene	48
Abbildung 2.17.	Lageplan O4	Wien.at	48
Abbildung 2.18.	Sicht auf die Nordfassade von O5	eigene	49
Abbildung 2.19.	virtuelles Modell O5	eigene	49
Abbildung 2.20.	Regelgeschoss O5	eigene	50
Abbildung 2.21.	Lageplan O5	Wien.at	50
Abbildung 2.22.	Eckansicht O6	eigene	51
Abbildung 2.23.	virtuelles Modell O6	eigene	51
Abbildung 2.24.	Grundriss Regelgeschoss O6	eigene	52
Abbildung 2.25.	Lageplan O6	Wien.at	52
Abbildung 2.26.	Grundriss Regelgeschoss Objekt O7	eigene	53
Abbildung 2.27.	Eckansicht O7	eigene	53
Abbildung 2.28.	virtuelles Gebäudemodell O7	eigene	54
Abbildung 2.29.	Lageplan Objekt O7	Wien.at	54
Abbildung 2.30.	Straßenfassade O8	eigene	55
Abbildung 2.31.	virtuelles Gebäudemodell O8	eigene	55
Abbildung 2.32.	Lageplan O8	Wien.at	56
Abbildung 2.33.	Grundriss Regelgeschoss Objekt O8	eigene	56
Abbildung 2.34.	Mögliche Bauteilorientierungen bei OIB, APH und SIM	eigene	65

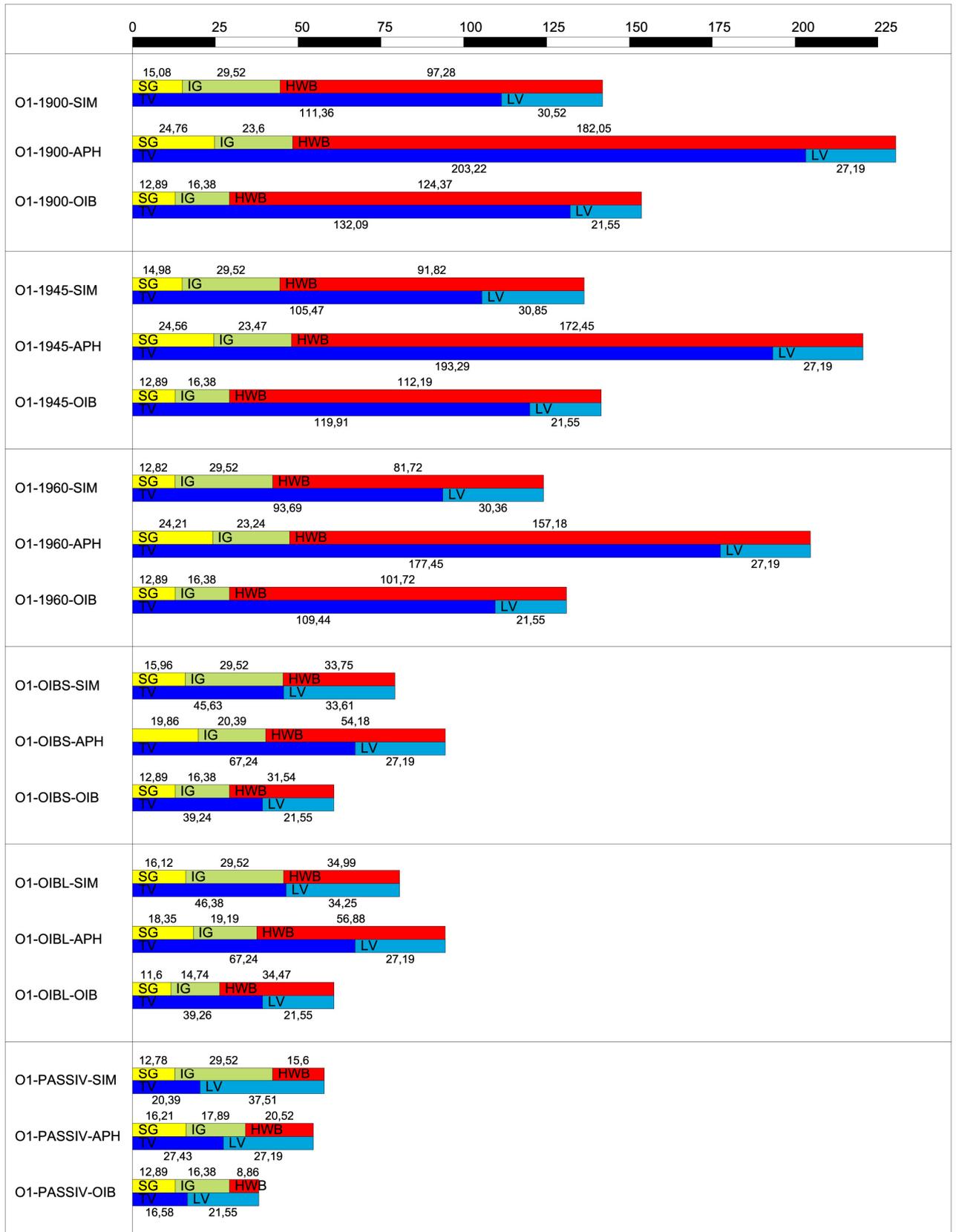
Abbildung 2.35.	U-Werte der verwendeten Bauteile	eigene	65
Abbildung 2.36.	Aufteilung Österreichs in die 7 verschiedenen Klimaregionen	Archiphysik 2010	73
Abbildung 2.37.	Zusammenhang zwischen Feinheit der Klimadaten und Richtung einer mathematischen Synchronisierung der Klimadaten	eigene	76
Abbildung 2.38.	Temperaturverlauf von wien-meteonorm (durchschnittliche Tagestemperaturen).	eigene	85
Abbildung 2.39.	Verlauf der Außentemperatur über das Jahr in den Klimadaten nach wien_meteonorm für SIM (blau, Stundendaten), APH (rot, Monatsdatendaten) und OIB (grün, Heizperiodendaten). Temperatur in °C.	eigene	87
Abbildung 2.40.	Berechnungsschema für die Generierung von Wetterdaten für APH und OIB aus den Wetterdaten von SIM	eigene	88
Abbildung 2.41.	beheizte Zone in Objekt O1 (anhand von Schnitt und Grundriss des Gebäudes)	Gebäudepläne modifiziert	95
Abbildung 3.1.	Ergebnisse der HWB-Berechnungen für die Objekte O1-O8 mittels SIM (rot), APH (blau) und OIB (gelb). Für jedes Objekt wurden 6 Bauteilsets gerechnet (...)	eigene	99
Abbildung 3.2.	Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM-APH und SIM-OIB.	eigene	100
Abbildung 3.3.	Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von APH und OIB	eigene	100
Abbildung 3.4.	Boxplot der Relativen Abweichungen des Heizwärmebedarfs von APH und OIB zu SIM	eigene	101
Abbildung 3.5.	RA_{APH} , aufgeteilt nach Bauteilsets und freistehenden und flankierten Bauten.	eigene	102
Abbildung 3.6.	RA_{OIB} , aufgeteilt nach Bauteilsets und freistehenden und flankierten Bauten.	eigene	102
Abbildung 3.7.	Balkendiagramm-Bilanz für O1, Bauteilset MFH1900, alle Berechnungsverfahren. SG...solare Gewinne, IG...Interne Gewinne, HWB...Heizwärmebedarf, TV...Transmissionswärmeverluste, LV...Lüftungswärmeverluste; Einheit: kWh.m ⁻² .a ⁻¹	eigene	103
Abbildung 3.8.	Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten in % [γ], arithmetische Mittelwerte der verschiedenen Bauteilsets, alle Verfahren	eigene	104
Abbildung 3.9.	Relative Abweichung der solaren Gewinne (linker Boxplot) und der internen Gewinne (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM	eigene	105
Abbildung 3.10.	Relative Abweichung der Transmissionswärmeverluste (linker Boxplot) und Lüftungswärmeverluste (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM.	eigene	105
Abbildung 3.11.	Relative Abweichungen von APH zu SIM, für Q_s, Q_i, Q_T und Q_v (v.o.n.u) aufgeteilt nach Bauteilsets freistehenden und nicht-freistehenden Bauten	eigene	107

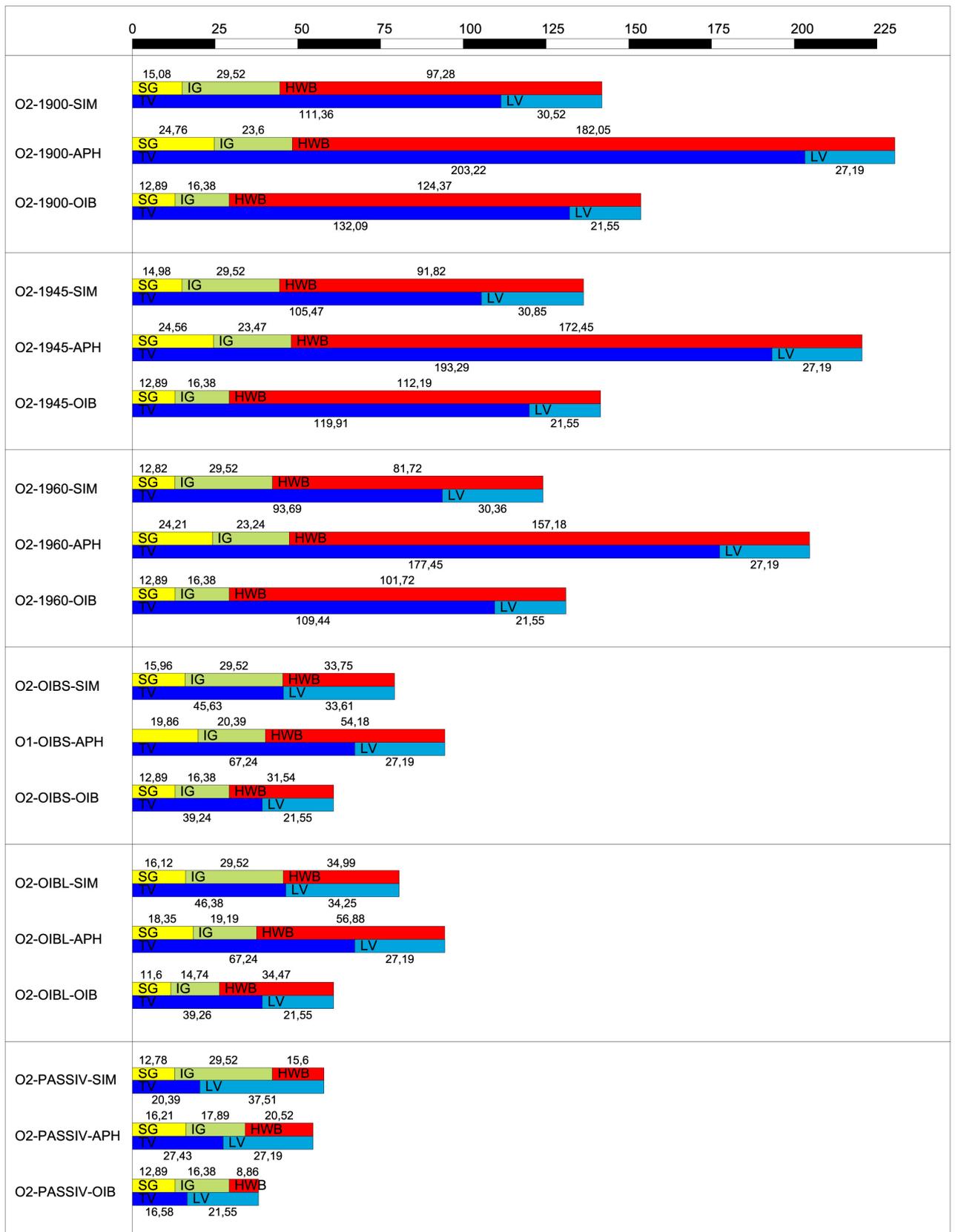
Abbildung 3.12.	Relative Abweichungen von OIB zu SIM, für Q_S , Q_i , Q_T und Q_V (v.o.n.u) aufgeteilt nach Bauteilsets und freistehenden und nicht-freistehenden Bauten	eigene	108
Abbildung 3.13.	Absolutwerte der stationären Verfahren und der Simulation für solare Gewinne (SG), interne Gewinne (IG), Transmissionswärmeverluste (TV) und Lüftungswärmeverluste (LV). Alle Werte in $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	eigene	110
Abbildung 3.14.	Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM-APH und SIM-OIB für die Szenarien der einfachen Volumina.	eigene	111
Abbildung 3.15.	Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM und APH für die Szenarien der einfachen Volumina.	eigene	112
Abbildung 3.16.	Boxplot über die relativen Abweichungen von APH und OIB zu SIM bei den simplen Volumina.	eigene	112
Abbildung 3.17.	Relative Abweichungen des HWB_{APH} zu HWB_{SIM} gesamt und nach verschiedenen Bauteilsets.	eigene	113
Abbildung 3.18.	Relative Abweichungen des HWB_{OIB} zu HWB_{SIM} gesamt und unterteilt nach verschiedenen Bauteilsets.	eigene	114
Abbildung 3.19.	Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von APH gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.	eigene	114
Abbildung 3.20.	Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.	eigene	115
Abbildung 3.21.	Punkt-Diagramm über den Zusammenhang der Ergebnisse von SIM-APH, aufgeteilt entsprechend Tabelle 2.10.	eigene	116
Abbildung 3.22.	Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von APH gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.	eigene	117
Abbildung 3.23.	Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 2.10.	eigene	117
Abbildung 3.24.	Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 3.4.	eigene	118
Abbildung 3.25.	Relative Abweichung der solaren Gewinne (linker Boxplot) und der internen Gewinne (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM	eigene	119
Abbildung 3.26.	Relative Abweichung der Transmissionswärmeverluste (linker Boxplot) und Lüftungswärmeverluste (rechter Boxplot) bei APH und OIB in Bezug zu SIM.	eigene	119
Abbildung 3.27.	Relative Abweichungen des Heizwärmebedarfs von OIB gegenüber SIM gesamt, unterteilt nach den Gruppen aus Tabelle 3.4.	eigene	121

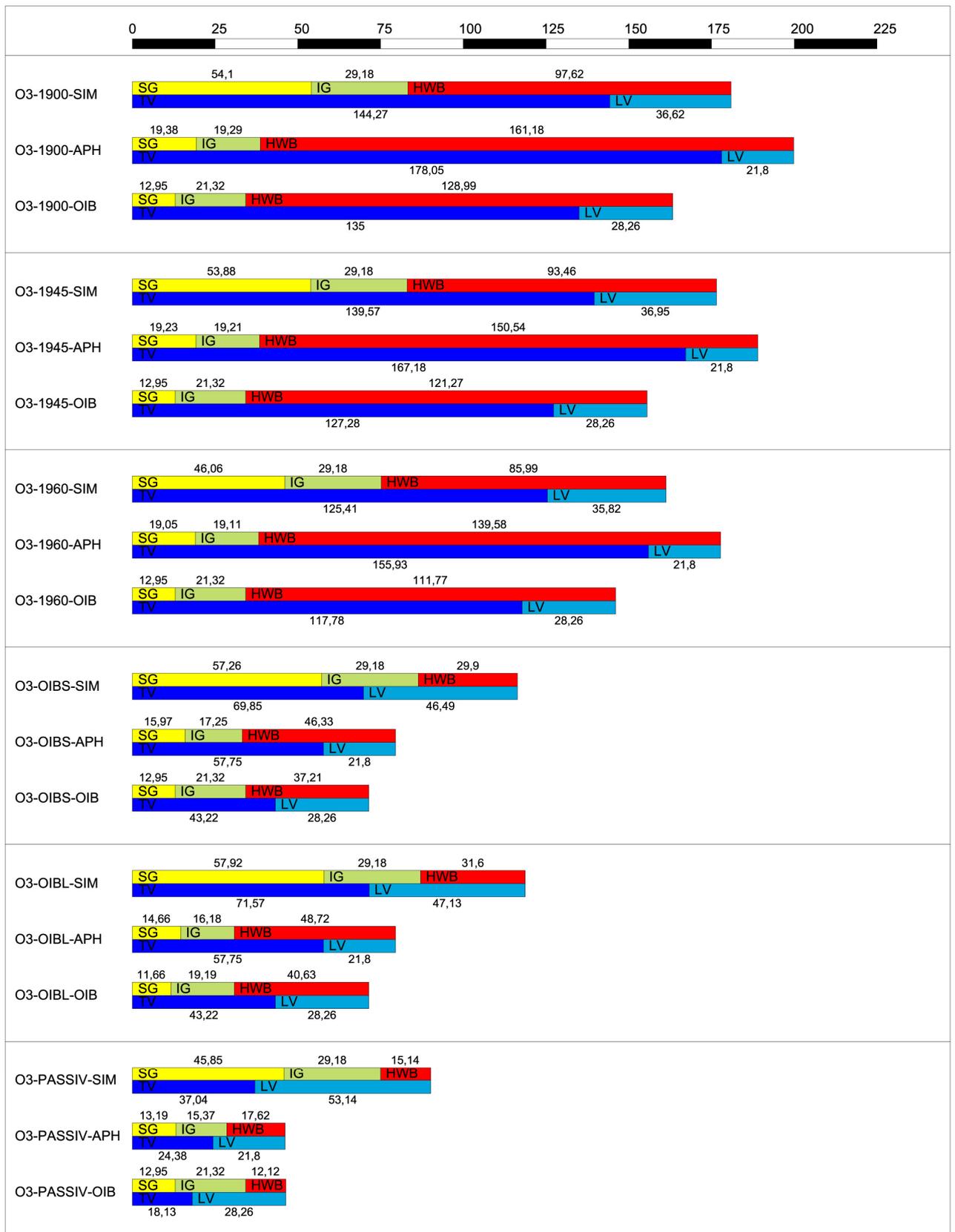
Abbildung 4.1.	Nähe des simulierten Heizwärmebedarf ("predicted") zum gemessenen ("monitored") eines von EDSL aufgestellten Referenzbeispiels	EDSL 2010c	125
----------------	--	------------	-----

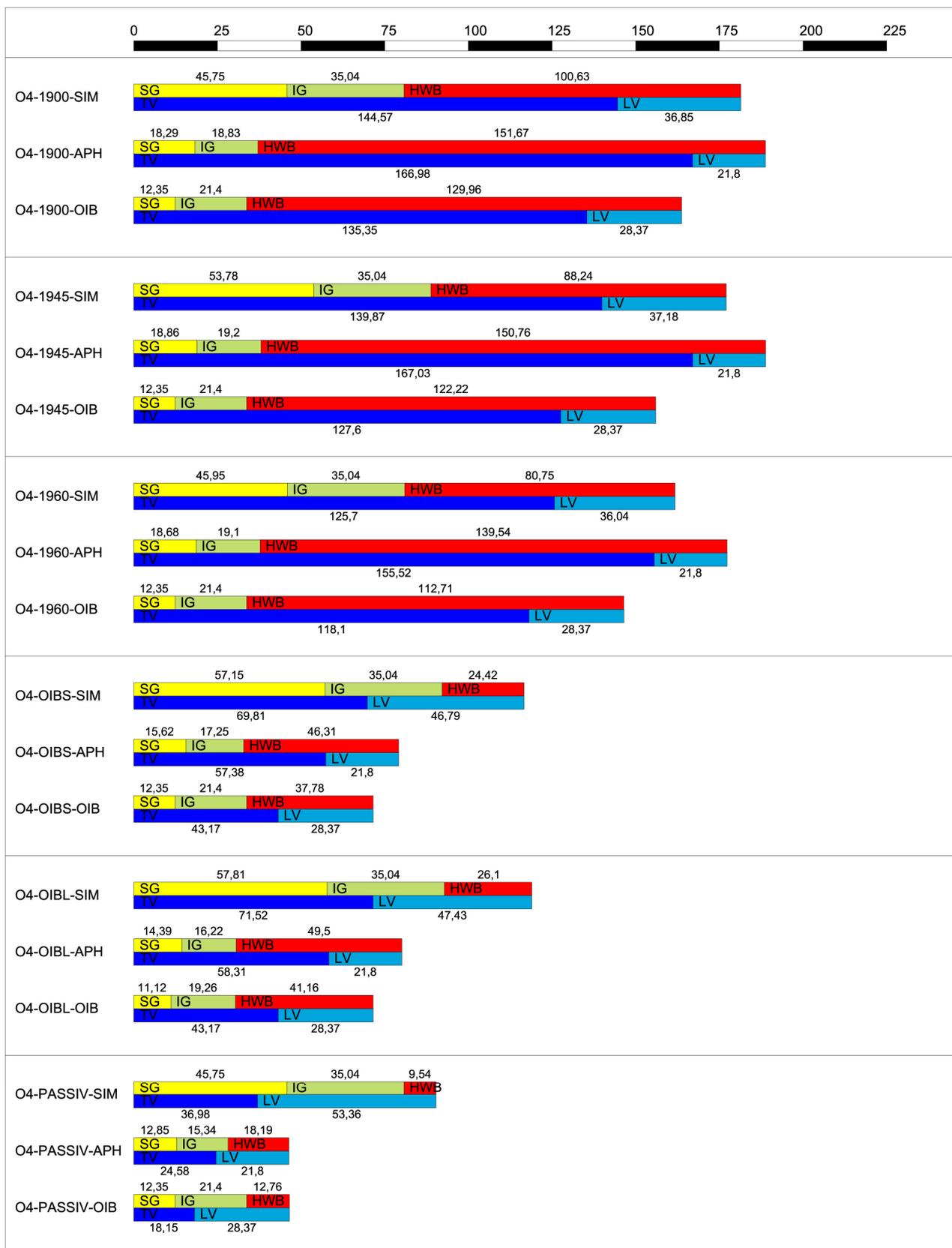
6. Anhänge

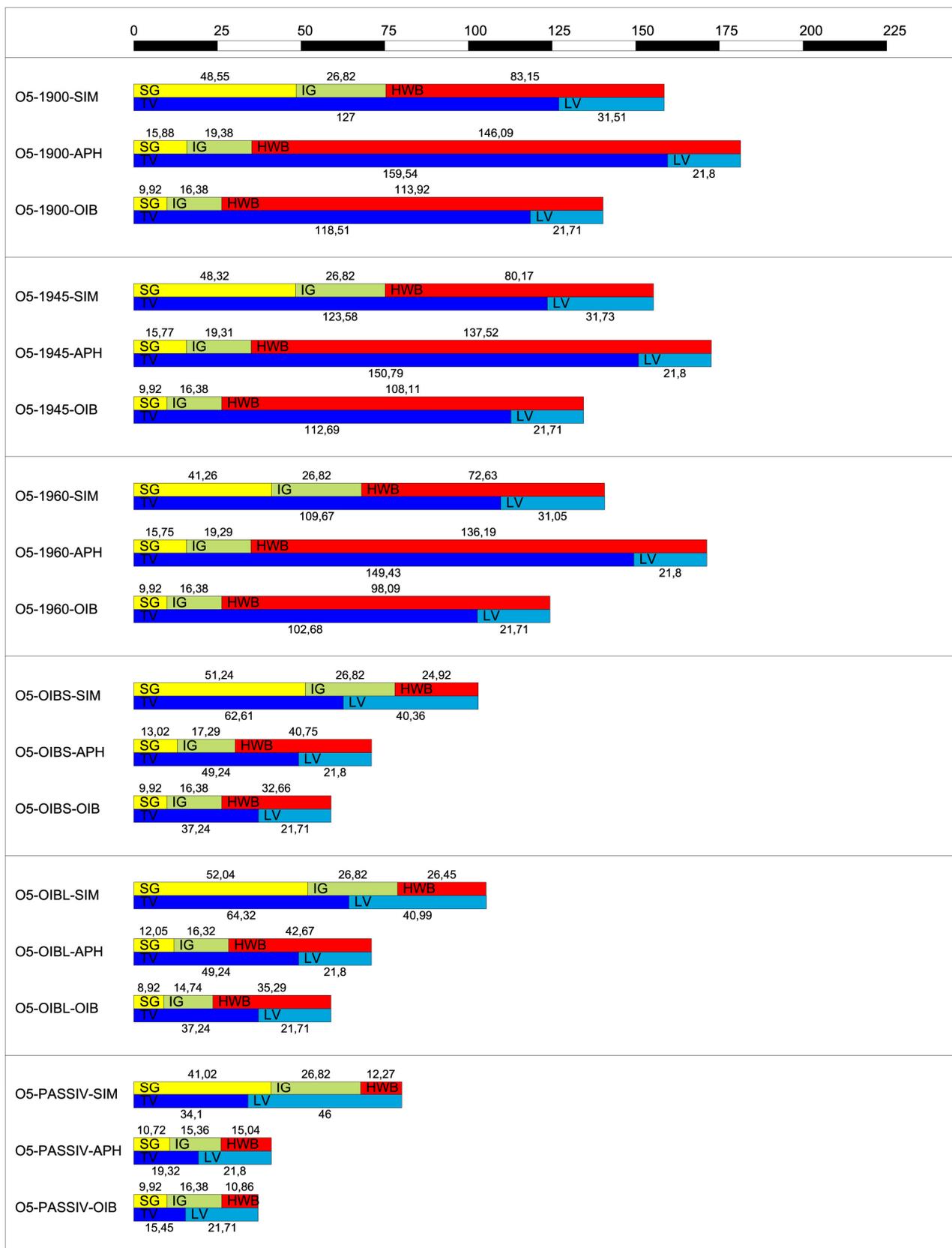
6.1. detaillierte Resultate der realen Objekte - Bilanzgraphen

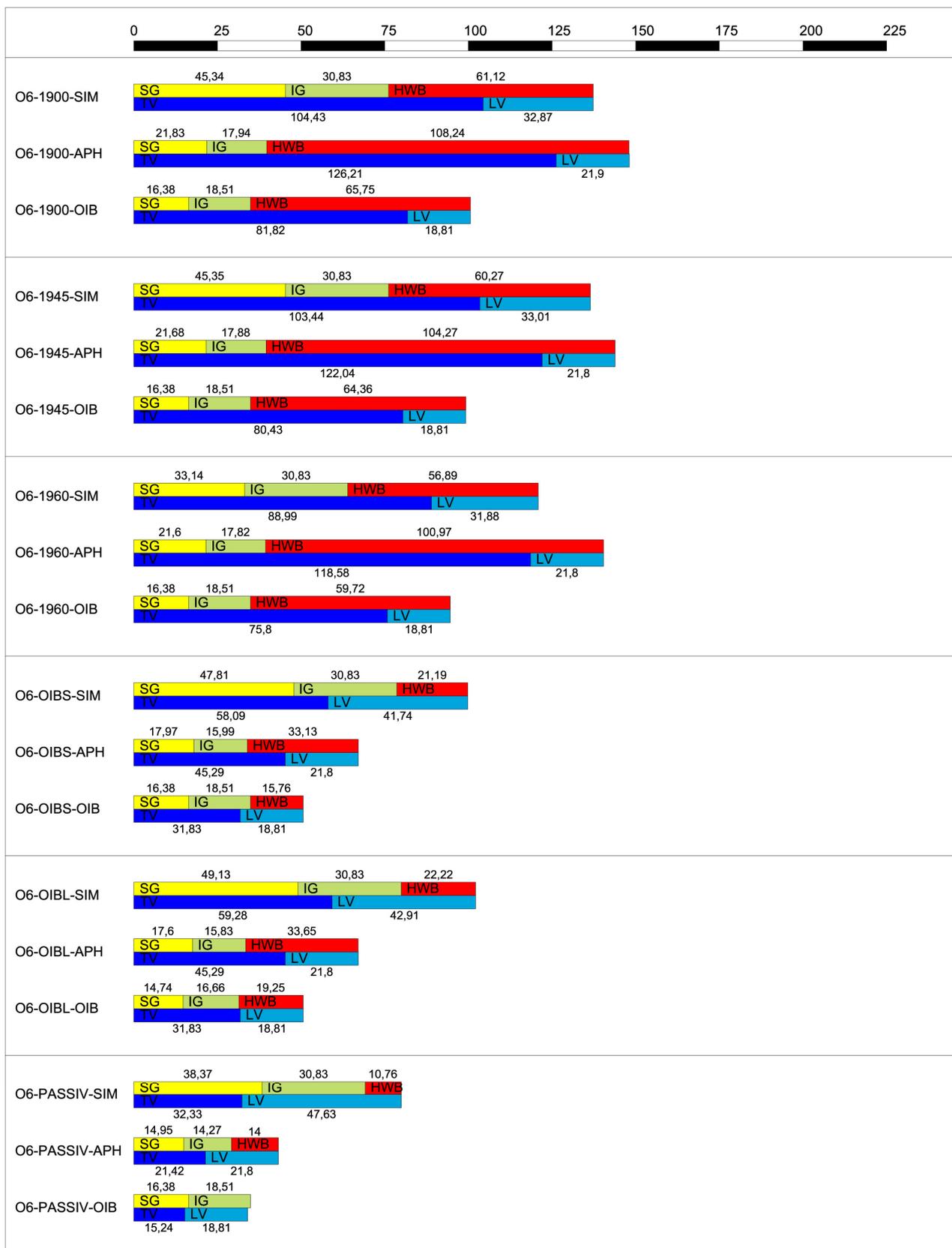


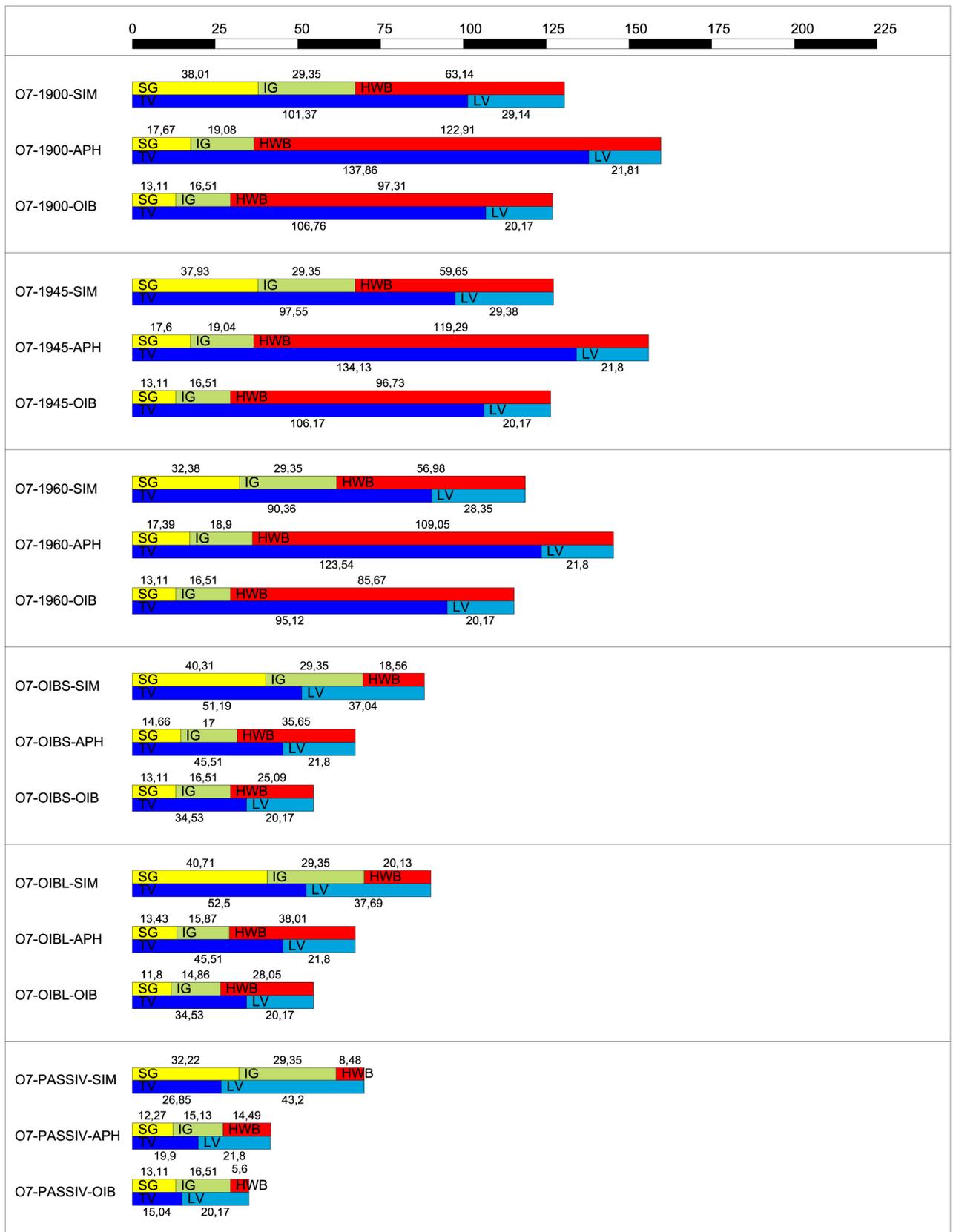


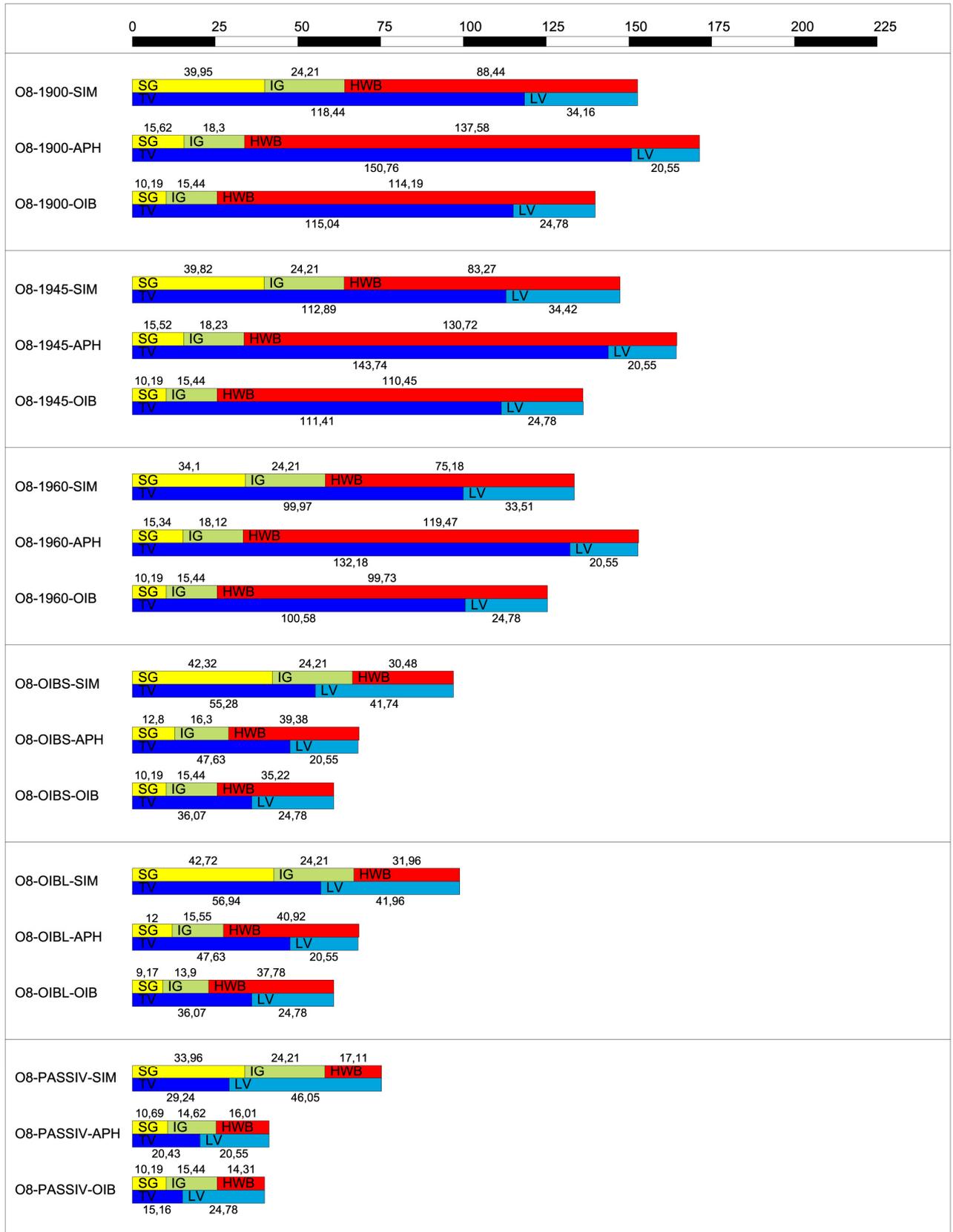












6.2. Bauteilsets

Abkürzungen in den folgenden Tabellen:

d[m]	...Bauteildicke in Metern
λ	...Wärmeleitfähigkeit in $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
ρ	...Dichte in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
μ	...Diffusionswiderstandsfaktor
c	...Spezifische Wärmekapazität in $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
SRi	...Solar Reflectance internal in %
SRe	...Solar Reflectance external in %
LRi	...Light Reflectance internal in %
LRe	...Light Reflectance external in %
Ei	...Emissivity internal in %
Ee	...Emissivity external in %

OIB2007s

Außenwand

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRi	SRe	LRi	LRe	Ei	Ee
Innenputz	0,015	0,70	900	1200	10	0,6	0,6	0	0	0,9	0,9
Mauerwerk	0,200	1,25	820	2200	10	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9
Dämmung	0,100	0,04	1030	50	1	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9
Außenputz	0,150	1,80	1110	2000	35	0,45	0,45	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,55	0,400	0,9	0,9	0,372	7,952

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,339	0,35
upward	0,346	0,353
downward	0,33	0,345

Innenwand

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRi	SRe	LRi	LRe	Ei	Ee
Innenputz	0,025	0,630	900	1200	10	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9
Leichtmauerwerk	0,150	0,113	1290	500	5	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9
Innenputz	0,025	0,630	900	1200	10	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,711	4,070

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,6	0,634
upward	0,622	0,646
downward	0,572	0,619

Oberste Geschossdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRi	SRe	LRi	LRe	Ei	Ee
Innenputz	0,020	0,700	900	1200	10	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Stahlbetondecke	0,220	2,300	1110	2400	100	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Wärmedämmung	0,180	0,180	1450	15	50	0,70	0,70	0	0	0,9	0,9
Abdichtungsbahn	0,030	0,230	790	1500	10000	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Kies	0,080	0,700	1110	1800	5	0,50	0,50	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,5	0,6	0,9	0,9	0,205	10,293

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,195	0,198
upward	0,197	0,200
downward	0,192	0,197

Kellerdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Fussbodenbelag	0,020	0,190	1400	1300	1	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Trockenestrich	0,075	0,700	900	1350	15	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
TSDP	0,080	0,042	900	150	1	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Beton	2,300	1,600	1070	2200	100	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,463	2,990

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,414	0,43
upward	0,424	0,435
downward	0,4	0,422

Fensterrahmen

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	1,837	1,615

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,243	1,4
upward	1,343	1,461
downward	1,131	1,326

Fenster

Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance	Time Constant	External Blind	Internal Blind	U-Value
	Ext.S.	Int.S.	Ext.S.	Int.S.		ext	int					
0,67	0,14	0,14	0,14	0,14	0,7	0,85	0,85	1,833	0	No	No	1,4

Außenwand

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Gipskartonfeuerschutzplatten	0,030	0,21	1050	900	8	0,3	0,3	0	0	0,9	0,9
Wärmedämmung/Holzsteher	0,090	0,038	1030	14,5	1	0,0	0,0	0	0	0,9	0,9
Vollholzschalung	0,025	0,14	1610	600	50	0,0	0,0	0	0	0,9	0,9
Blechverkleidung	0,005	75000	1000	7900	100000	0,7	0,7	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,3	1	0,9	0,9	0,372	0

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,339	0,35
upward	0,346	0,353
downward	0,33	0,345

Innenwand

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Gipskarton	0,030	0,380	1050	900	8	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9
Dämmung / Steher	0,050	0,040	1030	14	1	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9
Gipskarton	0,030	0,380	1050	900	10	0,4	0,4	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,71	0

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,6	0,634
upward	0,622	0,646
downward	0,572	0,619

Oberste Geschossdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Schalung	0,025	0,150	1610	600	50	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Dämmung	0,180	0,040	1030	14	1	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Schalung	0,025	0,150	1610	600	50	0,70	0,70	0	0	0,9	0,9
Abdichtungsbahn	0,008	0,230	790	1500	100000	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,205	0,718

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,195	0,198
upward	0,197	0,200
downward	0,192	0,197

Kellerdecke

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Fussbodenbelag	0,021	0,190	1400	1300	1	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Estrich	0,075	1,300	1080	2000	15	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
TSDP	0,080	0,042	900	150	1	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Stahlbeton-Decke	2,300	2,3	1110	2400	100	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,463	6,044

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,413	0,429
upward	0,424	0,435
downward	0,4	0,422

Fensterrahmen

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	1,837	1,615

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,243	1,4
upward	1,343	1,461
downward	1,131	1,326

Fenster

Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance	Time Constant	External Blind	Internal Blind	U-Value
	Ext.S.	Int.S.	Ext.S.	Int.S.		ext	int					
0,67	0,14	0,14	0,14	0,14	0,7	0,85	0,85	1,833	0	No	No	1,4

PASSIV:

Außenwand

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Wärmedämmputz - Außen	0,025	0,060	1,45	200	5	0,60	0,60	0	0	0,90	0,90
Fassadendämmplatte	0,200	0,033	1,03	23	1	0,35	0,35	0	0	0,90	0,90
Porenbetonblock	0,250	0,130	1,29	500	5	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Innenputz	0,025	0,700	0,90	1200	10	0,60	0,60	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,400	0,400	0,9	0,9	0,119	29,985

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,115	0,116
upward	0,116	0,117
downward	0,114	0,116

Oberste Geschossdecke

Kies-Außen	0,050	0,700	1110	1800	5	0,30	0,30	0	0	0,90	0,90
Abdichtung	0,020	0,200	790	1500	¹⁰⁰⁰⁰⁰	0,25	0,25	0	0	0,90	0,90
XPS-G WD	0,250	0,030	1450	45	200	0,50	0,50	0	0	0,90	0,90
Stahlbeton-Decke	0,180	2,300	1110	2400	100	0,35	0,35	0	0	0,90	0,90
Innenputz	0,020	0,700	900	1200	10	0,60	0,60	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,700	0,400	0,9	0,9	0,116	7,817

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,113	0,114
upward	0,113	0,114
downward	0,112	0,113

Kellerdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Fussbodenbelag	0,020	0,150	2340	740	0,5	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Estrich	0,080	1,700	1110	2000	50	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
TSDP	0,055	0,035	900	90	1	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Stahlbeton-Decke	0,180	2,3	1110	2400	100000	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
KDPL	0,200	0,033	900	40	1	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,463	6,044

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,123	0,124
upward	0,124	0,125
downward	0,121	0,123

Innenwand

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Gipskarton	0,030	0,210	1050	200	8	0,30	0,30	0	0	0,90	0,90
Dämmung Steher	0,100	0,039	1030	23	1	0,35	0,35	0	0	0,90	0,90
Dämmung Steher	0,100	0,039	1030	500	1	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Gipskarton	0,030	0,210	1050	1200	8	0,30	0,30	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,7	0,7	0,9	0,9	0,185	0

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,176	0,179
upward	0,178	0,18
downward	0,174	0,178

Fensterrahmen

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	0,95	4,490

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	0,76	0,8
upward	0,794	0,834
downward	0,704	0,775

Fenster

Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance	Time Constant	External Blind	Internal Blind	U-Value
	Ext.S.	Int.S.	Ext.S.	Int.S.		ext	int					
0,67	0,009	0,001	0,001	0,009	0,67	0,85	0,85	0,925	0	No	No	0,8

1900:

Außenwand / Innenwand

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	S_{Ri}	S_{Re}	L_{Ri}	L_{Re}	\bar{U}_i	\bar{U}_e
Außenputz	0,012	1,150	900	1200	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Mauerwerk	0,300	0,660	830	1800	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Innenputz	0,012	1,150	1110	2000	35	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,600	0,600	0,9	0,9	1,67	0

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,36	1,549
upward	1,481	1,625
downward	1,226	1,459

Oberste Geschossdecke

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	S_{Ri}	S_{Re}	L_{Ri}	L_{Re}	\bar{U}_i	\bar{U}_e
Schilfbauplatte	0,010	0,240	1700	90	1	0,60	0,60	0	0	0,90	0,90
Doppelbaumdecke	0,120	0,134	1610	500	⁵⁰⁰⁰⁰ 0,25	0,25	0,25	0	0	0,90	0,90
Schüttung	0,070	0,950	1000	1800	2	0,50	0,50	0	0	0,90	0,90
Ziegelmaterial	0,060	0,330	840	1300	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant	Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.			horizontal		
0,600	0,600	0,9	0,9	0,838	8,838	upward	0,718	0,75
						downward	0,652	0,713

Kellerdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Fussbodenbelag	0,030	0,230	1400	1500	1	0,50	0,50	0	0	0,9	0,9
Blindboden	0,027	0,150	1610	500	50	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Sand & Kies	0,060	2,000	1050	1950	1	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Klinkerziegel	0,120	1,000	900	2000	100000	0,30	0,30	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,7	0,5	0,9	0,9	2,172	5,325

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,388	1,586
upward	1,514	1,665
downward	1,249	1,492

Fensterrahmen

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	4,346	4,490

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	2,041	2,5
upward	2,325	2,702
downward	1,754	2,272

Fenster

Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance	Time Constant	External Blind	Internal Blind	U-Value
	Ext.S.	Int.S.	Ext.S.	Int.S.		ext	int					
0,67	0,116	0,091	0,116	0,091	0,67	0,85	0,85	4,325	0	No	No	2,5

1945:

Außenwand / Innenwand

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Außenputz	0,020	0,820	900	1200	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Mauerwerk	0,180	0,320	840	1300	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Innenputz	0,010	0,840	1000	1800	25	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,600	0,600	0,9	0,9	1,67	0

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,164	1,301
upward	1,252	1,354
downward	1,065	1,236

Oberste Geschossdecke

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Schilfbauplatte	0,021	0,750	1700	90	1	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Doppelbaumdecke	0,160	0,400	1610	500	⁵⁰⁰⁰⁰	0,25	0,25	0	0	0,90	0,90
Schüttung	0,060	0,700	1000	1800	2	0,50	0,50	0	0	0,90	0,90
Ziegelmaterial	0,020	0,230	790	1500	10	0,30	0,30	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant	Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.			horizontal		
0,700	0,600	0,9	0,9	1,665	4,642	upward	1,249	1,35
						downward	1,063	1,234

Kellerdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	\bar{E}_i	E_e
Fussbodenbelag	0,030	0,230	1400	1400	1	0,50	0,50	0	0	0,9	0,9
TSDP	0,027	0,150	900	80	1	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
Abdichtung	0,060	2,000	790	1500	100000	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Beton	0,160	1,6	1070	2200	30	0,30	0,30	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,7	0,5	0,9	0,9	1,757	3,749

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,206	1,353
upward	1,3	1,41
downward	1,1	1,283

Fensterrahmen

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	4,346	4,490

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	2,041	2,5
upward	2,325	2,702
downward	1,754	2,272

Fenster

Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance	Time Constant	External Blind	Internal Blind	U-Value
	Ext.S.	Int.S.	Ext.S.	Int.S.		ext	int					
0,67	0,116	0,091	0,116	0,091	0,67	0,85	0,85	4,325	0	No	No	2,5

1960:

Außenwand / Innenwand

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	$\bar{\epsilon}_i$	$\bar{\epsilon}_e$
Innenputz	0,005	0,7	900	1200	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Heraklith	0,050	0,125	2000	400	15	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Mauerwerk	0,200	0,800	1100	2000	5						
Außenputzputz	0,006	1,000	1110	1800	25	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,65	0,65	0,9	0,9	1,508	9,491

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,083	1,2
upward	1,159	1,245
downward	0,997	1,145

Oberste Geschossdecke

SCHICHT- NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	$\bar{\epsilon}_i$	$\bar{\epsilon}_e$
Schilfbauplatte	0,030	0,7	900	1200	10	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90
Doppelbaumdecke	0,160	2,3	1110	2400	100	0,25	0,25	0	0	0,90	0,90
Schüttung	0,060	0,04	1030	14	1	0,50	0,50	0	0	0,90	0,90
Ziegelmaterial	0,015	0,23	790	1500	10000	0,40	0,40	0	0	0,90	0,90

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant	Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.			horizontal		
0,600	0,600	0,9	0,9	0,596	7,663	upward	0,533	0,55
						downward	0,496	0,53

Kellerdecke

SCHICHT-NAME	d[m]	λ	c	ρ	μ	SRI	SRe	LRI	LRe	Ei	Ee
Fussbodenbelag	0,010	0,25	1400	1300	1	0,50	0,50	0	0	0,9	0,9
Estrich	0,060	1,37	1080	2000	15	0,40	0,40	0	0	0,9	0,9
TSDP	0,020	0,081	1030	64	1	0,35	0,35	0	0	0,9	0,9
Beton	0,160	2,3	1110	2400	100	0,30	0,30	0	0	0,9	0,9

Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,9	0,9	2,498	3,008

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	1,515	1,754
upward	1,666	1,851
downward	1,351	1,639

Fensterrahmen

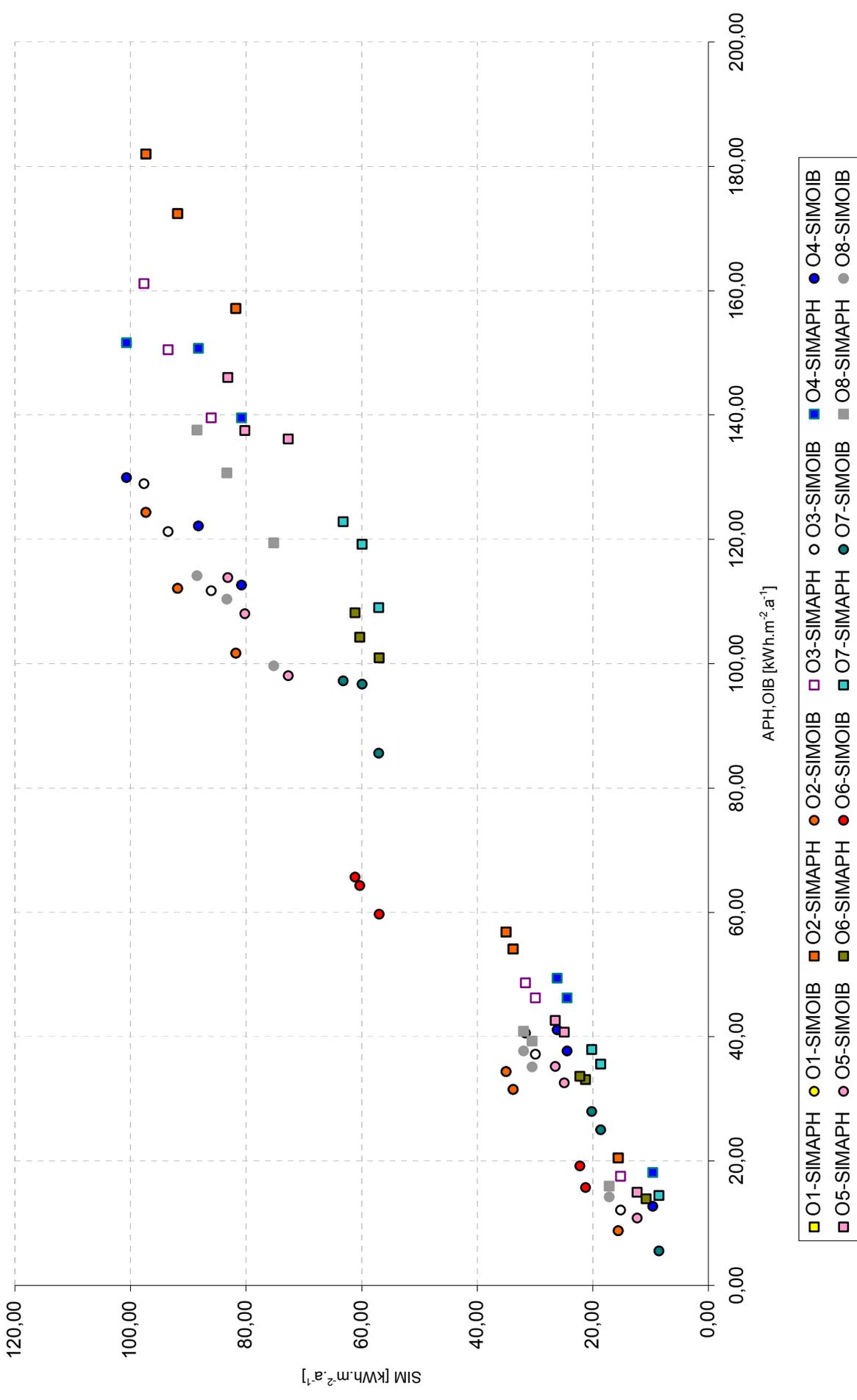
Solar Absorptance		Emissivity		Conductance	Time Constant
Ext.Surf.	Int.Surf.	Ext	Int.		
0,6	0,6	0,92	0,92	6,124	0

Flow Direction	Internal U-Value	External U-Value
horizontal	2,362	3
upward	2,753	3,297
downward	1,987	2,679

Fenster

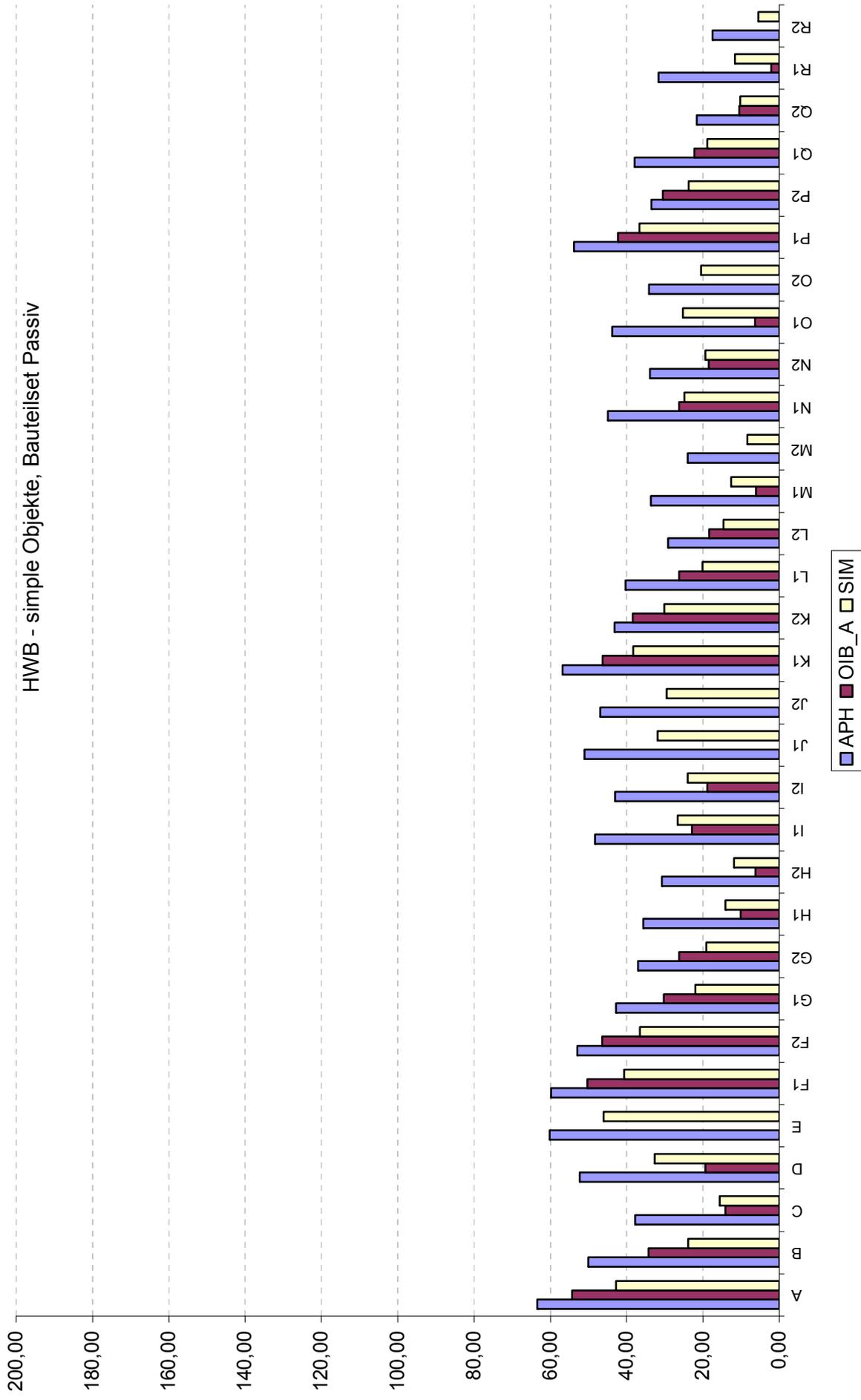
Solar Transmittance	External Solar Absorptance		Internal Solar Absorptance		Light Transmittance	Emissivity		Conductance	Time Constant	External Blind	Internal Blind	U-Value
	Ext.S.	Int.S.	Ext.S.	Int.S.		ext	int					
0,67	0,012	0,008	0,012	0,008	0,67	0,85	0,85	6,065	0	No	No	3

6.3. diverse Ergebnisgraphiken

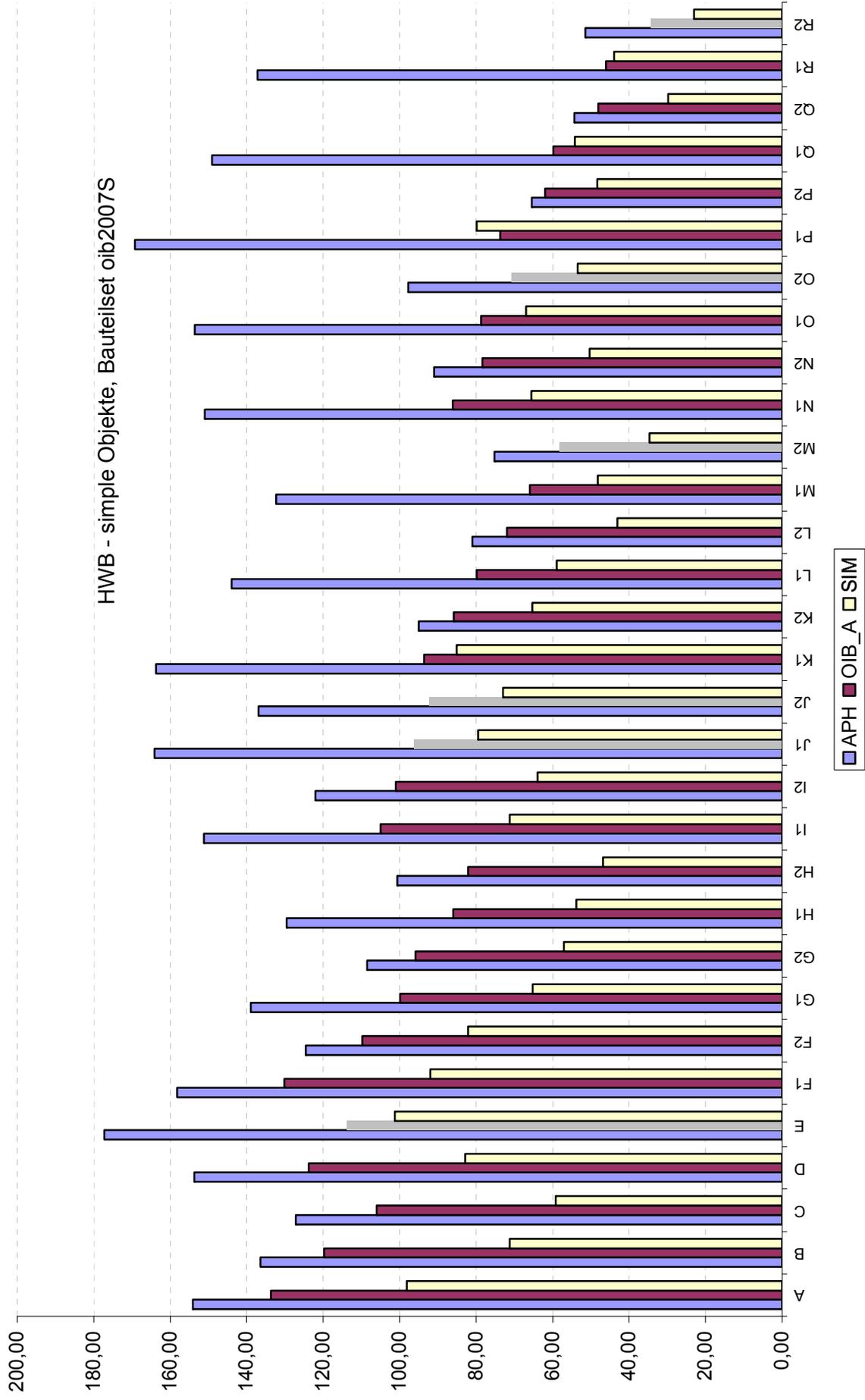


HWB - SIM vs OIB u APH, nach Objekten

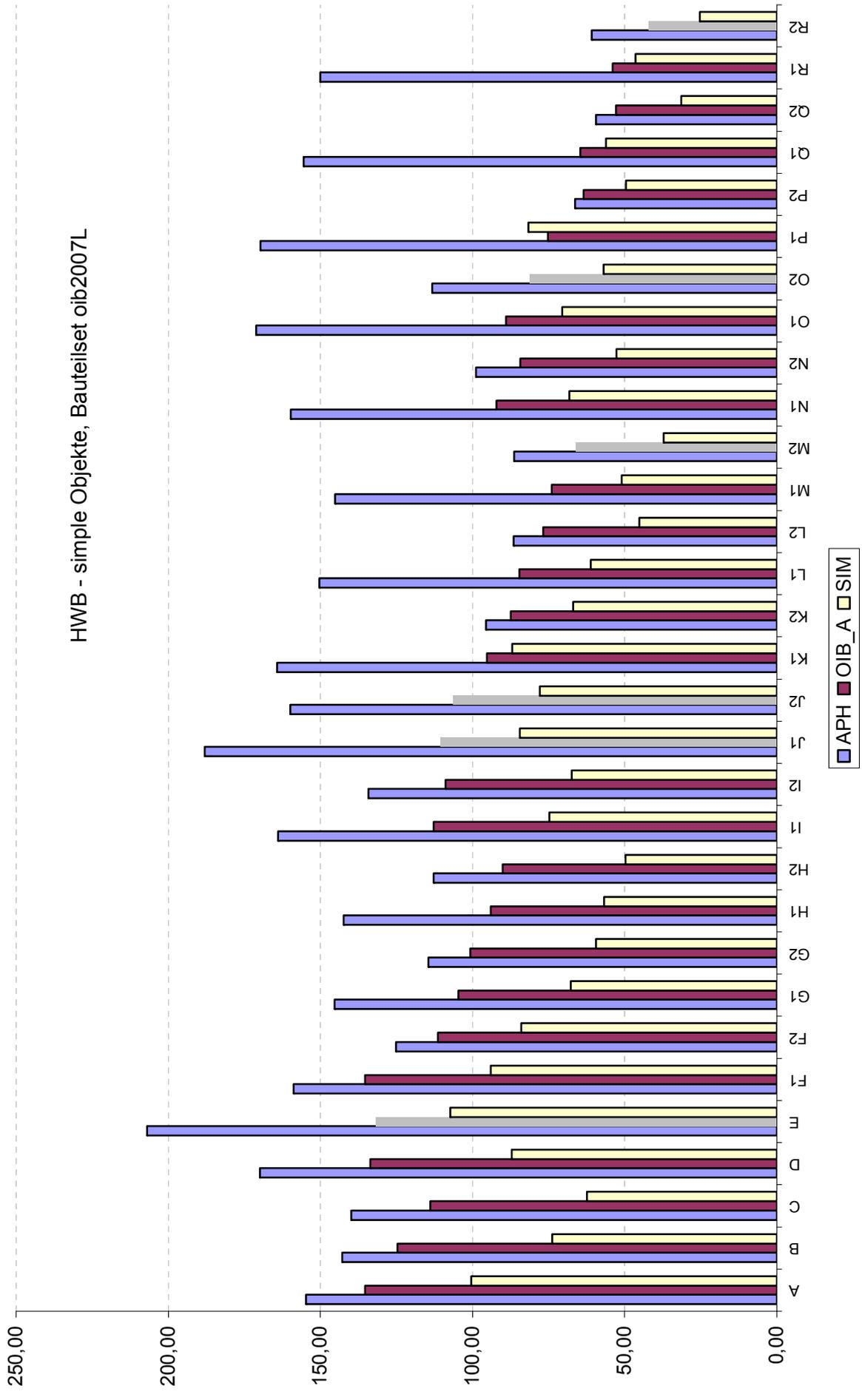
HWB - simple Objekte, Bauteilset Passiv



HWB - simple Objekte, Bauteilset oib2007S



HWB - simple Objekte, Bauteilset oib2007L



HWB - simple Objekte, Bauteilset MFH1900

