

A-1100 Wien, Daumegasse 1/2,
Tel.: 01/606 68 77 DW 2120, Fax: 01/606 68 77 DW 2129
bau@fh-campuswien.ac.at

Seminararbeit zum BERUFSBEGLEITENDEN PRAKTIKUM

VERMEIDUNG VON SOMMERLICHER ÜBERWÄRMUNG – ENTWURF EINES VEREINFACHTEN RECHENMODELLS

AVOIDANCE OF SUMMER OVERWARMING –
DRAFT OF A SIMPLIFIED CALCULATION MODEL

ausgeführt am 09. Dez. 2008

durch

Ing. ZM Matthias DOUBEK
c0610324015

unter der Leitung von

Dipl. Ing. Dr. techn. Anton PECH

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, dass die vorliegende berufsbegleitende Seminararbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe. Ich versichere, dass ich dieses Thema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe. Weiters versichere ich, dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Wien, am 09. Dez. 2008

.....

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis	5
2.	Zusammenfassung	7
3.	Abstract	8
4.	Einleitung.....	9
5.	Theoretischer Teil – Bauphysik im Sommer	10
5.1.	Technische Relevanz des Themas.....	10
5.1.1.	Bauphysik im Bauwesen.....	10
5.1.1.1.	<i>Zusammenhang zwischen Raumklima und Behaglichkeit</i>	12
5.1.1.2.	<i>Wärmehaushalt des Menschen</i>	13
5.1.1.3.	<i>Grenzen der Behaglichkeit</i>	14
5.1.2.	Warum sommerlicher Wärmeschutz?.....	18
5.2.	Ziele der Arbeit.....	20
6.	Empirischer Teil – Vermeidung der Überwärmung	23
6.1.	Derzeit gängige Berechnungsverfahren.....	23
6.1.1.	Berechnung nach ÖNORM B 8110-3	23
6.1.1.1.	<i>Wärmespeicherung, -aufnahme und -abgabe</i>	23
6.1.1.2.	<i>Nachweis nach ÖNORM B 8110-3</i>	25
6.1.2.	Berechnung mit dynamisch-thermischer Gebäudesimulation.....	28
6.2.	Kritische Betrachtung der genannten Verfahren	31
6.2.1.	Praktische Betrachtung der Berechnung nach ÖNORM B 8110-3.....	31
6.2.2.	Thermisch-dynamische Simulationen in der Baupraxis	33
7.	Experimenteller Teil	35
7.1.	Entwicklung eines vereinfachten Rechenmodells für den architektonischen Entwurf	35
7.1.1.	Gewählte Software für die Untersuchung	35
7.1.2.	Modellbeschreibung	36
7.1.3.	Einflussparameter und Vereinfachungen bei der Berechnung	37
7.1.3.1.	<i>Luftwechsel</i>	38
7.1.3.2.	<i>Proportion des Raumes</i>	39
7.1.3.3.	<i>Fensteranteil</i>	40
7.1.3.4.	<i>g-Wert</i>	41
7.1.3.5.	<i>z-Wert</i>	41
7.1.3.6.	<i>Speicherwirksame Masse</i>	42
7.1.3.7.	<i>U-Wert Außenwand</i>	44
7.1.3.8.	<i>U-Wert Fenster</i>	44
7.1.3.9.	<i>Himmelsrichtung</i>	45
7.1.3.10.	<i>Festgelegte Grenze der Übertemperatur</i>	45
7.1.3.11.	<i>Interne Wärmegewinne</i>	46
7.1.4.	Übersicht über die Eingangsparameter in die Simulation	47

7.2.	Kommentar zu den Ergebnissen der einzelnen Einflüsse	48
7.2.1.	Individuelle Auswertung der Ergebnisse.....	48
7.2.1.1.	<i>Luftwechsel</i>	49
7.2.1.2.	<i>Charakteristische Länge</i>	50
7.2.1.3.	<i>Fensterfläche</i>	51
7.2.1.4.	<i>g-Wert</i>	52
7.2.1.5.	<i>Verschattung</i>	53
7.2.1.6.	<i>Speicherwirksame Masse</i>	54
7.2.1.7.	<i>U-Wert Außenwand</i>	54
7.2.1.8.	<i>U-Wert Fenster</i>	55
7.2.1.9.	<i>Himmelsrichtung</i>	55
7.2.2.	Gewichtung der Einflussgrößen.....	56
7.3.	Bildung einer „Faustformel“	59
7.4.	Überprüfung der Ergebnisse	63
8.	Abbildungs- /Tabellenverzeichnis	66
8.1.	Abbildungsverzeichnis.....	66
8.2.	Tabellenverzeichnis.....	67
9.	Schlagwörter	68
10.	Quellenverzeichnis.....	68
11.	Anhang	72

1. Abkürzungsverzeichnis

A	Grundfläche des Raumes in m ²
A _{AL}	durch die Architekturlichte gegebene Fensterfläche
A _F	Fensterfläche (Glasfläche ohne Rahmen) in m ²
A _I	Immissionsfläche in m ² oder (sonnentechnische) Bauteilfläche in m ²
A _S	äquivalente Immissionsfläche für Personenwärme in m ²
A _T	äquivalente Immissionsfläche für technische Wärmequellen in m ²
°C	Grad Celsius
CO ₂	Kohlendioxid
d	Dicke (eines Baustoffes) in m
d _{≥26°C}	prognostizierte Tage mit Übertemperatur (≥26°C) pro Jahr in %
d(grob) _{≥26°C}	wie d _{≥26°C} , jedoch Berechnung nach „vereinfachter Faustformel“
EBPD-Richtlinie	Energy Performance Building Directive (Richtlinie zur Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden)
f _{FEN}	charakteristischer Faktor für Fensteranteil in m
f _G	Glasflächenanteil (dimensionslos)
f _H	Faktor zur Berücksichtigung der Himmelsrichtung (dimensionslos)
f _{H(korr)}	Faktor zur Berücksichtigung der Himmelsrichtung (dimensionslos) bei Näherungsberechnung
g	Gesamtenergie-Durchlassgrad (dimensionslos)
K	Kelvin
l _C	charakteristische Länge in m
m _A	durchschnittliche flächenbezogene speicherwirksame Masse der Umfassungsbauteile in kg/m ²
m _W	gesamte Speichermasse des Raumes in kg
m _{W,AI}	immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse in kg/m ²
n _L	Luftwechselzahl in h ⁻¹
O _H	Hüllfläche (Außenoberfläche) des Raumes in m ²
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket (Software)
ρ	Rohdichte (eines Baustoffes) in kg/m ³
t*	normative Grenztemperatur
TGA	technische Gebäudeausrüstung

U_{AW} Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
 U_G Wärmedurchgangskoeffizient des Glases in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
 V Volumen des Raumes in m^3
 $V_{L,S}$ immissionsbezogener stündlicher Luftvolumenstrom in $\frac{m^3}{h \cdot m^2}$
 z Abminderungsfaktor einer Verschattungseinrichtung (dimensionslos)
 Z_{ON} Orientierungs- und Neigungsfaktor (dimensionslos)

2. Zusammenfassung

Unsere Zeit ist geprägt von nahezu kontinuierlich steigenden Energiepreisen und globaler Erwärmung. Lösungen dieser Probleme sind im Bereich des Bauwesens vor allem in der Reduktion des Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden zu suchen. Dies bedeutet die Minderung von Verlusten, das Herabsetzen des Heizwärmebedarfs, aber auch die Eliminierung einer eventuell notwendig werdenden Kühllast.

Die Relevanz der vorliegenden Arbeit besteht daher darin, Gebäude energetisch so zu konzipieren, dass im Idealfall keine Kühllasten notwendig werden. Das Thema „Vermeidung von sommerlicher Überwärmung – Entwurf eines vereinfachten Berechnungsmodells“ birgt aufgrund der hohen Möglichkeiten bei der Reduktion des Kühlbedarfs enormes Potential zur Energieeinsparung und bietet gleichzeitig Gelegenheit die Behaglichkeit in Innenräumen zu erhöhen.

Um diese ökonomischen Chancen bei zukünftigen Bauvorhaben nutzen zu können, sind schon während der Entwurfsphase entsprechende Weichenstellungen beim Gebäudekonzept oder der Struktur des Bauwerks notwendig. In der Praxis gestaltet sich die Berücksichtigung dieser Thematik oft schwierig, da der Aufwand von derzeitigen Berechnungen für sommerlichen Wärmeschutz oder gar jener für thermisch-dynamische Gebäudesimulationen nur schwer mit dem meist begrenzten Budget für diese Planungsphase zu vereinbaren ist.

Das Ergebnis der Seminararbeit ist daher die Entwicklung eines vereinfachten Berechnungsmodells bzw. einer „Faustformel“ für den Sommerfall, um so sehr schnell und mit geringem Arbeitsaufwand, auch ohne die Notwendigkeit einschlägiger Software, Abschätzungen zu diesem brisanten Thema treffen zu können. Darüber hinaus werden an einem Rechenmodell mit einer bilanzierenden Simulation Tendenzen der unterschiedlichen Eingabeparameter per se untersucht. So hat sich beispielsweise herausgestellt, dass die speicherwirksame Masse von innenliegenden Bauteilen bei gut gedämmten Gebäuden mit großen Immissionsflächen nur geringes Potential zur Vermeidung von Übertemperatur besitzt. Durch Einzeluntersuchungen können die Möglichkeiten baulicher Maßnahmen zur Vermeidung von Überwärmung im Innenraum sowie die quantitativen Auswirkungen verschiedener Bauteile auf das innere Raumklima gezielt dargestellt werden.

3. Abstract

Our times are marked by almost continuously rising energy prices and global warming. Solutions for these problems in the construction industry can be found primarily in the reduction of the total energy needs of buildings. This means the reduction of losses, the lowering of heat requirements and in addition the elimination of possibly required cooling loads.

The relevance of the present paper is to conceive buildings energetically in such a way that ideally no cooling loads are needed. Due to the high possibility of the reduction of cooling needs, the topic „avoidance of summer overwarming – draft of a simplified calculation model“ carries enormous potential for energy conservation and offers the opportunity for increasing the comfort in interior space at the same time.

To be able to use these economic chances for future building projects the great opportunity during the design-phase should be utilised to incorporate the ideas from the chapter building physics and to set the right courses in a early planning phase. In practice the consideration of this topic often becomes difficult, because the amount of work of current computations for summer time thermic protection, or even thermal-dynamic building simulations, is only barely in accordance within the normally limited budget in this planning phase.

So the result of the following Bachelor's Thesis is the development of a simplified calculation or "empirical formula" for the summer case, to be able to make estimations very fast, with a limited amount of work and without the necessity of relevant software for this explosive topic. Furthermore tendencies of different input parameters on a computer model with a balancing simulation are researched per se. For example, it turned out that the thermal mass of construction units on the inside of well insulated buildings with large immission areas only has small potential for the avoidance of temperature rise. In individual investigations the possibilities of structural measures for the avoidance of overwarming in the interior as well as the quantitative effects of different construction components on the internal room climate can be represented purposefully.

4. Einleitung

Aufgrund der gestiegenen Kosten für Energie in den letzten Jahren hat der Anspruch auf Optimierung der Betriebskosten von Gebäuden stetig zugenommen. Für das Bauwesen bedeutet dies vor allem eine Verbesserung des Wärmeschutzes der zu erstellenden Bauwerke. Hierzu werden verschiedenste bauliche Maßnahmen angewandt, wie beispielsweise der Einbau von größeren Verglasungsflächen. Dies dient einerseits dazu, den Ansprüchen zeitgemäßer Architektur gerecht zu werden, andererseits um höhere solare Gewinne (=eingestrahlte Sonnenenergie) zu erzielen, welche notwendig werdende Heizlasten im Winter mindern sollen. Allerdings erhöhen sich daher auch die energetischen Einträge im Sommer, wodurch die Gefahr der sommerlichen Überwärmung besteht und der sommerliche Wärmeschutz zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Im theoretischen Teil wird zunächst ein Überblick über bauphysikalische Aspekte des Bauwesens geschaffen. Hierzu wird auf den Zusammenhang zwischen Raumklima und Behaglichkeit, den Wärmehaushalt des Menschen und auf die Grenzen der Behaglichkeit eingegangen.

Um den Sommerfall von Gebäuden vertieft zu erläutern, werden im empirischen Teil gängige Berechnungsverfahren genauer erörtert und kommentiert. Diese Diskussion beinhaltet die Berechnung nach der derzeit gültigen ÖNORM, sowie die Möglichkeiten der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation mit einschlägiger Software.

Um die einzelnen Einflussfaktoren auf die sommerliche Überwärmung per se darstellen und näher kommentieren zu können, wird im experimentellen Teil an einem Prototyp-Raum eine bilanzierende Simulation durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Bezug auf verschiedene bauliche Parameter in Diagrammen dargestellt, um so Tendenzen der jeweiligen Eingaben aufzeigen und näher analysieren zu können.

Um in Zukunft schon in der Entwurfsphase von Gebäuden der potentiellen Gefahr dieses Bereiches der Bauphysik entgegenzuwirken, wird ein vereinfachtes Rechenmodell entwickelt, welches die Abschätzung der sommerlichen Überwärmung in kürzester Zeit und einfacher Weise ermöglicht.

5. Theoretischer Teil – Bauphysik im Sommer

5.1. Technische Relevanz des Themas

5.1.1. Bauphysik im Bauwesen

„Die Bauphysik ist ein auf naturwissenschaftlichen Grundlagen beruhendes Arbeitsgebiet, dessen einzelne Disziplinen die gemeinsame Aufgabe haben, ein funktionsfähiges wirtschaftliches Bauwerk zu erstellen und die auf den Baukörper einwirkenden physikalischen Kräfte zu kontrollieren oder abzuwehren. Die Auswirkungen der bauphysikalischen Maßnahmen auf ein Gebäude sind vielfältig, sie haben jedoch alle die gleiche Zielsetzung: Für die Menschen ein behagliches Raumklima auch bei extremen Außentemperaturen zu schaffen und das Gebäude vor zerstörenden Einflüssen zu schützen.“¹

Kaum ein Fachgebiet im Bauingenieurwesen hat dermaßen breit gefächerten Einfluss auf nahezu alle Gewerke der einzelnen Professionisten wie das der Bauphysik. Dem Schutz der Gesundheit und des Lebens der Personen im Bauwerk, auch bei Katastrophen oder Versagen einzelner Komponenten, kann nicht genug Beachtung beigemessen werden. Des Weiteren gilt es den Anforderungen an Umweltschutz, Energieeinsparung, sowie an Hygiene und verschiedenen anderen Immissionen an den Menschen gerecht zu werden.

Geringe Fehleinschätzungen in der Konzeption, der Planung, aber auch in der Ausführung eines Gebäudes bergen immenses Schadenspotential. Die Sanierung solcher Missstände kann oft nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand bewerkstelligt werden oder ist in manchen Fällen sogar irreparabel. Die genaue Kenntnis der einzelnen äußeren und inneren Einflüsse auf ein Bauwerk sowie die notwendigen Gegenmaßnahmen gehören somit zum Basiswissen jedes Bauingenieurs.

Es fällt schwer alle Gebiete der Bauphysik auszuweisen, es soll jedoch versucht werden einen Überblick über die Hauptgebiete zu schaffen:

- Brandschutz: Je nach Art und Nutzung eines Gebäudes ist unterschiedlicher, vorbeugender Brandschutz vonnöten. In diesem Zuge sei erwähnt, dass

¹ Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004. S. 1.

zwischen Brennbarkeit (also den Baustoffeigenschaften) und dem Feuerwiderstand (der Bauteile) – unterschieden werden sollte.

- Feuchtigkeitsschutz: Hauptaugenmerk in diesem Bereich sollte auf den Tauwasserschutz gelegt werden. Besonders bei verschiedenen Bauteilanschlüssen zueinander ist auf Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit zu achten, um so Kondensatfreiheit an der Innenoberfläche sowie im Bauteil zu gewährleisten.
- Akustik: Lärm ist in den letzten Jahren, besonders im urbanen Raum oder beispielsweise in der Nähe von Infrastruktur- bzw. Verkehrsbauten zum zentralen Problem geworden. Bauakustik, Raumakustik und Schallschutz bilden Teilgebiete in diesem Kapitel der Bautechnik. Die Lösung der verschiedenen Problemfälle liegt daher in zahlreichen Einzelmaßnahmen bei der Planung und Ausführung von Gebäuden.²
Eine zentrale Rolle im Bereich der Akustik spielt der Schallschutz. Es soll versucht werden, je nach Nutzerprofil des Bauwerks die Schallübertragung von einer Quelle zum Hörer zu vermindern, völlig verhindern ist jedoch nicht möglich.³
- Winterlicher Wärmeschutz: Darunter versteht man – vorwiegend in der kalten Jahreszeit – alle jene Maßnahmen, welche zur Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten und Lüftungswärmeverlusten dienen.⁴
Zusätzlich zu Grenzwerten bezüglich verschiedener Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) in verschiedenen Bauordnungen sehen aktuellere Gesetze und einschlägige Vorschriften Grenzen für den Gesamtenergiebedarf beziehungsweise in weiterer Folge auch bezüglich der Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes vor.
- Sommerlicher Wärmeschutz: Durch die stetige Verbesserung des winterlichen Wärmeschutzes in den letzten Jahrzehnten und der damit verbundenen Minimierung der Wärmeverluste ist die Anforderung entstanden, Gebäude, vor allem im Sommer und in der Übergangszeit, vor

² Lutz, Peter: Lehrbuch der Bauphysik. Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima. 3., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: B. G. Teubner 1994. S 19-20.

³ Neufert, Ernst: Bauentwurfslehre. Handbuch für den Baufachmann, Bauherrn, Lehrenden und Lernenden. 34., erweiterte Auflage. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH 1996. S. 121.

⁴ Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004. S. 11.

sommerlicher Überwärmung zu schützen. Aufgrund der (energetisch) immer besser werdenden Gebäude unserer Zeit gewinnt dieser Sommerfall zunehmend an Bedeutung, weshalb dieser Bereich der Bauphysik in der vorliegenden Arbeit näher erörtert werden soll.

5.1.1.1. Zusammenhang zwischen Raumklima und Behaglichkeit

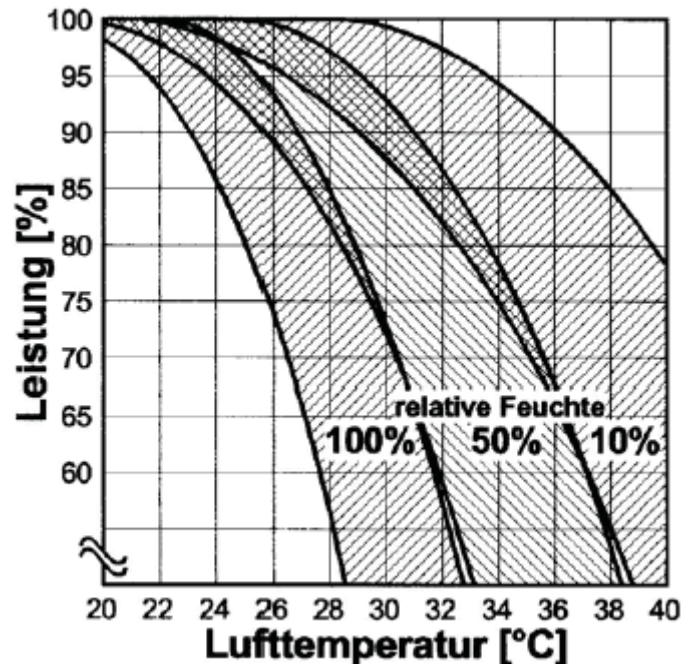
„Das Raumklima hat beachtliche hygienische Bedeutung. Von ihm hängen Befinden, körperliches wie geistiges Leistungsvermögen und Gesundheit ab. Beste Bedingungen dafür bietet gewöhnlich ein Umgebungsklima mit allgemeiner thermischer Behaglichkeit für den Körper. [...] Die Umschließungsflächen-temperaturen sind dabei wichtiger als die Lufttemperatur. Zu vermeiden sind in einem Raum nicht-ausgewogene Wärmestrahlungsverhältnisse und störende Zugluft, die zu thermischer Unbehaglichkeit führen. Diesbezüglich, wie für die thermische Behaglichkeit überhaupt, spielen Wände, Fenster und Heizverfahren eine wesentliche Rolle. Sie sind so zu planen, dass mit ihnen passende Voraussetzungen für thermische Behaglichkeit gegeben sind, liegt beim Baufachmann.“ Die thermische Behaglichkeit ist daher nicht nur eine rein subjektive Anforderung, sondern Grundlage für körperliches und geistiges Leistungsvermögen. Je nach Luftwechsel oder Raumklima entstehen Temperaturen, die von Personen innerhalb des Gebäudes wiederum unterschiedlich wahrgenommen werden.⁵

Thermische Behaglichkeit betrifft somit den Wärmehaushalt als Ganzes, weshalb diesem Themenbereich in den Folgepunkten größere Bedeutung beigemessen werden soll.

In Abb. 1 ist die Leistungsminderung von Personen in einem Wohn- oder Arbeitsraum durch unpassendes Raumklima in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit dargestellt. Wie in diesem Diagramm leicht erkennbar dargestellt, ist schon bei geringen Abweichungen zum optimalen Klima ein deutlicher Leistungsabfall erkennbar.

⁵ Terhaag, Ludwig: Thermische Behaglichkeit – Grundlagen. In: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Hrsg: Beckert, Johannes / Mechel, Fridolin P. / Lamprecht, Heinz-Otto. Düsseldorf: Beton-Verlag GmbH 1986. S49.

Abb. 1: Zusammenhang zwischen Raum-Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Leistungsfähigkeit der Personen im Raum



(DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN EN ISO 7730. Ergonomie der thermischen Umgebung. 05. 2006. In: URL: http://www.arbeitsschutz.nrw.de/staefa/dortmund/downloads/Informationsschrift_Raumtemperaturen.pdf (letzter Zugriff: 10. 08. 2008))

5.1.1.2. Wärmehaushalt des Menschen

„Das Behaglichkeitsempfinden des menschlichen Körpers wirkt sich durch eine Reihe von Einflussgrößen aus:

- die Art der körperlichen Betätigung und die körperliche Konstitution
- die Raum-Lufttemperatur und die Luftbewegung
- die Bauteiloberflächentemperatur der Außenflächen
- die Oberflächentemperatur des Fußbodens
- die Raumluchtfeuchtigkeit
- die Erneuerung der Raumlucht
- Schallpegel im Raum⁶

Die Einwirkungen auf das Raumklima bilden bei den oben genannten Einflussparametern wohl die wesentlichste Rolle. Durch das industrielle Zeitalter verbringt der Mensch einen Großteil seines Lebens in künstlichen Klimaten.

⁶ Pech, Anton: Baukonstruktionen. Kapitel Bauphysik. 2. Auflage 11.2001. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06. S.1-2.

Die Temperaturen sind, sofern man den menschlichen Organismus genau betrachtet, in unserem Körper nicht gleichmäßig verteilt. Vereinfacht kann jedoch von einer sogenannten Kerntemperatur ausgegangen werden, welche in nur sehr geringem Ausmaß um 37°C schwankt. Der Körper besitzt ein leistungsfähiges System zur Steuerung seiner Temperatur mit dem Ziel diese so konstant wie möglich zu halten. Je nach Umgebungsklima wird ein bestimmter Temperaturbereich als behaglich empfunden. Schwankungen der Umgebungstemperatur werden durch dieses System ausgeglichen. Unser Organismus bedient sich dazu verschiedener Mittel zur Temperaturregulation. Diese sind beispielsweise die Wärmetransportfunktion des Blutes (Transport von überschüssiger Wärme in kühlere Regionen), Schweißabsonderung (Kühlung) und die Erhöhung der Wärmeproduktion durch Steigerung der Verbrennungsvorgänge in Muskeln und Organen (z.B. Zittern). Der Temperatureaustausch nach außen erfolgt dann in weiterer Folge durch Wärmeleitung, Wärmekonvektion und zum größten Teil durch Wärmeverdunstung und Atmung.⁷

„Die Empfindung der Behaglichkeit ist eine Schutzmaßnahme zur Aufrechterhaltung des Wärmehaushaltes im Menschen. Fließt zuviel Wärme vom Körper ab, friert er (und erhöht z.B. durch Zittern die Wärmeproduktion an der Oberfläche zum Schutz des Organismus). Fließt zu wenig Wärme ab, schwitzt er (und erhöht z.B. durch größere Schweißverdunstung die Wärmeabgabe.“⁸

5.1.1.3. Grenzen der Behaglichkeit

„Erste Aufgabe der in Aufenthaltsräumen eingesetzten Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik ist es, ein dem Menschen zuträgliches thermisches Raumklima zu schaffen. Dieses Ziel ist erreicht, wenn der menschliche Körper keine extremen Maßnahmen ergreifen muss, um thermische Unzulänglichkeiten seiner Umgebung

⁷ Pokorny, Peter: Der Einfluss von Baumaterialien auf die Beurteilung der Wohnbehaglichkeit. Wien. Grund- und Integrativwissenschaftliche Fakultät der Universität Wien. Dipl. Arb., 1998. S93ff.

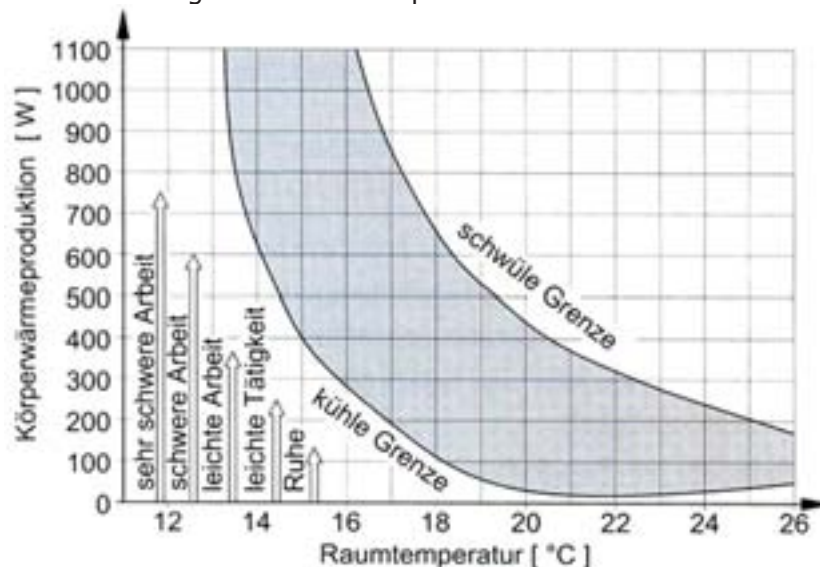
⁸ Riccabona, Christof: Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik. 5., neubearbeitete Auflage. Wien: Verlag Manz 1996. S 10.

auszugleichen. Es ist daher wichtig, die grundlegenden Wirkungsweisen der menschlichen Thermoregulation zu kennen.⁹

In der Vergangenheit hat es eine Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen gegeben um die Grenzen in Bezug auf verschiedene Einflussgrößen des Raumklimas näher zu definieren.

Ein wichtiger Parameter ist die Arbeitsintensität und die damit verbundene Körperwärmeproduktion des Menschen. Hierbei ist zu beachten, dass die Wärmeproduktion auch von Kleidung oder Konstitution der Personen (z.B. Körpergewicht) abhängig ist und somit ein stark subjektives Empfinden bildet. Im folgenden Diagramm wird versucht, abhängig von der Körperwärmeproduktion den Idealbereich der Raumtemperatur festzulegen.

Abb. 2: Behaglichkeit und körperliche Aktivität

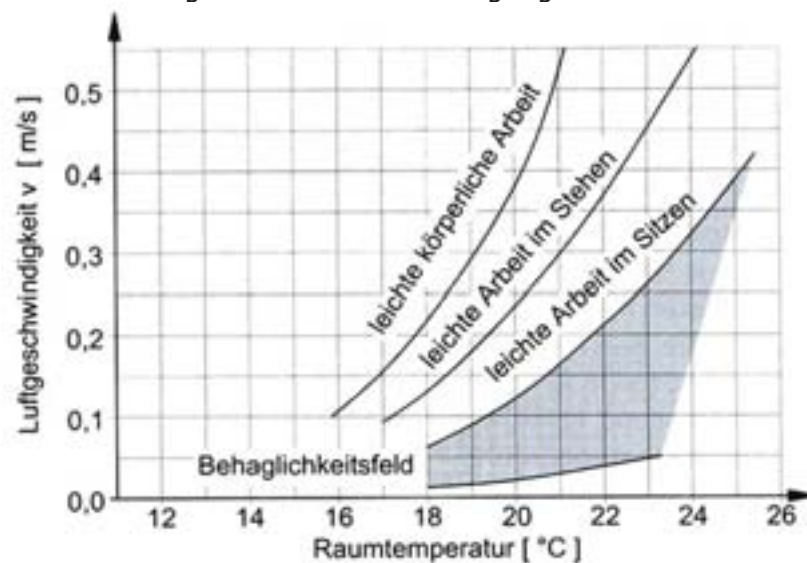


(Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004. S. 2)

Ein weiterer Faktor ist die Luftbewegung im Raum. Auch hier ist das Behaglichkeitsempfinden von der körperlichen Tätigkeit der Personen im Raum abhängig. Bei der Planung der technischen Gebäudeausrüstung bzw. der Haustechnik ist daher besonderes Augenmerk auf eine Unterschreitung der Luftgeschwindigkeiten gemäß folgendem Diagramm zu legen um so Zuglufterscheinungen zu vermeiden.

⁹ Meyer, Christoph / Oppermann, Jens / Wimmer, Andreas: Behaglichkeitsatlas. Bewertung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen hinsichtlich Raumklima und thermischer Behaglichkeit. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag 2004. S. 3.

Abb. 3: Behaglichkeit und Luftbewegung



(Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004. S. 2)

Den wahrscheinlich wesentlichsten Faktor in Bezug auf die sommerliche Überwärmung stellt die Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen dar. Seitenungleiche Wärmeabgaben über Strahlung und Wärmestrahlungseinfall, beispielsweise von Sonneneinstrahlung durch Glasflächen, werden aufgrund der Wärmestrahlungsempfindlichkeit des Menschen leicht als störend empfunden. Solche Bedingungen werden allgemein als örtlich thermische Unbehaglichkeit bezeichnet. Daher sind die Umschließungsflächentemperaturen und ihre Relation zur Raumtemperatur von hoher Relevanz. Allgemein wird angenommen, dass diese Umschließungsflächentemperatur wesentlich höher als die Lufttemperatur im Raum bewertet werden sollte. Auf die Größe, aber auch die Anordnung von Fensterflächen in Bezug auf die Himmelsrichtung ist im Zuge der Planung besonders Rücksicht zu nehmen.¹⁰

Durch die zunehmend höher werdenden Dämmstandards ist die Abstrahlung von Wand- oder Deckenbauteilen heutzutage oft kein Problem mehr. Jedoch sind Fenster besonders zu prüfen und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen, beispielsweise durch Abschattungseinrichtungen oder Herabsetzung des g-Wertes der Gläser, einzuleiten.

¹⁰ Terhaag, Ludwig: Thermische Behaglichkeit – Grundlagen. In: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Hrsg: Beckert, Johannes / Mechel, Fridolin P. / Lamprecht, Heinz-Otto. Düsseldorf: Beton-Verlag GmbH 1986. S56ff.

Abb. 4: Zusammenhang von Raum-Lufttemperatur und Raum-Umschließungsflächentemperatur bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung

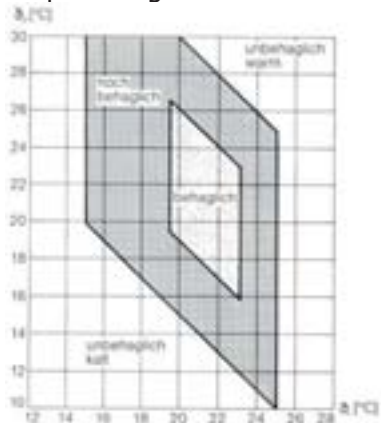


Abb. 5: Zusammenspiel von Raum-Lufttemperatur und Deckentemperatur bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung

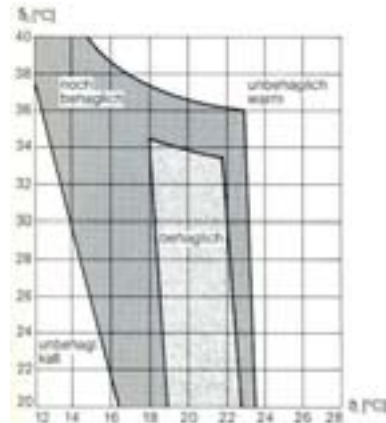
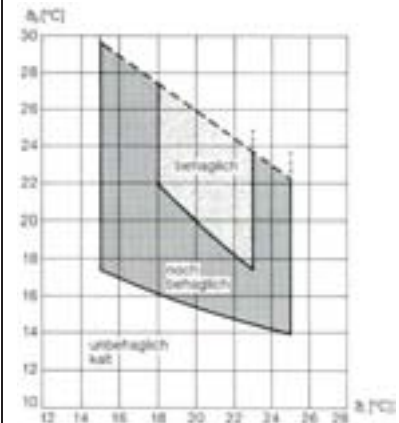


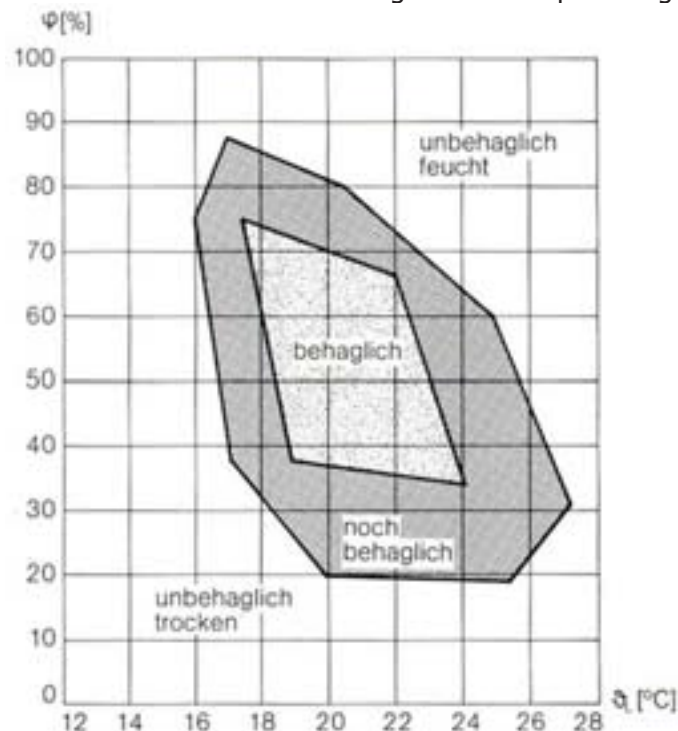
Abb. 6: Zusammenspiel von Raum-Lufttemperatur und Fußbodentemperatur bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung



(Terhaag, Ludwig: Thermische Behaglichkeit – Grundlagen. In: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Hrsg: Beckert, Johannes / Mechel, Fridolin P. / Lamprecht, Heinz-Otto. Düsseldorf: Beton-Verlag GmbH 1986. S. 56 und S. 65)

Den letzten klassischen Einflussparameter bildet die Luftfeuchtigkeit, da ein wesentlicher Anteil der Wärmeregulation des Körpers wie bereits beschrieben durch Verdunstung erfolgt. Das angeführte Diagramm zeigt, dass die Empfindlichkeit bei zunehmender Temperatur ansteigt. Bei extremen Verhältnissen kann das Raumklima als zu trocken oder zu feucht (also schwül) empfunden werden. Besonders im Wohn- und Bürobau sollten sich von vornherein Temperaturen einstellen, die in den Grenzen der thermischen Behaglichkeit liegen. Da die Spannweite für die zulässige Luftfeuchtigkeit in diesem Temperaturbereichen (siehe Abb. 7) sehr groß ist, kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Raum von untergeordneter Bedeutung ist, solange diese weniger als 60-70% beträgt.

Abb. 7: Zusammenspiel von Raumluft-Temperatur und Luftfeuchte bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung



(Terhaag, Ludwig: Thermische Behaglichkeit – Grundlagen. In: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Hrsg: Beckert, Johannes / Mechel, Fridolin P. / Lamprecht, Heinz-Otto. Düsseldorf: Beton-Verlag GmbH 1986. S. 66)

5.1.2. Warum sommerlicher Wärmeschutz?

Momentan ist eine deutliche Veränderung des weltweiten Klimas feststellbar, so waren, um ein Beispiel zu nennen, die letzten Jahre auf der Erde die heißesten. Viele eindeutige Wetterwerte in Österreich bestätigen diese Tendenz.

Ein Vergleich zwischen den Werten von 1991 bis 2000 und den von 1961 bis 1990 zeigt, dass es in Österreich sowohl in den Bergen als auch den Tälern wärmer geworden ist. Das Ausmaß der Erwärmung bewegt sich für die Halbjahresmittel zwischen 0,4 bis 0,8°C, im Jahresmittel 0,6 bis 0,7°C. Inwieweit die menschlichen Aktivitäten (Emissionen) direkt damit zu tun haben oder dieser Fakt natürliche Klimavariabilität darstellt, beschäftigt momentan viele Wissenschaftler weltweit.¹¹

¹¹ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1190 Wien, Hohe Warte 3: Klima. Wetterrekorde. In: URL: <http://www.zamg.ac.at/klima/wetterrekorde/?ts=1218130681> (letzter Zugriff: 07. 08.2008)

Ein anderes bekanntes Beispiel wäre auch die zunehmende Häufigkeit an Wirbelstürmen in Amerika, welche oft mit den Veränderungen des Golfstroms in Zusammenhang gebracht werden. Eindeutig wurde die direkte Korrelation des Menschen mit der globalen Erwärmung noch nicht wissenschaftlich bestätigt, die Klimaveränderung auf der Erde selbst gilt allerdings von den meisten Klimaforschern als erwiesen.

Wird von einem Zusammenhang des menschlichen Wirkens auf der Erde und der Temperaturerhöhung ausgegangen, sind die Ursachen der Veränderungen des globalen Klimas vor allem in den schädlichen Emissionen von Gasen, also durch die Verbrennung fossiler Energieträger zu suchen. Bereits früh wurde erkannt, dass besonders Kohlendioxid große Schäden verursacht. Der Einfluss auf die Erwärmung wird zu 50% CO₂, zu 19% Methan und zu 17% den Fluorkohlenwasserstoffen - der Rest allen anderen Gasen zugeordnet. Ein Großteil der Ursachen für die Veränderung des globalen Klimas ist in den Industrieländern zu finden. Mit nur 25% der Weltbevölkerung sind diese Staaten für 81% der Erwärmung verantwortlich. Es liegt also nahe, gerade in diesen - vorwiegend reicheren - Gegenden Gegenmaßnahmen anzusetzen. Erste Ansätze zum gesteigerten Bewusstsein in Bezug auf Ökologie und Energieeinsparung waren nach der Ölkrise 1973 erkennbar. Darüber hinaus hat es in der Zwischenzeit eine Fülle an Gesetzen und Usancen gegeben um dieser rapiden weltweiten Veränderung entgegenzuwirken. Neben der Automobilindustrie birgt das Bauwesen hier enormes Potential. Speziell in der Sanierung, aber auch beim Neubau liegen immense Einsparungschancen. In Zukunft ist es also wichtig die Planung und den Bau von Gebäuden im Sinne von klimagerechter Architektur und Nachhaltigkeit durchzuführen, sowie den bestehenden Trend zur Energieeinsparung weiter zu forcieren und zu unterstützen.¹²

„Der derzeit feststellbare Trend der weltweit ansteigenden Temperaturen ist im Jahr 2003 ganz dramatisch spürbar geworden. Jener Sommer war der heißeste seit Beginn der Temperaturmessung. In Ländern wie den USA brach in weiten Teilen des Landes auf Grund der hohen Energienachfrage die Stromversorgung zusammen und verursachte einen volkswirtschaftlichen Millionenschaden. [...] Der Grund für diese Versorgungsengpässe ist im weitaus höheren Energieeinsatz,

¹² Treberspurg, Martin: Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur. Zweite, aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Springer-Verlag 1999. S.1-6.

der für die Erzeugung von Kälte benötigt wird, zu suchen. Die Erfahrungen zeigen, dass die Kühlung der Gebäude um bis zu viermal energieaufwändiger ist als die Beheizung derselben.“¹³

Der gewachsene Bedarf an Energieeinsparung führte, abgesehen von Verbesserungen im Bereich des Wärmeschutzes, unweigerlich zur effizienteren Nutzung der solaren Gewinne in Gebäuden, um so den notwendigen Heizwärmebedarf zu senken. Dieses Bestreben zeigt sich in der Entwicklung von Niedrigenergie- und Passivhausbauten in den letzten Jahren, welche genau dieses Ziel verfolgen. Wie in obigem Absatz kurz angedeutet liegt die Lösung in Bezug auf den Klimawandel aber nicht nur im Senken der erforderlichen Heizlast, sondern vielmehr in der Bewertung des Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden. So wie der Treibstoffverbrauch im Verkehrswesen zu einem der wichtigsten Verkaufsargumente wurde, ist momentan, wenn man an den Energieausweis in Österreich denkt, eine ähnliche Entwicklung im Bauwesen spürbar. Durch die EBPD-Richtlinie der Europäischen Union wurden hier einschlägige Vorschriften geschaffen, um die Entwicklung des nachhaltigen Bauens zu fördern. Durch die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden wurden jedoch die Grenzen zur Erhaltung eines angenehmen Raumklimas immer enger. Es scheint, dass in der Vergangenheit die Komplexität des Sommerfalls unterschätzt oder einfach nicht beachtet wurde, was wiederum zu einer Überhitzung von Räumen führte. Abgesehen von Kosten die beim erhöhten Energiebedarf der technischen Kühlung auftreten, entstehen, beispielsweise in Büros, auch finanzielle Schäden aufgrund der verminderten Leistungsfähigkeit des Menschen bei Übertemperatur im Raum. Um der Überwärmung aus dem Weg zu gehen, sollte der verantwortungsbewusste Architekt bzw. Bauingenieur bereits in der Planung präventiv tätig werden, um so notwendig werdende Kühllasten und den damit verbundenen Energiebedarf so niedrig wie möglich zu halten.

5.2. Ziele der Arbeit

Sind keine Voraussetzungen für ein Raumklima, welches gewisse Rahmenbedingungen einhält, gegeben, gestaltet sich die Planung der Haus-

¹³ Rosenfelder, Robert: Sommerlicher Wärmeschutz. In: Ethics extra – Magazin für energiebewusstes Bauen. Ausgabe 1/08. Arbeitsgemeinschaft Wärmedämmverbundsysteme im Fachverband der Stein- und Keramischen Industrie. Wien 2008. S 1.

technik oft schwierig. Bei fehlender Rücksichtnahme auf die Behaglichkeitsanforderungen in den Anfängen der Planung ist es im Nachhinein nahezu unmöglich ohne Einbußen in der Wirtschaftlichkeit bei der Errichtung der haustechnischen Anlagen zu agieren. Nach Abschluss der architektonischen Planung, in manchen Fällen sogar nach dem Entwurf, ist die Implikation der TGA-Planung schon zu spät. Die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist daher schon in einem sehr frühen Planungsstadium in die richtige Richtung zu lenken. Einschlägige Überlegungen beim Entwurf bilden eine gute Basis für eine spätere fundierte Umsetzung, die alle Bereiche des komplexen Arbeitsvorganges der Konzeption und Errichtung von Bauten abdeckt.

Die Abschätzung der sommerlichen Überwärmung und deren Vermeidung kann durch verschiedene einschlägige Simulationsprogramme erfolgen. Diese prognostizierenden Berechnungen erfordern die Eingabe von vielen unterschiedlichen Eingangsparametern. Für erste Berechnungen, beispielsweise zur Kontrolle des Entwurfs auf klimatische Tauglichkeit, ist diese Art der Berechnung jedoch sehr aufwändig. Auch kleinere Änderungen beim Gebäudekonzept können auf das Raumklima starken Einfluss haben, da minimale Abweichungen bei den Eingangsparametern oft große Auswirkungen auf den Endzustand hervorrufen. Um die Überwärmungstendenz besser abschätzen zu können, sollen in der vorliegenden Arbeit ihre Einflussfaktoren per se aufgezeigt und deren Effekte auf das Endergebnis entsprechend dokumentiert werden.

In weiterer Folge wird versucht einen vereinfachten Formelapparat zur Prognose der sommerlichen Überwärmung zu erstellen, welcher gegenüber den eher aufwendigen Simulationen nur wenig Zeit in Anspruch nimmt. So wird eine grobe Abschätzung der Gefahren im Sommerfall im Entwurfsstadium oder bei Planungsänderungen ermöglicht um so nach ökologischen und ökonomischen Richtlinien effizient zu entwerfen und zu planen.

Auf den ersten Blick erscheint die Verkleinerung der Fensterflächen als einfachste Maßnahme um im Sommerfall Überwärmung in Räumen zu vermeiden.

Die Wichtigkeit der Sonne als Grundlage des Lebens und der Zufriedenheit des Menschen kann jedoch kaum überschätzt werden. So sind der Tageslichteinfall und die Wohnzufriedenheit von Personen direkt miteinander verknüpft. Aus medizinischer Sicht ist natürliches Licht für das Wohlbefinden, speziell für Säuglinge und Kinder, von großer Bedeutung - Mangel kann sogar Krankheiten hervorrufen. Aus Sicht der Psychologie und Psychiatrie stellt der Licht-Dunkel-

Rhythmus einen wichtigen Parameter für das Wohlbefinden dar. Die Regelmäßigkeit assoziiert der menschliche Organismus mit Gesundheit. Bei vielen Menschen äußern sich beispielsweise die kürzer werdenden Tage im Herbst und Winter als „Winterdepression“. Bauphysikalisch gesehen bewirkt die Sonne auch eine Entkeimung und Austrocknung der Wohnräume.¹⁴

Aus diesem Grund soll neben dem gesamten Thema der sommerlichen Überwärmung vertiefend auf die Wirkung von Fenstern auf das Raumklima und die Bewohner eingegangen werden.

¹⁴ Treberspurg, Martin: Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur. Zweite, aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Springer-Verlag 1999. S.7-10.

6. Empirischer Teil – Vermeidung der Überwärmung

6.1. Derzeit gängige Berechnungsverfahren

6.1.1. Berechnung nach ÖNORM B 8110-3

Zur Vermeidung von sommerlicher Überwärmung gibt es in Österreich die ÖNORM B 8110-3 „Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse“, welche sich mit den Berechnungen für den Sommerfall beschäftigt.

Der Nachweis ist für den ungünstigsten Raum zu führen, welcher meist jener mit den größten Immissionsflächen ist und im Verhältnis wenig Speichermasse besitzt. Hierbei sei erwähnt, dass der Input an solarer Strahlung den Heizwärmebedarf mindern kann. Problematisch ist jedoch, dass die Gewinne zufolge solarer Strahlung nicht immer dann anfallen, wenn diese aus energetischer Sicht erwünscht sind. Im Winter können die solaren Immissionen durch ausreichende Masse der innenliegenden Bauteile tagsüber gespeichert und nachts abgegeben werden. Im Sommer sollte sich der umgekehrte Effekt einstellen.¹⁵

6.1.1.1. Wärmespeicherung, -aufnahme und -abgabe

Für ein gut funktionierendes Raumklima sind daher nicht nur ausreichende Speichermassen, sondern auch die Temperaturamplitudendämpfung sowie die Phasenverschiebung eines Bauteils relevant.

„Eine gute Wärmespeicherung bewirkt:

- langsames Aufheizen der Räume
- langsames Auskühlen bei Heizungsunterbrechung
- geringe Temperaturschwankungen im Raum
- verzögerte Wärmeabgabe bei Sonnenbestrahlung von außen

¹⁵ Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004. S. 77.

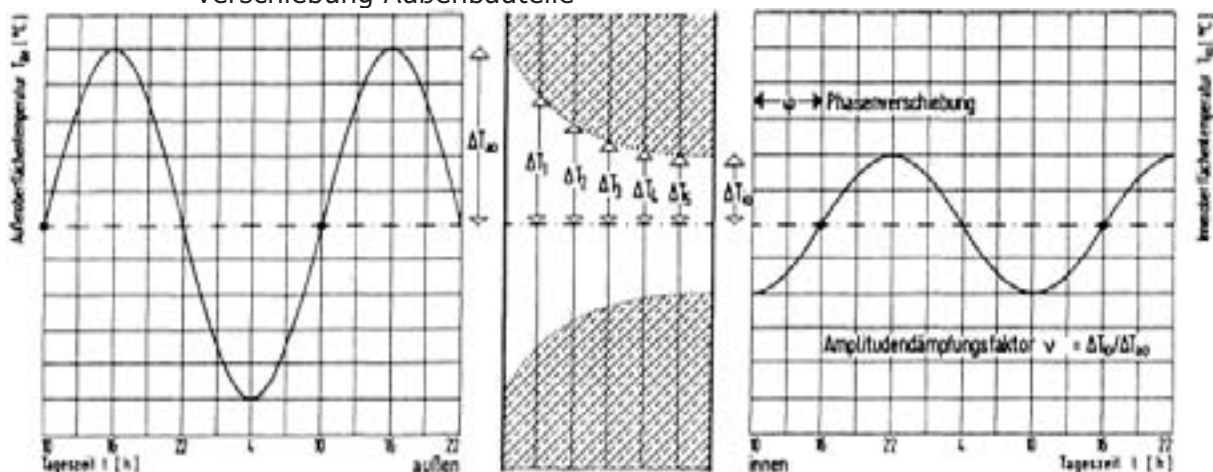
Die hohe Wärmespeicherung ist überall dort erstrebenswert, wo Räume dauernd beheizt werden, besonders wirksam aber gegen die Sonneneinstrahlung im Sommer.¹⁶

Je höher die speicherwirksame Masse eines Bauteils, desto träger ist seine Wärmeaufnahme bzw. -abgabe. Bauteile mit unterschiedlicher Temperatur gegenüber ihrer Umgebung haben also das Bestreben ihre Eigentemperatur an diese anzugleichen.

„Die in den Bauteil eindringende Wärme wird im Bauteil solange gespeichert, wie die Umgebungstemperatur größer als die Bauteiltemperatur ist. Die gespeicherte Wärmemenge ist dabei zum ersten abhängig vom Wärmespeicherwert w der Konstruktion. Dieser ist proportional der Masse und der spezifischen Wärmekapazität c . Zum zweiten erhöht sich die speicherbare oder gespeicherte Wärmemenge mit der Wärmespeicherkapazität Q_s . Diese ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Bauteil- und Lufttemperatur und dem Wärmespeicherwert der Konstruktion.“¹⁷

Zusätzlich spielt das Tempo der Wärmeaufnahme und -abgabe eine wesentliche Rolle. Um die optimale Ausnutzung der Speicherfähigkeit eines Bauteils zu ermöglichen, wäre also eine Konstruktion anzustreben, in der der Wärmefluss aufgrund der Phasenverschiebung im Tag-Nacht-Zyklus erfolgt.

Abb. 8: Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung Außenbauteile



(Pech, Anton: Baukonstruktionen. Kapitel Bauphysik. 2. Auflage 11.2001. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06. S.2-7.)

¹⁶ Riccabona, Christof: Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik. 5., neubearbeitete Auflage. Wien: Verlag Manz 1996. S 61.

¹⁷ Pech, Anton: Baukonstruktionen. Kapitel Bauphysik. 2. Auflage 11.2001. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06. S.2-6.

„Neben der Wärmespeicherfähigkeit des Bauteils ist daher dessen Wärmebeharrungsvermögen oder Wärmeträgheit von Belang. Diese Eigenschaft gibt Aufschluss darüber, wie schnell die Wärme in den Bauteil eindringen kann. Sie ist also abhängig von der Wärmeeindringzahl. Diese steigt mit wachsender Wärmeleitfähigkeit als auch mit der Dichte des Materials.“¹⁸

6.1.1.2. Nachweis nach ÖNORM B 8110-3

Der Schutz gegen sommerliche Überwärmung wird in der beschriebenen ÖNORM durch den Nachweis von ausreichender thermischer Trägheit, Berücksichtigung von immissionshemmenden Wirkungen (z.B. Verschattung, g-Wert), sowie der Wärmeabfuhr durch Lüftung erzielt.

„In Sommer- und Übergangszeiten stellen

- der Sonnenschutz
- die Raumlüftung, insbesondere die Nachtlüftung
- die speicherwirksame Masse der raumumschließenden Bauteile sowie der Einrichtung
- die Orientierung der strahlungsdurchlässigen Flächen

wirksame (bautechnische) Mittel zur Vermeidung der Raumüberwärmung durch Sonneneinstrahlung dar. Die mögliche Überwärmung durch innere Wärmequellen (z.B. Personen-, Beleuchtungs- und Gerätemwärme) ist gesondert zu berücksichtigen.“¹⁹

Die Norm setzt hierbei voraus, dass die Lüftung zur Wärmeabfuhr genutzt wird. In der Praxis wird dies oft durch Nachtlüftung erreicht, sofern die Außentemperatur geringer als die Innentemperatur ist, kann auch Taglüftung Anwendung finden.

Die ÖNORM B 8110-3 stellt Mindestanforderungen – unter Berücksichtigung der obigen Faktoren - an die speicherwirksamen Massen im ungünstigsten Einzelraum.

„Sommerliche Überwärmung wird als vermieden betrachtet, wenn die empfundene Raumtemperatur in dem betrachteten Raum während einer

¹⁸ Pech, Anton: Baukonstruktionen. Kapitel Bauphysik. 2. Auflage 11.2001. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06. S.2-7.

¹⁹ Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Abschnitt 3.1.

Hitzeperiode festgelegte Grenztemperaturen nicht überschreitet. Diese Grenztemperatur t^* beträgt für die Nutzungszeit am Tage $+27^{\circ}\text{C}$ und in der Nacht $+25^{\circ}\text{C}$.²⁰

Dieser Nachweis kann entweder durch ein simulierendes Rechenprogramm, welches die Anforderungen nach ÖNORM EN ISO 13792 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Vereinfachtes Berechnungsverfahren.“ erfüllt, oder durch die Ermittlung der mindesterforderlichen speicherwirksamen Masse gem. ÖNORM B 8110-3 geführt werden.

Bei zuletzt genanntem Nachweis wird zunächst die vorhandene speicherwirksame Masse m_w sämtlicher Hüllflächen, also des gesamten Raumes, ermittelt. Diese kann mit einschlägigen Rechenverfahren bzw. -programmen präzise eruiert werden. Zur Vereinfachung dieses Rechenvorgangs bietet die ÖNORM B 8110-3 im Anhang Tabellen und Diagramme für die Ermittlung der flächenbezogenen speicherwirksamen Masse von Bauteilen typischer Baustoffe, weshalb in diesem Zuge auf die exakte Berechnung nicht näher eingegangen werden soll. Die Masse der Einrichtung darf in dieser Berechnung ebenfalls berücksichtigt werden.

Danach muss die Immissionsfläche des Raumes ermittelt werden:

$$A_I = \sum A_{AL} \cdot f_G \cdot g \cdot z \cdot Z_{ON} + A_S + A_T$$

Hierbei bedeutet:

A_I Immissionsfläche in m^2

A_{AL} durch die Architekturlichte gegebene Fensterfläche oder (sonnentechnische) Bauteilfläche in m^2

f_G Glasflächenanteil (dimensionslos)

g Gesamtenergie-Durchlassgrad (dimensionslos)

z Abminderungsfaktor einer Verschattungseinrichtung

Z_{ON} Orientierungs- und Neigungsfaktor (dimensionslos)

A_S äquivalente Immissionsfläche für Personenwärme in m^2

A_T äquivalente Immissionsfläche für technische Wärmequellen in m^2 ²¹

²⁰ Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Abschnitt 6.1.

²¹ Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Abschnitt 8.1.1. (2).

Mit dieser Formel erhält man eine fiktive Immissionsfläche, welche später zur Ermittlung der vorhandenen immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse $m_{w,AI}$ herangezogen wird.

Richtwerte für die Eingangsparameter der obigen Formel finden sich in der ÖNORM B 8110-3 wieder. Spezielle Eigenschaften eines bestimmten Bauteils (z.B. g-Wert bei Sonnenschutzgläsern oder der Reduktionsfaktor der Verschattung) können auch durch ein Prüfzeugnis vom Hersteller nachgewiesen und so in die Berechnung eingebunden werden.

Die ÖNORM B 8110-3/AC1 Ausgabe 01.06.2001 enthält Berichtigungen der Z_{ON} -Faktoren in Tabelle 4 gegenüber der ÖNORM B 8110-3 vom 01.12.1999 und ist mit dieser gemeinsam anzuwenden.

Im nächsten Schritt wird der Einfluss der Lüftung in die Berechnung impliziert: „Die nächtliche Dauerlüftung ist unter Beachtung notwendiger Sicherheitserfordernisse (gegen Sturm, Einbruch u. dgl.) sicherzustellen. Bei Anwendung der Luftwechselzahlen n_L ist deren Erfüllung über 24 Stunden – insbesondere der Nachtzeit – einzuhalten. Tagsüber ist zumindest der hygienisch erforderliche Luftwechsel sicherzustellen. [...]

$$V_{L,S} = \frac{n_L \cdot V}{\sum A_I}$$

Hierbei bedeutet:

$V_{L,S}$ immissionsbezogener stündlicher Luftvolumenstrom in $\frac{m^3}{h \cdot m^2}$

n_L Luftwechselzahl in h^{-1}

V Volumen des Raumes in m^3

A_I Immissionsfläche in m^2 ²²

Für die Luftwechselzahl n_L sind je nach Anordnung der Fenster im Raum im Abschnitt 6.1.2 der ÖNORM B 8110-3 fixe Werte vorgegeben. Diese Werte betragen bei voller Öffnung der Lüftungsflügel $n_L = 1,50h^{-1}$ bei Lüftungsöffnungen in einer Fassadenebene, $n_L = 2,50h^{-1}$ bei zwei Fassadenebenen und $n_L = 3,00h^{-1}$ bei drei oder mehr Fassadenebenen.

Je nach immissionsbezogenem, stündlichem Luftvolumenstrom $V_{L,S}$ entstehen durch die Norm unterschiedliche Anforderungen an die mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,AI}$. (siehe ÖNORM B 8110-3: Tabelle 2). Zwischenwerte dürfen im Bedarfsfall interpoliert werden.

²² Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Abschnitt 6.1.2.

Die vorhandene immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,AI}$ ergibt sich somit durch:

$$m_{w,AI} = \frac{m_w}{A_I} \leq m_{w,AI} \quad (\text{lt. Tab. 2 in ÖNORM B 8110-3})$$

Hierbei bedeutet:

$m_{w,AI}$ immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

m_w gesamte Speichermasse des Raumes in kg

A_I Immissionsfläche in m^2

Diese Immissionsfläche A_I wird beispielsweise durch die Anordnung einer Verschattung verringert, wodurch sich wiederum die vorhandene immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,AI}$ erhöht. So können durch Kenntnis des Berechnungsverfahrens aktive Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung bereits im Planungsstadium getroffen werden.

6.1.2. Berechnung mit dynamisch-thermischer Gebäudesimulation

Grundsätzlich können Gebäudesimulationen an bestehenden und geplanten Objekten durchgeführt werden.

Es wird schon lange versucht, praxisnahe Rechenmodelle für die Simulation von Raumklima und technischer Gebäudeausrüstung zu finden. Vor allem in der Anfangszeit solcher Berechnungen, welche in den sechziger und siebziger Jahren zu finden ist, wurden bei der Abschätzung viele Vereinfachungen getroffen, um so den Rechenapparat klein zu halten und die Anwender solcher Formelapparate nicht überzustrapazieren. Darüber hinaus wurde in dieser Zeit bei der Planung von raumluftechnischen und haustechnischen Anlagen nur wenig Rücksicht auf die Gebäudestruktur genommen. Daher sind viele Anlagen aus dieser Bauperiode stark überdimensioniert. Erst mit dem nach und nach gesteigerten Bewusstsein zur Energieeffizienz, beispielsweise durch die Ölkrise, stieg auch der Bedarf nach einer effizienteren technischen Gebäudeausrüstung. Zur Kostenminimierung bei Anschaffung und Nutzung, sowie hauptsächlich bei der Feststellung der erforderlichen Heizlast, waren damalige Verfahren zur Abschätzung solcher Anlagen zu ungenau. Simulationsverfahren zur Auslegung sämtlicher Haustechnik wurden weiterentwickelt und werden immer weiter verfeinert, um so das thermische und energetische Verhalten von Gebäuden näher zu analysieren. Der Trend geht dahin, soviel Technik wie für den persönlichen Standard des Benutzers nötig, jedoch so wenig bzw. so effizient wie möglich zu implizieren.

Des Weiteren wurde bei der Auslegung vieler technischer Gebäudeanlagen die Tatsache unterschätzt, dass sich diese gegenseitig beeinflussen. Die TGA kann somit nicht mit ihren einzelnen Komponenten beurteilt, sondern muss ganzheitlich betrachtet werden. Durch die Entwicklung von einschlägiger, leistungsfähiger und gleichzeitig bedienungsfreundlicher Software wurde die zunehmende Komplexität des Themas weitestgehend umgangen.

Die thermisch-dynamische Gebäudesimulation kennt verschiedene Begriffe für die Teilgebiete und unterschiedliche Ergebnisse:

Allgemein wird unter Simulation ein experimentelles Vorgehen verstanden, wobei bestimmte Eigenschaften, am sogenannten Simulator, untersucht werden. Bei den meisten Programmen geschieht dies durch zeitabhängige Untersuchung des thermischen und energetischen Verhaltens von Gebäuden oder Gebäudeteilen, sowie der Untersuchung der haustechnischen Anlagen zur Raumkonditionierung und Energieverteilung. Bei der thermischen Gebäudesimulation wird eine dynamische Berechnung der Raum- und Bauteiltemperaturen in einem Raum oder einem Gebäude, abhängig von Klima, Gebäudestruktur, Nutzung und Betrieb der raumlufttechnischen Anlagen vorgenommen. Die energetische Gebäudesimulation bildet eine abgeleitete Berechnung des Energiebedarfs zur Raumkonditionierung eines genutzten Gebäudes. Hierbei wird oft der gesamte Energiebedarf für Heizen, Kühlen, gegebenenfalls auch für Be- und Entfeuchten oder Beleuchtung eruiert. In weiterer Folge kann auch der Energiebedarf, bei durchschnittlichem Bedarf aber auch zu Spitzenzeiten, zum Betrieb dieser Anlagen errechnet werden. Ein umfangreiches, aber interessantes Kapitel bildet die Strömungssimulation: Hier kann die räumliche Verteilung der Raumlufthtemperatur, der Raumfeuchte, der Raumlufthgeschwindigkeit oder des Raumlufthdrucks punktuell ermittelt werden. Die Ergebnisse sind somit Temperatur, Druck, Geschwindigkeit und andere Stoffwerte in verschiedenen Bereichen eines Raumes. In der Praxis können dadurch bestimmte Gefahrenbereiche oder das Aufeinandertreffen von ungünstigen Eingangsparametern zueinander lokal untersucht und gezielte Gegenmaßnahmen getroffen werden.²³

²³ ifes GmbH. Institut für angewandte Energie- und Strömungssimulation. Augustinerstraße 11c, 50226 Frechen: TAS Software. Wissenschaftliche Grundlagen. In: URL: http://www.ifes-frechen.de/IFES_04/Software.htm (letzter Zugriff: 08. 08.2008)

Abgesehen von der bauphysikalischen Simulation sei noch das Gebiet der Bauwerksaerodynamik, bzw. äußeren Strömungssimulation erwähnt:

„Durch die Visualisierung der Ergebnisse werden Strömungsvorgänge sichtbar gemacht, die einer Messung nicht - oder nur unter hohem Aufwand - zugänglich sind. [...] Experten können dadurch etwaige Problemzonen noch vor der ersten Planungsumsetzung identifizieren und beratend bei der Auslegung bzw. Optimierung des Objektes mitwirken. Die Strömungssimulation ermöglicht die Untersuchung von Bauwerken in nahezu beliebiger Form und Größe. Durch die Modellierung im natürlichen Maßstab werden Skalierungseffekte vermieden. Die Vielzahl an errechneten Daten ermöglicht eine detaillierte Auswertung des Strömungsfeldes, der Temperaturverteilungen, sowie von Druck- und Sogkräften.“²⁴

Neben der Berechnung bei Gebäuden finden in der Praxis auch zunehmend Simulationen zur Dimensionierung von Lüftungsanlagen, zur Prognose der Rauchgasausbreitung im Brandfall und der Schadstoffverfrachtung Anwendung. Bei der eigentlichen Berechnung der technischen Gebäudeausrüstung wird versucht, möglichst alle relevanten physikalischen Einflussparameter zu berücksichtigen.

„Bei der Auslegung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssystemen stellt sich die Herausforderung, mit möglichst wenig Investitions- und Primärenergieaufwand Verhältnisse herzustellen, die für den Benutzer unter unterschiedlichsten Randbedingungen stets behaglich sind.“ Unter Zuhilfenahme der Strömungssimulation wird es ermöglicht, diese Szenarien schon vorweg durchzuspielen, um die Leistungsfähigkeit eines Konzeptes oder eines Gebäudeentwurfs im Vorfeld zu untersuchen. „Ungünstige Temperaturschichtungen, Kaltluftabfälle oder Hot-Spots werden hier genauso erkannt, wie Bereiche mit unangenehmer Zugluft. Durch Optimierung des Konzeptes werden schließlich die gewünschten Verhältnisse eingestellt, in vielen Fällen sogar Energie- und Kosteneinsparungen erzielt.“²⁵

²⁴ Bach, Brigitte: Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation. In: URL: http://www.arsenal.ac.at/products/products_en_gt_dyn_de.html (letzter Zugriff: 11. 08. 2008)

²⁵ Teppner, Renate: Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation. Raumluftströmungen, Heizung-Lüftung-Klima. In: URL: http://www.arsenal.ac.at/products/products_en_dyn_hlk_de.html (letzter Zugriff: 11. 08. 2008)

Ziel bei zukünftigen Bauvorhaben ist es also, ein möglichst realitätsnahes Modell des zu untersuchenden Gebäudes abzubilden. Wichtig ist hierbei die Verwendung von Klimadaten des jeweiligen Standorts. In den meisten Programmen ist daher ein Klimadatensatz hinterlegt, in dem die spezifischen Rahmenbedingungen und die ortsüblich zu erwartenden äußeren Einwirkungen zu finden sind und – meist automatisch – genau berücksichtigt werden können. Wie bereits bei der Definition der Strömungssimulation erwähnt, bieten die Simulationsprogramme in der Praxis die Möglichkeit, solare Einstrahlung durch Glasflächen, verschiedene Einflüsse von Beschattungssystemen, Erwärmung durch innere Lasten, Raum und Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit von Heiz- und Kühlsystemen zeitabhängig zu berücksichtigen. Bei der energetischen Gebäudesimulation fließen in die Berechnung des Energiebedarfs der bereits obig erwähnten Anlagen die nutzungsspezifischen energetischen Einträge durch Personen und Geräte ein. Die Ergebnisse haben starke Aussagekraft in Bezug auf das Raumklima, besonders bei der Über- und Unterschreitung von Grenztemperaturen, Empfindungs- und Oberflächentemperaturen, sowie Umgebungs- und relativer Feuchte. Das Einsatzgebiet von Simulationen liegt momentan in der Schnittstelle zwischen Objektplanung und haustechnischer Planung, also zwischen Architekten und Haustechnik-Ingenieuren.²⁶

Die Zukunft der funktionierenden Anwendung solcher Programme liegt daher in der möglichst engen Vernetzung dieser Planungskonsulenten um so unerwünschten Raumklimabedingungen in der Praxis bereits im Planungsstadium entgegenzuwirken.

6.2. Kritische Betrachtung der genannten Verfahren

6.2.1. Praktische Betrachtung der Berechnung nach ÖNORM B 8110-3

Grundsätzlich bildet die Berechnung nach der ÖNORM B 8110-3 (Wärmeschutz im Hochbau, Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse) ein solides Werkzeug zur Berechnung und Bewertung der Gefahren bezüglich der Überwärmungstendenz

²⁶ Pfurtscheller, Gerhard: Thermisch-dynamische Gebäudesimulation. Dynamische Gebäudesimulation mittels TAS 9.0.7 (Thermal Analysis Software) In: URL: <http://www.alpsolar.com/test/wp-content/uploads/2008/01/gebaeudesimulation.pdf> (letzter Zugriff: 11.08.2008)

von Räumen. Werden die Bedingungen dieses Regelwerks eingehalten, ist ein wesentlicher Bestandteil für die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes gegeben. Durch Vereinfachungen bei den Formelapparaten in verschiedenen Bereichen, beispielsweise der äußeren und inneren Einträge, kann es bei bestimmten Räumen in der Praxis zu quantitativen Abweichungen bei den Ergebnissen gegenüber genauen Simulationen kommen. Einige Einflussparameter werden vernachlässigt, oder in vereinfachter Form in die Berechnung aufgenommen.

Die ÖNORM vernachlässigt die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Außenhülle, da diese Kenngrößen eines Gebäudes nur minimalen Einfluss auf das Endergebnis haben. Da die Entwicklung unserer Zeit dahingeht, Gebäude energetisch immer besser zu gestalten und daher auch die Dämmeigenschaften der äußeren Bauteile zu erhöhen, steigt dieser Parameter in seinem Einfluss. Im experimentellen Teil soll anhand einer Simulation untersucht werden, inwieweit dieser Umstand Ergebnisse verändert. Bei grenzwertig zu betrachtenden Objekten könnte die Berücksichtigung der Hülle relevant werden.

Darüber hinaus zeigt sich bei den folgenden Untersuchungen dieser Arbeit, dass, wie auch in der Norm, die Raumlüftung einen wesentlichen Anteil zur Vermeidung der Übertemperatur in Räumen darstellt. Dieser Faktor wird allerdings bei der ÖNORM nur abgestuft (siehe Kap. 6.1.1.2), je nach Anordnung der Lüftungsflächen, in die Berechnung impliziert. In modernen Bauten, vor allem in Einfamilienhäusern, finden sich immer öfter mechanische Lüftungsanlagen mit und ohne vorgeschaltetem Kühlregister (Erdregister), welche aus energetischen Gründen mit weit geringerem Luftaustausch als Normwert (geringster Wert lt. ÖNORM 1,50 1/h) arbeiten. Aus diesem Grund kann, vor allem im Sommerfall, dieser Faktor eine wesentliche Rolle für das Raumklima spielen und sollte in Zukunft näher in den Berechnungen berücksichtigt werden. Aber auch der Umstand, dass zur Gewährleistung der in der ÖNORM vorgegebenen Werte die Lüftungsflügel voll geöffnet werden sollten, gestaltet sich in der Praxis oft schwierig. In Bezug auf notwendige Sicherheitserfordernisse, beispielsweise Sturm oder Schutz gegen Einbruch kann es hierbei zu Problemen kommen. Um eine Kühlung durch Luftaustausch zu erreichen wird in der Regel Nachtlüftung vorausgesetzt, welche vor allem bei unbewachten Büros ohne den Einbau von entsprechenden Stellmotoren und den zugehörigen Sensoren nur schwer umgesetzt werden kann. Kippen der Fenster

wäre ein Lösungsansatz, bietet allerdings keinen Einbruchsschutz und erfüllt meist nicht den erforderlichen Luftwechsel.

Oft wird der Anteil an internen Energiegewinnen (z.B. durch elektronische Geräte) unterschätzt oder erhält durch eine Nutzungsänderung eines Objektes differenzierte Bedeutung. Durch die zunehmende Nutzung von Elektronik, besonders bei Bürobauten, steigen diese Anteile an internen Wärmequellen. Diese können oft im täglichen Betrieb kaum eliminiert, und werden nur grob durch die Berechnung lt. ÖNORM abgedeckt. Bei absehbar hoher Belastung durch interne Wärmequellen ist daher zu einer Simulation zu raten. Für die Entwicklung eines vereinfachten Berechnungsmodells im experimentellen Teil soll jedoch ebenfalls mit einem angenommenen Fixwert das auslangen gefunden werden.

Im Abschnitt 6 und 8 der ÖNORM B 8110-3 sind noch Empfehlungen für besonnungsmäßig günstig liegende Glasflächen (Sonnenfenster, Sonnenveranda und Wintergarten) zur Verminderung des Heizwärmebedarfes und der damit verbundenen erhöhten notwendigen Speichermasse erwähnt. Besonders bei Räumen mit geringerer Speichermasse sind diese Erleichterungen in Bezug auf die Heizlast kritisch zu betrachten, und so ist diesen Baukörpern im Hinblick auf sommerliche Überwärmung besondere Beachtung zu schenken.

6.2.2. Thermisch-dynamische Simulationen in der Baupraxis

Die genauesten und am besten verwertbaren Ergebnisse werden sicherlich durch Anwendung einer thermisch-dynamischen Gebäudesimulation erzielt. In den meisten Fällen wird bei der einschlägigen Software auf vereinfachende Annahmen verzichtet und streng nach physikalischen Regeln gerechnet. Die Simulation selbst erfordert allerdings aufgrund der komplexen Rechenvorgänge genaue Kenntnis des Programms und der einzelnen Parameter. In den meisten Fällen sind solch detaillierte Berechnungen auch mit einem hohen Arbeitsaufwand in der Eingabe verbunden. Auch geringere Änderungen in der Architektur oder Konzeption eines Gebäudes können große Einwirkungen auf die klimatischen Bedingungen im Innenraum haben und erfordern oft erneut hohen Zeitaufwand bei der Berechnung. Um die Machbarkeit einer Idee zu prüfen steht dieser hohe Einsatz an Arbeitszeit in vielen Fällen nicht im Verhältnis zu den Ergebnissen oder betriebswirtschaftlichen Interessen.

Aus diesem Grund wurde die Idee geboren in der vorliegenden Arbeit ein vereinfachtes Berechnungsverfahren zu entwickeln, welches in Bezug auf die ÖNORM etwas genauer auf die einzelnen Einflussparameter eingeht, jedoch im Verhältnis zu einer Simulation mit nur wenig Zeitaufwand zu bewerkstelligen ist. Durch diese Vereinfachung soll auch ohne die Verwendung eines PC's eine schnelle Grobabschätzung in diesem Themenbereich ermöglicht werden können. Die Entstehung und Anwendung soll im folgenden experimentellen Teil, der Entwicklung eines vereinfachten Rechenmodells für den architektonischen Entwurf, näher erläutert werden.

7. Experimenteller Teil

7.1. Entwicklung eines vereinfachten Rechenmodells für den architektonischen Entwurf

7.1.1. Gewählte Software für die Untersuchung

Bei der Auswahl einer einschlägigen Software steht nicht nur die Qualität, sondern auch die einfache Möglichkeit der Interpretation der Ergebnisse im Vordergrund. Diese Einfachheit der Ausgabewerte des Programms soll sich dann in weiterer Folge im entwickelten Berechnungsschema wiederfinden.

Die ÖNORM-B 8110-3 bildet ein weit verbreitetes und bereits erprobtes Tool zur Abschätzung der Überwärmungstendenz. Ziel des entwickelten Berechnungsschemas ist es, die Ergebnisse in einem Wert auszudrücken und die Quantität der Gefahr bezüglich sommerlicher Überwärmung auf einen Blick zu erkennen. Da die ÖNORM in diesem Berechnungsverfahren das Ergebnis in Form der notwendigen speicherwirksamen Masse ausdrückt, und dieses von Personen, die mit diesem Thema der Bauphysik nicht allzu sehr vertraut sind, oft schwer interpretiert werden kann, wurde in dieser Seminararbeit zunächst versucht einen leicht adaptierten Formelapparat zu entwickeln. Um allerdings Tendenzen zur Beurteilung der einzelnen Einflussparameter per se erkennen und analysieren zu können, wird bei den folgenden Versuchsreihen beim Aufbau der neuen, groben Berechnung die ÖNORM B 8110-3 nicht weiter verwendet.

Einige Simulationsprogramme werfen beim Nachweis der Überwärmung in Räumen bzw. Gebäuden die Anzahl der Tage in % aus, an denen ein zuvor eingegebener Grenzwert der Innentemperatur überschritten wird. Dieser Ansatz scheint selbst für Laien als sehr verständlich und wird daher weiterverfolgt.

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die momentan erkennbare Tendenz – bezüglich der stetigen energetischen Verbesserung von Bauten – immer weiter zunehmen wird. Daher wird eine Software favorisiert, welche sich vor allem mit Niedrigenergie- und Passivhausstandards beschäftigt. Ein renommiertes Institut für solche Forschungen ist das Passivhausinstitut

Dr. Wolfgang Feist in Darmstadt (Deutschland)²⁷, welches sich schon seit Jahren mit der Simulation solcher Gebäude beschäftigt, und immer wieder die errechneten Ergebnisse durch reale Versuche an gebauten Objekten überprüft. Dadurch wird ein hohes Maß an der Richtigkeit der Ausgabedaten solcher Simulationen sichergestellt.

Dieses Institut hat ein Programm namens PPHP (Passivhaus-Projektierungspaket) entwickelt, welches sich auf Ausgabewerte aus komplexen dynamisch-thermischen Simulationen mit der Software DYNBIL, sowie auf Messergebnisse in der Praxis an 1:1-Modellen stützt. Beim PPHP handelt sich um ein bilanzierendes Simulationsprogramm, welches in den Ergebnissen (in Bezug auf sommerliche Überwärmung) Jahresmittel auswirft.

Durch persönliche Erfahrungen des Autors bei der Konzeption, dem Entwurf, allen Phasen der Bauplanung und der Umsetzung von Gebäuden im Niedrigenergie- und Passivhausstandard wurde festgestellt, dass die zwischen den Empfindungen der Bewohner und den ursprünglichen Berechnungen mit dieser Software eine gute Übereinstimmung zu finden ist.

Aufgrund der Verwendung von Untersuchungsergebnissen aus der Praxis vom genannten Institut und wegen positiven Erfahrungen fällt die Wahl auf die eben genannte Software PPHP zur getrennten Untersuchung der Einflussparameter sowie zur Erstellung einer „Faustformel“ für die Vermeidung von sommerlicher Überwärmung.

7.1.2. Modellbeschreibung

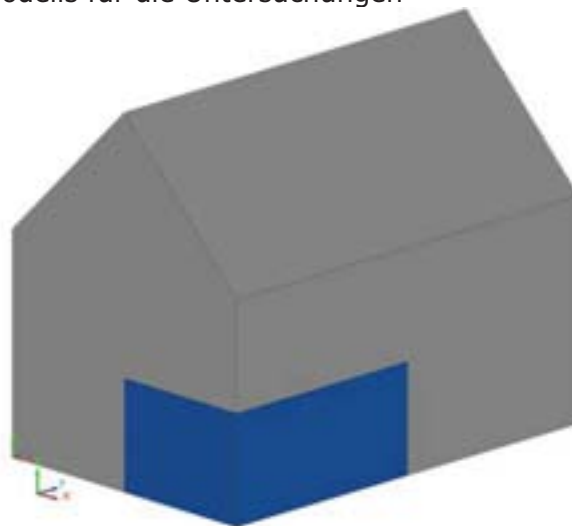
Bei der Erstellung eines Rechenmodells wird zunächst ein Prototyp eines Raumes definiert, welcher einen Mittelwert für sämtliche Berechnungen bildet, und gleichzeitig sowohl einigermaßen in seinen Abmessungen, als auch im Hinblick auf bauphysikalische Aspekte einen durchschnittlichen Raum mit unterschiedlichen Nutzungen in der Praxis repräsentiert.

Unterschiedliche Berechnungen in verschiedenen Bereichen der Baubranche bauen auf der sogenannten ÖNORM-Box gemäß ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 1 „Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 1: Einfamilienhaus -

²⁷ Passivhaus Institut. Dr. Wolfgang Feist. Rheinstraße 44/46. D-64283 Darmstadt. www.passiv.de

Validierungsbeispiele für die Berechnung des Heizwärmebedarfs“ auf. Um mit diesen Versuchen in gewisser Hinsicht konform zu laufen wurde der Prototyp-Raum in den Berechnungen auf diese ÖNORM-Box aufgebaut. In diesem Berechnungsmodell, welches zirka der Größe eines durchschnittlichen Einfamilienhauses entspricht, wurde ein Raum impliziert, der am ehesten in Proportion und Größe einem Wohnraum entspricht. Konkret wurden von dem ÖNORM-Modell jeweils die halben Fassadenlängen als Raumgröße herangezogen, um darauf verschiedene Rechenfälle aufzubauen. Die ÖNORM-Box ist ein Quader mit den die Abmessungen 12m (Länge) x 8m (Breite) x 6m (Höhe) mit aufgesetztem Satteldach mit 45° Dachneigung. Aufgrund der halbgeteilten Fassadenlängen ergibt sich somit ein Raum mit den Abmessungen 6m x 4m x 3m (siehe Abb. 9). Der Raum für das Simulationsmodell ist im Erdgeschoss gewählt, wodurch sich gemeinsam mit den obigen Beschreibungen für nachfolgende Berechnungen ein Raum mit zwei Außenwänden, zwei Innenwänden, einem erdberührtem Fußboden und einer Zwischendecke gemäß folgendem Bild ergibt:

Abb. 9: Graphische Darstellung des gewählten Rechenmodells für die Untersuchungen



(Graphik erstellt mit: cadwork. Version 15)

7.1.3. Einflussparameter und Vereinfachungen bei der Berechnung

Im Anfangsstadium der Untersuchungen wird eine Bezugsgröße für die spätere allgemeine Anwendung des Berechnungsschemas festgelegt. Bei den ersten Versuchsreihen ist eine direkte Korrelation zwischen dem Einfluss der spezifischen Eingabewerte und dem Raumvolumen erkennbar. Daher wird das

Volumen des Raumes, in weiterer Folge bezogen auf einen Kubikmeter (1m^3) als Bezug definiert.

Nach der Definition der einzelnen Parameter werden für Bauteile und die Beschaffenheit des Raumes Mittelwerte für die Berechnungen definiert. In weiterer Folge sollen nun diese Werte für einzelne Simulationen nach oben bzw. unten korrigiert werden um so unterschiedliche Ergebnisse und Tendenzen bei Veränderungen der Eingabewerte zu erhalten. In diesem Zuge wird versucht beim Rechenmodell Grenzen zu suchen, welche die Ausgabe von brauchbaren Werten für deren Interpretation ermöglichen. PHPP wirft beispielsweise bei den Ergebnissen der Überwärmungstendenz keine negativen Werte aus. Ziel ist es einen möglichst breiten Zusammenhang zwischen den solaren Einträgen beziehungsweise den verminderten bautechnischen Maßnahmen und der Überwärmung herstellen zu können. Die oberen und unteren Eingabegrenzen werden daher so angesetzt, dass ein Bezug zur Praxis noch hergestellt werden kann, jedoch keine negativen Ergebnisse aus dem PHPP ausgeworfen werden. Somit kann bei der Erstellung eines Graphen ein breites Spektrum an Eingabewerten und Einflusstendenzen dargestellt werden.

Beispielsweise wird der Abminderungsfaktor für die Verschattung im Minimum mit 0,35 (dimensionslos) und im Maximum mit 0,85 festgesetzt. Im Vergleich dazu ist der niedrigste Wert laut ÖNORM B8110-3 mit 0,27 (Außenjalousien) und der höchste 1,0 (keine Verschattung) angegeben. Dieser Umstand der Anpassung bei der Simulationsberechnung erlaubt die Darstellung des Zusammenhanges in Form einer mathematischen Funktion, welche in späterer Folge gegebenenfalls extrapoliert werden kann.

7.1.3.1. Luftwechsel

„Für das Verhältnis der [...] im Raum stündlich zugeführten Außenluftmenge zu seinem Volumen hat sich der Begriff „Luftwechsel“ (n_L) mit der Dimension [h^{-1}] eingebürgert. Erfahrungsgemäß ergeben sich auch bei geschlossenen Fenstern und Türen in Aufenthaltsräumen Luftwechsel in der Größenordnung von $n_L=0,3$ bis $0,6 \text{ h}^{-1}$ bei Winddruck auf die Gebäudehülle auf Grund von Luftundichtheiten der Raumumschließungsflächen oder durch thermische Auftriebskräfte im Gebäude. Nutzerbeschwerden, die auf unzureichende Raumlüftung

zurückzuführen sind, werden in der Fachliteratur als „Tight Building Syndrom“ gekennzeichnet. Bei Außenluftwechseln von $n_L > 0,5h^{-1}$ sind derartige Beschwerden kaum zu erwarten.“²⁸

Der Außenluftwechsel kann mathematisch wie folgt dargestellt werden:

$$n_L = \frac{\Delta_{\text{Außenluft}}}{V}$$

Hierin bedeutet:

n_L Außenluftwechsel in h^{-1}

$\Delta_{\text{Außenluft}}$ zugeführte Außenluftmenge in $\frac{m^3}{h}$

V Volumen des Raumes in m^3

7.1.3.2. Proportion des Raumes

Geht man von einer konstanten Grundfläche eines Raumes aus, kann sich je nach Verhältnis von Länge zu Breite, auch bei konstanter Raumhöhe, das Innenvolumen ändern. Aus diesen geometrischen Variablen resultieren wiederum verschiedene Ergebnisse, welche in Abschnitt 7.2 näher erläutert werden.

In der Bauphysik wird das Verhältnis der Proportion eines Raumes bzw. eines Gebäudes oft durch die charakteristische Länge ausgedrückt. Diese definiert sich wie folgt:

$$l_c = \frac{V}{O_H}$$

Hierin bedeutet:

l_c charakteristische Länge in m

V Volumen des Raumes in m^3

O_H Hüllfläche (Außenoberfläche) des Raumes in m^2

Die charakteristische Länge ist somit eine theoretische Länge, welche das Verhältnis zwischen dem Volumen eines Körpers und dessen Oberfläche ausdrückt.

In der Praxis wird als Bezugskante bei mehreren Bauteilschichten zur Berechnung der Geometrie meist die Außenkante der Dämmebene herangezogen.

²⁸ Pech, Anton / Jens, Klaus: Baukonstruktionen Band 16. Lüftung und Sanitär. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2006. S. 04.

7.1.3.3. Fensteranteil

Beachtet man verschiedene Landesbauordnungen, so ist eine Mindestbelichtung von Räumen vorgeschrieben.

„Aufenthaltsräume müssen grundsätzlich natürlich belichtet sein. Die zu ihrer Belichtung erforderlichen Fenster sind Hauptfenster. Diese müssen unmittelbar ins Freie münden und es muss ihre Gesamtfläche (Architekturlichte) mindestens 10% der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes betragen.“²⁹

Resultierend aus solchen Vorschriften wird bei der Definition der Fenstergröße in bauphysikalischen Berechnungen meist von der Architekturlichte ausgegangen. Je nach Proportion des Fensters ergeben sich unterschiedliche anteilige Verhältnisse zwischen den Flächenanteilen des Rahmens und des Glases. In vielen Berechnungen wird der Rahmenanteil prozentuell zur Architekturlichte in den Eingabewerten berücksichtigt. Bei der sommerlichen Überwärmung wirkt sich größtenteils der Glasflächenanteil des Fensters bei den Ergebnissen aus, da durch die Lichtundurchlässigkeit des Rahmens keine solaren Einträge auftreten. Geht man bei der Eingabe von der Architekturlichte aus und wird ein Faktor zur Unterscheidung zwischen Rahmen- und Glasfläche angewandt, können bei unterschiedlichen Proportionen einzelner Fenster aufgrund der Geometrie große Unterschiede im Ergebnis resultieren. Aus diesem Grund wird in den folgenden Berechnungen der Rahmenanteil der Fenster vernachlässigt und lediglich die Glasfläche selbst in der Simulation berücksichtigt.

Wie in obiger Bauvorschrift (natürliche Belichtung) beschrieben, bezieht sich der Fensteranteil auf die Fußbodenfläche des Raumes. Da jedoch bei allen anderen Einflussparametern eine Korrelation mit dem Rauminhalt feststellbar ist, soll aufgrund gleicher Basisgrößen bei der Eingabe für das vereinfachte Berechnungsverfahren das Volumen des Raumes als Basis für die Simulationen dienen.

Durch die obigen Erläuterungen ergibt sich für den Fensteranteil folgende Formel, welche sich in weiterer Folge in einer zusammenfassenden Berechnung wiederfinden soll:

²⁹ Wedenig, Hermann: Raumordnungsrecht, Baurecht, Anlagenrecht. Kapitel Vorschriften, die der Gesundheit dienen. Belichtung von Räumen. IX. Abschnitt der Bauordnung Wien, §88. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06. S.84.

$$f_{FEN} = \frac{A_F}{V}$$

Hierin bedeutet:

f_{FEN} charakteristischer Faktor für Fensteranteil in m

A_F Fensterfläche (Glasfläche ohne Rahmen) in m²

V Volumen des Raumes in m³

7.1.3.4. g-Wert

Dieser Bauteilkennwert (Gesamtenergiedurchlassgrad) wird durch den Einbau eines Glases gewisser Bauart bestimmt. Je nach Beschaffenheit der Scheiben im Fenster werden unterschiedliche Mengen an Energie durch das Glas transportiert und somit der solare Eintrag erhöht oder vermindert. Diese Werte erhält man meist aus Zertifikaten des Herstellers. Sind die Produkte, beispielweise in einem Leistungsverzeichnis, noch nicht exakt definiert, so können für Leitprodukte Richtwerte aus der ÖNORM B 8110-3 Tabelle 6 entnommen werden (siehe Abschnitt 7.3).

7.1.3.5. z-Wert

Zur Vermeidung von sommerlicher Überwärmung ist momentan ein Trend zu sogenannten klimaaktiven Fassaden erkennbar. Darunter versteht man im weitesten Sinne den Einbau von automatisch gesteuerten Verschattungseinrichtungen um die solaren Gewinne für die Verminderung des Heizenergiebedarfs zu nutzen, und einen übermäßigen Energieeintrag bei bereits hoher Innentemperatur zu vermeiden. Der Grad der Verschattung wird durch einen Abminderungsfaktor (z-Wert) ausgedrückt. Ähnlich wie beim g-Wert ist dieser Faktor von der Art der Verschattungseinrichtung abhängig. Diese Eingangsparemeter für die Berechnung erhält man ebenfalls vom Hersteller beziehungsweise in Form von Richtwerten aus der ÖNORM B8110-3 Tabelle 7 (siehe Abschnitt 7.3).

7.1.3.6. Speicherwirksame Masse

Wie in Abschnitt 6.1.1.1 beschrieben, ist auch die Wärmeträgheit der Bauteile von Relevanz. Die speicherwirksame Masse bildet daher ein Werkzeug Temperaturschwankungen im Raum über den Tagesverlauf auszugleichen. In fach einschlägiger Literatur wird die Bedeutung von Speichermasse in Bezug auf die sommerliche Überwärmung oft besonders hervorgehoben, weshalb auch auf diesen Bauteilkennwert in den Untersuchungen dieser Arbeit Rücksicht genommen werden soll.

Bei thermisch-dynamischen Simulationen oder der Berechnung nach ÖNORM B-8110-3 werden sämtliche speicherwirksamen Massen der Einzelbauteile berücksichtigt. Betrachtet man die Bauweisen in der Praxis so ist eine Korrelation der Massen zwischen den Bauteilen (z.B. Außenwand, Innenwand, Zwischendecke, Bodenaufbau) erkennbar. Wird beispielsweise ein Gebäude in Massivbauweise gebaut, so ist auch meist die Deckenkonstruktion in schwerer Bauweise errichtet. Wird die Außenwand in Leichtbauweise erstellt, findet man oft eine leichte Deckenkonstruktion. Wichtiger erscheint daher bei einer groben Berechnung die Art der Bauweise, als die genaue Berücksichtigung der Massen jedes einzelnen Bauteils. Ziel der getätigten Untersuchungen soll im Gegensatz zur genauen Analyse ein Verfahren zur Abschätzung der Gefahren sein. Daher werden in der Simulation und in weiter Folge bei der Erstellung des vereinfachten Rechenmodells die Massen ohne Unterschied der Bauteile berücksichtigt und somit ein Durchschnitt für die umschließenden Bauelemente herangezogen. Es wird daher in diesem Teil der Berechnung nicht auf jeden einzelnen Bauteil eingegangen, sondern die speicherwirksame Masse in kg für alle Umschließungsflächen gleich eingesetzt.

Die ÖNORM B 8110-3 sieht in der Berechnung der speicherwirksamen Massen vereinfachend verschiedene spezifische Speicherkapazitäten zur unterschiedlichen Bewertung bei der Art des verwendeten Baumaterials (organisch, mineralisch, metallisch) vor. Metallische Bauteile werden nur selten und wenn überhaupt nur in geringer Dicke verwendet. Die Berücksichtigung der spezifischen Speicherkapazität von 1,5 kJ/kgK bei organischen Materialien wirkt sich gegenüber der Verwendung von mineralischen Baustoffen verbessernd auf das Endergebnis aus. Da beim Leichtbau meist Holz als Baustoff Verwendung findet, diese Bauten jedoch aufgrund der geringeren Masse heikler anzusehen

sind, wird auf diese begünstigende Wirkung verzichtet, wodurch sich Reserven bei der Berechnung gegenüber der Realität ergeben. Werden metallische Materialien an der Oberfläche verwendet, ist deren Wärmeabstrahlung ohnehin genauer zu untersuchen (vgl. dazu Auswirkungen der Oberflächentemperatur gemäß Abschnitt 5.1.1.3 Abb. 4+5+6). Vereinfachend wird daher davon ausgegangen, dass für das nachstehende Rechenverfahren mineralische Materialien zu Grunde gelegt werden und sich somit beim Einsetzen der spezifischen Speicherkapazität von 1,0kJ/kgK kein Unterschied beim vereinfachten Berechnungsverfahren in der Bewertung der speicherwirksamen Masse bei Verwendung von differenzierenden Baustoffen ergibt.

Um die Eingabe in das Simulationsprogramm PHPP einfach zu halten wird die speicherwirksame Masse des Bauteils mit folgender Formel auf die spezifische Kapazität umgerechnet:

$$c = \frac{M \cdot O_H}{3,6 \cdot A}$$

Hierin bedeutet:

c Spezifische Kapazität in $\frac{Wh}{K \cdot kg/m^2}$

M..... Masse des Bauteils (der für die Speichermasse relevant ist) in kg

O_H Hüllfläche (Außenoberfläche) des Raumes in m²

A Grundfläche des Raumes in m²

Bei der Ermittlung der Masse ist zu beachten, dass in Anlehnung an die ÖNORM B 8110-3 lediglich folgende Massen in der Berechnung Eingang finden und somit als speicherwirksam gelten:

„Berücksichtigung von maximal der Hälfte der Bauteildicke (z.B. werden bei 16cm dicken Bauteilen nur 8cm berücksichtigt), maximal 10cm (z.B. werden bei 30cm dicken Bauteilen nur 10cm berücksichtigt) oder maximal bis zur ersten Dämmstoffschicht (z.B. werden bei einem Fußbodenaufbau nur der Trockenestrich oder der Betonestrich bis zur Trittschalldämmschicht berücksichtigt.)“³⁰

³⁰ Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004. S. 79.

7.1.3.7. U-Wert Außenwand

Zur Vermeidung von zu hohen Innenraumtemperaturen wird, wie bereits im empirischen Teil erläutert, generell versucht, in den Sommermonaten den äußeren Eintrag an Energie bzw. die internen Wärmegewinne möglichst niedrig zu halten. Je nach den wärmedämmenden Eigenschaften der Außenhülle, kann die überschüssige Energie im Innenraum unterschiedlich schnell entweichen, wodurch sich der Einfluss des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) auf die Raumtemperatur erklärt.

In den Untersuchungen zeigt sich, dass der Einfluss des Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile zwar eine Rolle spielt, dieser allerdings im Verhältnis zu anderen Parametern als untergeordnet angesehen werden kann. Ähnlich wie bei der Speichermasse des Gebäudes verhält es sich mit den U-Werten der Außenhülle. Ist ein Gebäude beispielsweise als Niedrigenergiebau konzipiert, so werden in der Regel alle Außenbauteile (Außenwand, erdberührter Fußboden, etc.) energetisch besser ausgeführt als in einschlägigen Vorschriften (z.B. Bauordnung) gefordert.

Sind darüber hinaus aufgrund gewisser Rahmenbedingungen (unterschiedliche Fassadengestaltung, unterschiedlicher Brandschutz etc.) verschiedene Wandaufbauten notwendig, entstehen oft zueinander abweichende Differenzen in den U-Werten der Einzelbauteile. Da diese Unterschiede allerdings oftmals sehr gering sind und der Transmissionswärmeverlust nach außen eher untergeordnete Bedeutung hat, werden diese Differenzen in den U-Werten vernachlässigt. In den vereinfachten Berechnungen wird daher nur ein durchschnittlicher U-Wert für alle Außenbauteile berücksichtigt.

7.1.3.8. U-Wert Fenster

Wie bei der Außenwand sind auch die Fenster Bestandteil der Außenhülle und haben somit Einfluss auf die Transmissionswärmeverluste des Raumes. Um auch bei diesem Parameter Differenzen bei den Auswirkungen darstellen zu können, wurden die Fenster, respektiv der Einfluss der wärmedämmenden Eigenschaften der Glasflächen eigens untersucht.

Die Fläche des Rahmens und der damit verbundene höhere Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) des Rahmens bilden im Verhältnis zur Fläche der Außenwand nur einen geringen Anteil. Der höhere U-Wert des Rahmens wirkt sich, wenn überhaupt merkbar, positiv auf die Temperaturentwicklung des Innenraumes im Sommerfall aus und kann daher vernachlässigt werden. Bei Vernachlässigung ergibt sich eine Berechnung auf der sicheren Seite liegend.

Um bei den Berechnungen groben Fehlern bei der Annahme des Rahmenanteils aus dem Weg zu gehen, wird der Rahmen für die Simulationen schlichtweg eliminiert. Die Berechnungen werden daher so angepasst, dass lediglich die Glasgröße in die Simulation eingeht und nicht wie in einschlägiger Software der prozentuelle Rahmenanteil eingegeben wird (siehe auch Abschnitt 7.1.3.3). Aufgrund des Beiseitelassens der Rahmenanteile bei der Simulation wird auch nicht auf die 2d-Wärmebrücke zwischen Rahmen und Glasanschluss eingegangen.

7.1.3.9. Himmelsrichtung

Die Orientierung bzw. in weiterer Folge die Neigung von Fenster- und Fassadenflächen spielen bei der Vermeidung von sommerlicher Überwärmung eine wesentliche Rolle.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass für Räume im Süden, Westen und Osten mehr Überwärmungspotenzial als im Norden besteht. Besonders in der Übergangszeit muss im Osten und Westen, beziehungsweise Südost und Südwest davon ausgegangen werden, dass aufgrund der flacher stehenden Sonne Verschattungseinrichtungen nur bedingt wirksam sind und mit erhöhter solarer Einstrahlung zu rechnen ist. Im Zuge dieser Arbeit werden bei Modellversuchen Faktoren für diesen Einfluss eruiert (siehe Abschnitt 7.2.1.9).

7.1.3.10. Festgelegte Grenze der Übertemperatur

Wie in der ÖNORM B 8110-3 soll nicht die durchschnittliche Überwärmungstendenz eines Gebäudes, sondern jene von einzelnen, kritischen Räumen untersucht werden können. Wie im Abschnitt 6.1.1.2 bereits

beschrieben wird in der Norm die kritische Temperatur am Tage mit 27°C und in der Nacht mit 25°C festgesetzt. Um das Berechnungsverfahren zu vereinfachen, wird hier bei der simulierenden Berechnung ebenfalls eine Anlehnung an die ÖNORM erzeugt: Es wird angenommen, dass sommerliche Überwärmung als vermieden gilt, wenn die Raumtemperatur nicht über den Mittelwert aus Tag und Nacht – also 26°C – steigt.

Gespräche des Autors mit Bewohnern während dem Verfassen dieser Arbeit haben allerdings gezeigt, dass die Grenze nicht so klar definiert werden kann, und nicht immer Nutzerbeschwerden auftreten, wenn diese Grenztemperatur überschritten wird (z.B. wenn Außentemperatur deutlich höher als 26°C ist). Erfahrungsgemäß kann allerdings davon ausgegangen werden, dass bei einer Überschreitung dieser Innenraum-Grenztemperatur in jedem Fall über Maßnahmen zur Vermeidung von sommerlicher Überwärmung nachzudenken wäre.

7.1.3.11. Interne Wärmegewinne

Interne Wärmequellen spielen eine immer größere Rolle, da beispielsweise der Bedarf an Elektronik in Haushalten, vor allem aber in Bürobauten, steigt und so die Annahmen diverser Rechenverfahren vergangener Jahre in vielen Fällen nicht mit dem tatsächlichen internen Wärmequellen übereinstimmen.

Das Passivhausinstitut Darmstadt hat sich bei der Entwicklung der verwendeten Software PHPP auch intensiv mit diesem Bereich der Wärmequellen beschäftigt.

Um das entwickelte Rechenmodell einfach zu halten, wird ein Raum mit der Charakteristik eines Wohngebäudes zu Grunde gelegt und die festgelegte Fixgröße für Wohngebäude bei den internen Wärmegewinne mit 2,1W/m² übernommen. Weicht bei der Anwendung des vereinfachten Rechenmodells dieser Arbeit der zu berechnende Raum stark von der üblichen Nutzung als Wohngebäude ab, sind für die Umsetzung entsprechende Reserven anzusetzen bzw. bei genauerer Betrachtung eine thermisch-dynamische Simulation durchzuführen.

7.1.4. Übersicht über die Eingangsparameter in die Simulation

Zusammenfassend ergeben sich für den Simulator - gemäß den obenstehenden Annahmen - folgende Eingangswerte für die Untersuchungen:

Tab. 1: Gewählte mittlere Raumdimensionen

Länge	6,00	m
Breite	4,00	m
Höhe	3,00	m

Tab. 2: Gewählte mittlere Fensterparameter

Fensterfläche	10,20	m ²
g-Wert	0,50	
Verschattung	0,60	
U _w	1,75	W/m ² K

Tab. 3: Resultierende geometrische Ergebnisse aus

Tab. 1 und Tab. 2

Raumfläche	24,00	m ²
Hüllfläche	108,00	m ²
Raumvolumen	72,00	m ³
charakteristische Länge l _c	0,67	m
Verhältnis Fensterfläche/Raumvolumen	0,14	m ⁻¹

Tab. 4: Sonstige mittlere Eingabeparameter

Luftwechsel	1,75	h ⁻¹
Speicherwirksame Masse	140,00	kg/m ²
U-Wert AW	0,24	W/m ² K
Faktor für Himmelsrichtung	1,00	(Süden)

Um die Auswirkungen der Einflüsse per se darstellen zu können und somit verschiedenste Ergebnisse aus der Simulation zu erhalten, werden folgenden Abweichungen bei der Eingabe nach oben und nach unten definiert: Die einzelnen Berechnungsfälle sind in weiterer Folge mit den Buchstaben a bis e bzw. mit den Ziffern 1 bis 9 bezeichnet. Im Anhang finden sich die einzelnen Simulationsergebnisse in dieser Reihenfolge. Beispielsweise ist beim Fall 6b die speicherwirksame Masse mit 85kg/m² eingegangen, alle anderen Eingangsparameter sind auf den Wert gemäß Spalte c (siehe Tab. 5.) gestellt.

Tab. 5: Gewählte Eingabewerte für die Simulationsberechnung mit der Software PHPP

Nr.	Bezeichnung	Einheit	a	b	c	d	e
1	Luftwechsel	h^{-1}	0,50	1,13	1,75	2,38	3,00
2	charakteristische Länge l_c	m	0,6934	0,6798	0,6667	0,6440	0,6203
3	Fensterfläche/Raumvolumen	m^{-1}	0,0733	0,1075	0,1417	0,1758	0,2100
4	Faktor g-Wert	dim. los.	0,28	0,39	0,50	0,61	0,72
5	Faktor Verschattung	dim. los.	0,350	0,475	0,600	0,725	0,850
6	Speicherwirksame Masse	kg/m^2	30,00	85,00	140,00	195,00	250,00
7	U-Wert AW	W/m^2K	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40
8	U-Wert Fenster	W/m^2K	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40
9	Himmelsrichtung - Faktor	dim. los.	West	Südwest	Süd	Südost	Ost

7.2. Kommentar zu den Ergebnissen der einzelnen Einflüsse

7.2.1. Individuelle Auswertung der Ergebnisse

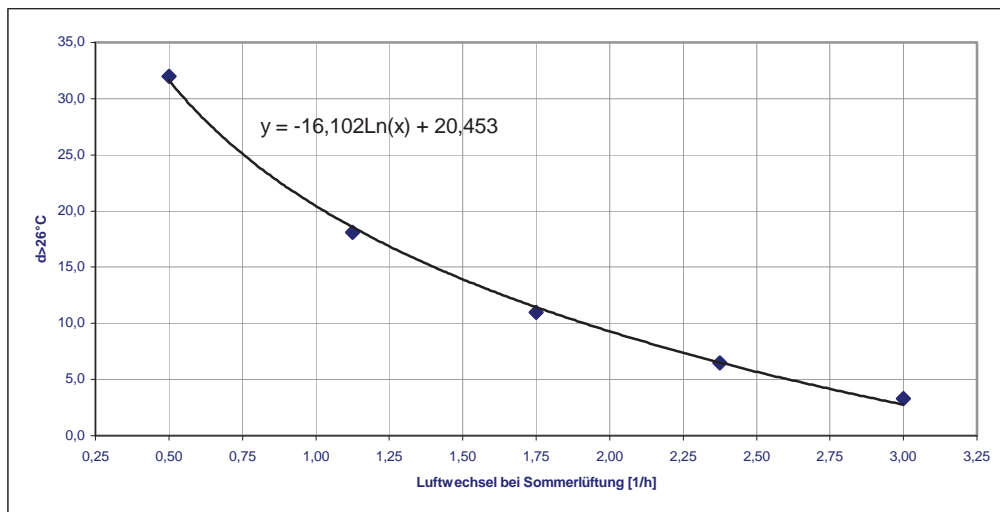
Aus der Simulation mit PHPP ergeben sich mit den unterschiedlichen Eingabewerten gemäß Tabelle 5 folgende Ergebnisse. Hier sind die prognostizierten, prozentuellen Anteile der Tage (am gewählten Rechenmodell) pro Jahr ausgewiesen, an denen die Temperatur im Raum mehr als $26^{\circ}C$ beträgt:

Tab. 6: Simulationsergebnisse, geordnet nach der Größe des Einflusses auf die sommerliche Überwärmung bei obig beschriebenem Simulationsmodell

	% der Tage, an denen Temp. $>26^{\circ}$ gemäß Modelversuch mit PHPP					Einfluss (Δ)	
	a	b	c	d	e	absolut	[%]
Luftwechsel	32,0	18,1	11,0	6,5	3,3	28,7	26,95%
g-Wert	0,6	6,0	11,0	15,6	20,0	19,4	18,22%
Verschattung	1,2	6,3	11,0	15,3	19,5	18,3	17,18%
Fenstergröße	0,6	6,2	11,0	15,1	18,7	18,1	17,00%
Proportion	15,5	13,1	11,0	9,2	7,7	7,8	7,32%
Himmelsrichtung	11,7	11,8	11,0	11,8	11,7	5,4	6,4
	(West)	(SW)	(Süd)	(SO)	(Ost)	(Nord)	
U-Wert Fenster	12,8	11,9	11,0	10,1	9,3	3,5	3,29%
U-Wert AW	12,3	11,6	11,0	10,4	9,8	2,5	2,35%
Speichermasse	12,1	11,5	11,0	10,6	10,3	1,8	1,69%
						106,5	100,00%

7.2.1.1. Luftwechsel

Abb. 10: Einfluss des Luftwechsels



Bei den Untersuchungen wurde vorausgesetzt, dass die zugeführte Außenlufttemperatur niedriger als die Raumtemperatur ist. Beachtet man den Fall von ca. 32% auf ca. 3% bei steigendem Außenluftwechsel zeigt sich die massive Relevanz dieses Parameters. Vor allem bei vergleichsweise niedrigen Luftwechselraten sind starke Verminderungen bei Überwärmung möglich. Mit steigendem Luftaustausch wird auch der Einfluss deutlich geringer. Am besten lässt sich eine logarithmische Funktion in die ermittelte Punktwolke legen, welche in weiterer Folge auch zur Erstellung des vereinfachten Berechnungsschemas verwendet wird.

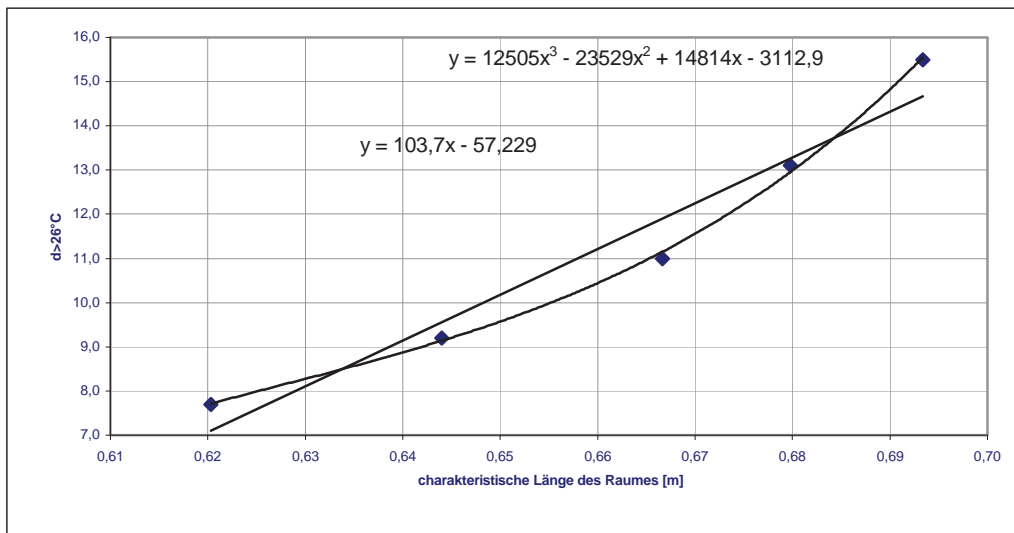
In der Praxis gestaltet sich jedoch die Zuführung von geeigneter Außenluft durch Fensterlüftung oft schwierig (Einbruch, Witterung). Immer öfter findet man auch in kleineren Gebäuden mechanische (Komfort-)Lüftungsanlagen. Bei solchen mechanischen Lüftungsanlagen ist allerdings zu beachten, dass mit steigender Luftwechselrate auch die Betriebskosten nahezu direkt korrelieren. Zusätzlich gilt es Zugerscheinungen bzw. zu hohe Luftbewegungen in Aufenthaltsräumen, hervorgerufen durch hohe Luftwechselraten, zu vermeiden. Daher sollte der Außenluftwechsel sowohl aus ökonomischen als auch aus Gründen der Behaglichkeit im Raum nicht zu hoch angesetzt werden.

Im Extremfall kann die Lösung in der Verwendung einer Kühlanlage gefunden werden, welche allerdings wiederum Investitions- und laufende Kosten verursacht. Es empfiehlt sich hier solche Anlagen auf den Maximalwert der Kühllast auszulegen und regeltechnisch so anzupassen, dass im Heizfall niedrige

Luftwechselraten und bei Übertemperatur ein höherer Außenluftaustausch, wenn möglich automatisch, eingestellt werden kann.

7.2.1.2. Charakteristische Länge

Abb. 11: Einfluss der charakteristischen Länge des Raumes

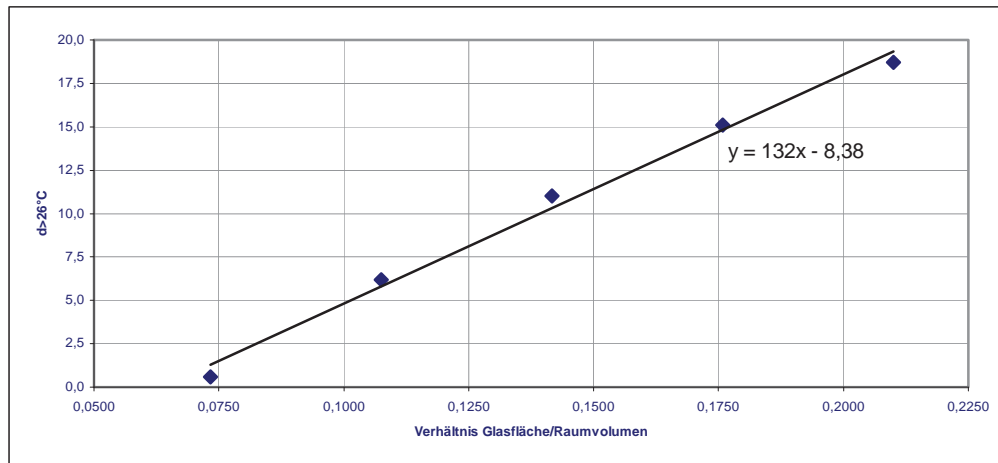


Wie bereits in Abschnitt 7.1.3.2 beschrieben, ergibt sich bei steigender charakteristischer Länge und gleichbleibendem Volumen eine kleinere Hüllfläche. Durch den geringeren Anteil der Hüllfläche bei größer werdender charakteristischer Länge sinken die Transmissionswärmeverluste des Raumes, sofern die Immissionsflächen als absolute Konstante angesehen werden. Durch diese geringeren Verluste wird eine allfällige Übertemperatur länger im Raum gehalten.

Bei genauerer Betrachtung lässt sich in die Ergebnisse sehr gut ein Polynom dritter Ordnung einfügen. Da der Anteil am Gesamtergebnis der Überwärmung geringer als bei anderen Eingaben ist, wird zur Bildung der Faustformel eine lineare Funktion weiterverwendet.

7.2.1.3. Fensterfläche

Abb. 12: Einfluss der Glas(Fenster-)flächen



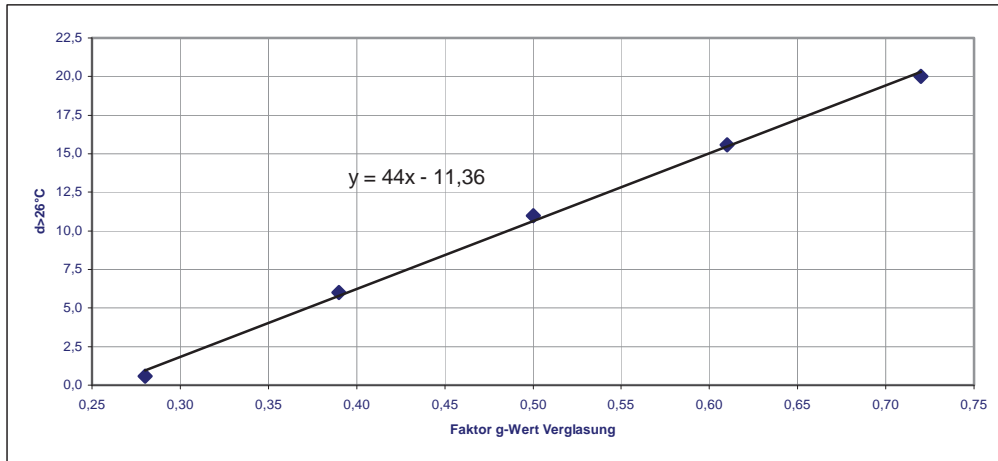
Um dem derzeitigen Trend, mehr Glas in Außenflächen von Gebäuden einzusetzen, gerecht zu werden, werden bei der Versuchsreihe bewusst hohe Werte für die Fensterflächen angesetzt. Der Anteil der Gläser liegt bei obiger Abbildung zwischen 22% und 53% der Fußbodenfläche.

Bei steigender Immissionsfläche erhöht sich auch der solare Eintrag und somit die Übertemperaturhäufigkeit im Raum. Die Veränderungen bei unterschiedlicher Glasfläche auf die Ergebnisse der sommerlichen Überwärmung sind sehr groß, wodurch sich der steile Anstieg der Trendlinie erklärt.

Ein Lösungsansatz zu hohe Raumtemperaturen im Sommerfall zu vermeiden, liegt somit in der Verkleinerung der Glasflächen in der Außenhaut. Um trotzdem solare Gewinne zur Verminderung der Heizlast nutzen zu können empfiehlt sich der Einsatz von klimaaktiven Fassaden. (siehe Abschnitt 7.2.1.5 – Verschattung). Zur Bildung eines zusammenfassenden Berechnungsverfahrens wird die Gerade mit vorstehender Funktion weiterverwendet.

7.2.1.4. g-Wert

Abb. 13: Einfluss des g-Wertes der Glasflächen

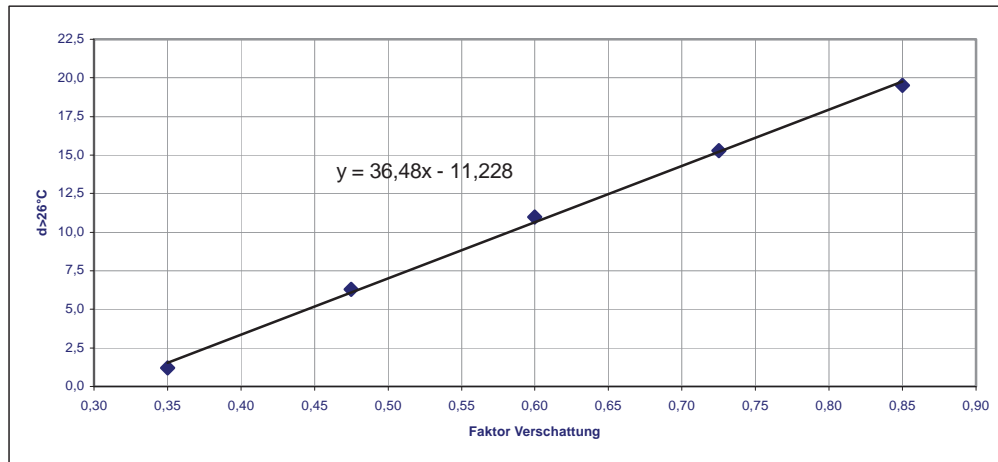


Ähnlich wie bei der Fläche des Glases ist auch beim g-Wert eine direkte Korrelation zur Überwärmung feststellbar, welche auch hier auf zu hohe solare Gewinne zurückzuführen ist. Die obige Gerade wird daher auch zur Bildung des vereinfachten Berechnungsverfahrens verwendet.

Durch Verwendung von Gläsern mit niedrigem Gesamtenergiedurchlassgrad kann die äußere Wärmeimmission in Grenzen gehalten werden. Betrachtet man allerdings den gesamten Nutzungszeitraum (Winter- und Sommerfall) eines Gebäudes, kann auch hier der fehlende Solareintrag zu einer erhöhten Heizlast führen. Der ökonomische Einsatz von Glasbauteilen mit niedrigen g-Werten ist daher nur in gewissen Rahmenbereichen sinnvoll. Zusätzlich zu dieser Maßnahme empfiehlt sich auch hier der Einsatz von Verschattungseinrichtungen.

7.2.1.5. Verschattung

Abb. 14: Einfluss des Verschattungsgrades bei den Fensterflächen



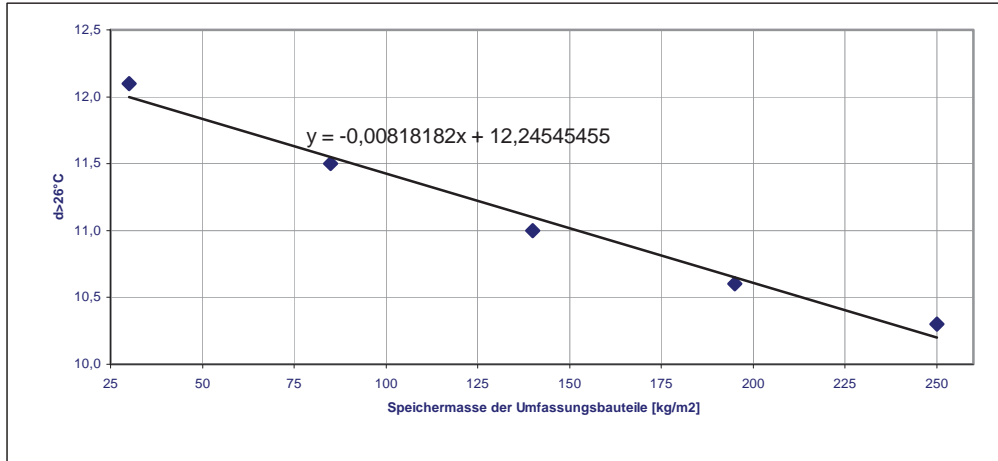
Wie schon bei den Untersuchungen zu Glasfläche und g-Wert ist hier ebenfalls ein nahezu geradliniger Zusammenhang zwischen Verschattung und Übertemperaturhäufigkeit erkennbar, welche in weiterer Folge auch für die nachfolgend beschriebene vereinfachte Berechnung herangezogen wird. Durch die Verwendung einer Verschattungseinrichtung kann die solare Immission und somit auch die Tendenz zur Überwärmung im Raum deutlich herabgesetzt werden.

Der Vorteil von Verschattungseinrichtungen liegt in der Regelbarkeit der solaren Immission. Je nach Stellung der Verschattungen können somit im Winter zur Verminderung der Heizlast die solaren Gewinne genutzt und im Sommer überschüssige Wärmeimmission verhindert werden. Um eine einwandfreie Funktion zu ermöglichen ist der Einbau von entsprechender Regeltechnik empfehlenswert.

Der Einbau solcher Systeme kann allerdings mit hohen Investitionen verbunden sein. Bei kritischen Ergebnissen oder bei begrenztem Budget sollte trotzdem Raum zur nachträglichen Installation (z.B. Leerverrohrungen zur Elektroinstallation, Revisionskästen, etc) vorgesehen werden.

7.2.1.6. Speicherwirksame Masse

Abb. 15: Einfluss der speicherwirksamen Masse der Umfassungsbauteile

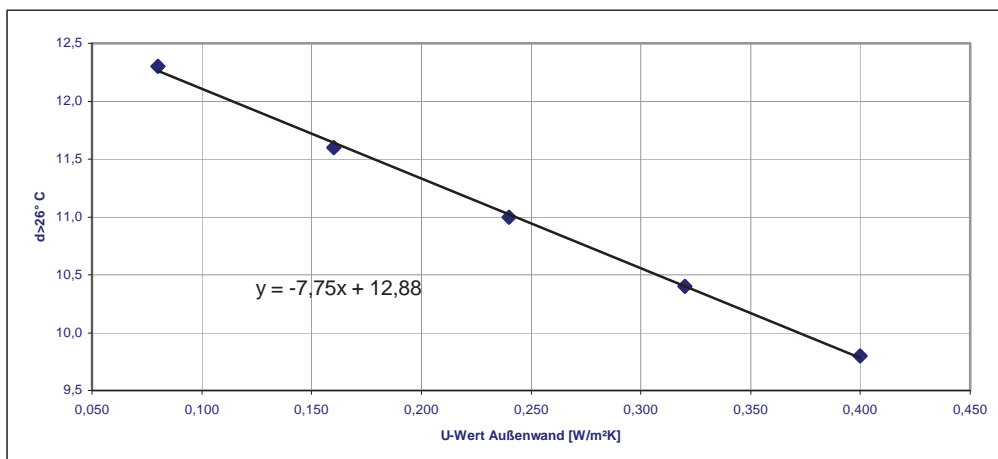


Aufgrund der Phasenverschiebung bei speicherwirksamen Massen ergibt sich eine degressive Entwicklung bei zunehmender Masse der Umfassungsbauteile im Hinblick auf die Übertemperaturhäufigkeit im Innenraum. Verglichen mit anderen Eingaben beim Simulator erscheint der Einfluss der Speichermasse relativ gering. Da in einschlägiger Literatur diesem Bauteilkennwert oft hohe Bedeutung beigemessen wird, sollen die Ergebnisse in Abschnitt 7.2.2 näher diskutiert werden.

Aufgrund der gering schwankenden Ergebnisse bei diesem Eingabewert wird zur Erstellung der Gesamtformel vereinfachend eine lineare Funktion hinterlegt.

7.2.1.7. U-Wert Außenwand

Abb. 16: Einfluss des U-Wertes der Außenwand

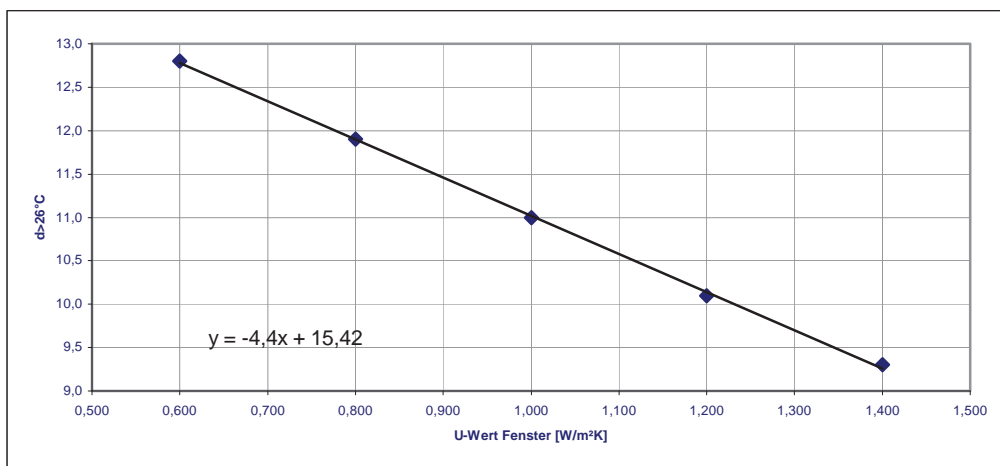


Steigt der Wärmedurchgangskoeffizient einer Wand, erhöht sich auch der gesamte Transmissionswärmeverlust des Raumes bzw. des Gebäudes. Überschüssige Wärme kann somit schneller entweichen wodurch sich die fallende Tendenz in obiger Abbildung erklärt.

Der Einfluss dieser zusätzlichen Verluste im Vergleich zu anderen Eingabewerten ist hier nicht sehr hoch, daher wird für die zusammenfassende Ermittlung näherungsweise eine lineare Funktion angewandt.

7.2.1.8. U-Wert Fenster

Abb. 17: Einfluss des U-Wertes der Glas(Fenster-)flächen



Nahezu analog zum U-Wert der Außenwand ist in obiger Abbildung ebenfalls eine degressive Entwicklung bei der Überwärmungstendenz zu sehen. Die Gründe sind auch hier maßgeblich im erhöhten Transmissionswärmeverlust zu suchen.

7.2.1.9. Himmelsrichtung

Tab. 7: Ermittelte Faktoren zur Berücksichtigung der Himmelsrichtung (dimensionslos)

Himmelsrichtung	West	Südwest	Süd	Südost	Ost	Nord
f_H	1,06	1,07	1,00	1,07	1,06	0,49

Bei den Untersuchungen wird die Südorientierung als Basisgröße definiert. Im Westen und Osten zeigt sich eine erhöhte Auswirkung der solaren Strahlung. Diese kann auf die flacher stehende Sonne zurückgeführt werden, da ein

spitzerer Einstrahlwinkel auf die Immissionsflächen erhöhten Wärmeeintrag bewirkt. Südost und Südwest ergibt sich darüber hinaus ein leicht erhöhter Faktor, welcher auf die längere Dauer der Sonneneinstrahlung im Tageszyklus zurückgeführt werden könnte. Aufgrund der regionalen Lage Österreichs ist im Norden mit deutlich weniger Sonneneinstrahlung als in den anderen Himmelsrichtungen zu rechnen.

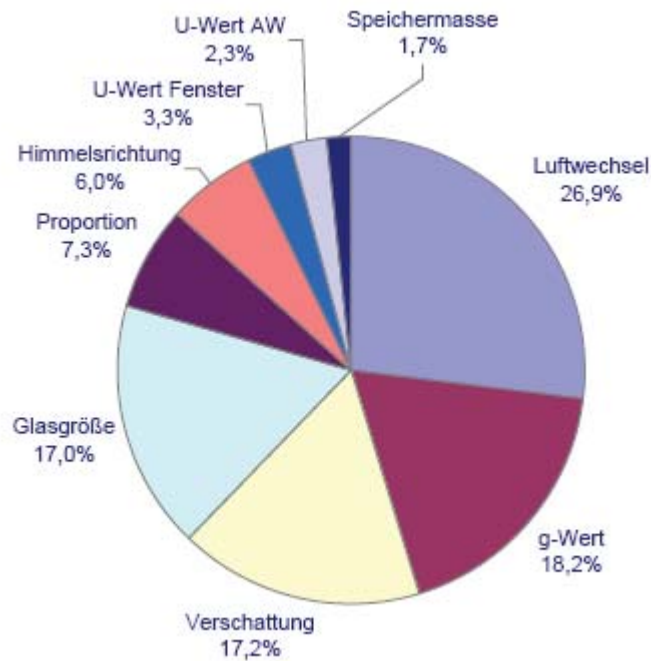
Werden die Werte mit der ÖNORM B 8110-3 verglichen, ist durchaus eine Korrelation zwischen den Werten der Norm und der getätigten Untersuchung erkennbar (vgl. Tab. 12, Abschnitt 7.3). Im Zweifelsfall, speziell aber bei geneigten Glasflächen, sollte näherungsweise auch bei untenstehender Berechnung die Tabelle der ÖNORM B8110-3 Anwendung finden.

7.2.2. Gewichtung der Einflussgrößen

Im folgenden Diagramm sind die prozentuellen Anteile des Gesamteinflusses der einzelnen Einflussgrößen dargestellt. Wie alle anderen Ergebnisse stützen sich diese auf das angenommene Rechenmodell bei obig beschriebenen Simulator. Die Untersuchung basiert auf Extremwerteingaben, weshalb es in der Praxis durchaus zu Abweichungen in den angeführten Ergebnissen kommen kann. Die Berechnung berücksichtigt nur die Tage mit Temperaturen über 26°C, jedoch nicht die maximale Raumtemperatur, die Länge der zeitlichen Überschreitung im Tagesverlauf und den Zeitpunkt des Eintretens der Überwärmung.

Deswegen sollte die folgende Abbildung lediglich als Überblick über die Relevanz der einzelnen Eingabeparameter verstanden werden, um im Hinblick auf einen ökonomischen Entwurf tendenzielle Abschätzungen anstellen zu können.

Abb. 18: Graphische Darstellung der Einflussgrößen auf die sommerliche Überwärmung beim beschriebenen Simulationsmodell gemäß Tabelle 6



Mit fast 27% bildet der Außenluftwechsel bei der getätigten Simulation einen wesentlichen Beitrag zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung, sofern die zugeführte Außenluft geringere Temperatur als die Raumluft besitzt. Wird der Luftwechsel durch eine mechanische Lüftungsanlage bewerkstelligt, ist jedoch im konkreten Fall den verursachten Investitions- und Betriebskosten besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Werden die Glasgröße, der Faktor der Verschattung und der g-Wert aufsummiert und dem Bauteil Fenster zugeordnet ergibt sich ein Gesamtanteil von ca. 52% welcher den Einfluss der Fensterflächen beschreibt. Die größte Sorgfalt ist somit – zumindest im Hinblick auf die Vermeidung von Übertemperatur im Raum – der Gestaltung von Fensterflächen zu widmen, um die energetischen Immissionen auf den Innenraum in Grenzen zu halten und in weiterer Folge in Bezug auf die Betriebskosten und die Behaglichkeit eines Gebäudes effizient zu planen.

Die anderen untersuchten Variablen nehmen mit ca. 21% nur etwa ein Fünftel des Gesamtanteils ein, weshalb diese in Ihrer Bedeutung als eher untergeordnet betrachtet werden können.

Gegenüber einschlägiger Fachliteratur ist der Einfluss der speicherwirksamen Masse auffallend niedrig, weshalb dieser näher diskutiert werden sollte:

Generell besteht das Bestreben die einem Gebäude zugeführte Wärme möglichst lange zu erhalten. Bei schlecht gedämmten Gebäuden geschieht dies durch speicherwirksame Masse von Innenbauteilen, die durch die Phasenverschiebung überschüssige Wärmeenergie während der Heizphase aufnehmen und zeitversetzt an auskühlende Räume abgeben. Bei besser gedämmten Gebäuden sinkt der Transmissionswärmeverlust und die Temperaturdifferenzen zwischen Heizphase und Auskühlphase werden geringer. Folglich verkleinern sich die Temperaturamplituden in den Bauteilen solcher Bauwerke und die Notwendigkeit der speicherwirksamen Masse verliert an Relevanz. Da in den Untersuchungen generell Bauten mit eher hohem Energiestandard analysiert werden, fällt der Einfluss der speicherwirksamen Masse geringer aus.

Darüber hinaus sind die Immissionsflächen beim Rechenmodell bewusst hoch angesetzt. In weiteren getätigten Simulationen, auf die in dieser Arbeit allerdings nicht weiter eingegangen wird, hat sich gezeigt, dass die anteilige Wirksamkeit der Speichermasse steigt, wenn die Fensterflächen verkleinert, beziehungsweise andere Maßnahmen zur Verringerung der solaren Immission getroffen werden. Eine massive Vermeidung der Übertemperatur durch innere Bauteilmasse konnte in dieser Versuchsanordnung jedoch nicht nachgewiesen werden.

„Die interne Speicherkapazität eines Wohngebäudes hat einen nur geringen Einfluss auf den Jahresheizwärmebedarf. Sie wirkt allerdings ausgleichend auf Temperaturschwankungen und kann dadurch die Behaglichkeit auch im Winter verbessern. In jedem Fall ist es vorteilhaft für die Behaglichkeit im Sommer, die dem Raum zugängliche wirksame interne Wärmespeicherkapazität auf ausreichende Werte zu erhöhen. Die innere Wärmekapazität ist allerdings nicht die bedeutendste Einflussgröße für die sommerliche Behaglichkeit: Die Möglichkeiten für eine erhöhte Lüftung, die Verschattung hoher solarer Einträge und die Begrenzung der inneren Wärmelasten sind wichtigere Einflussgrößen. Eine fehlende sommerliche Verschattung großer Verglasungen kann z.B. auch durch eine sehr große interne Speicherkapazität nicht ausgeglichen werden.“³¹

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die Ursache von sommerlicher Überwärmung vor allem im zu hohen solaren Energieeintrag zu suchen ist. Mit bautechnischen Maßnahmen können in einer gewissen Bandbreite

³¹ Feist, Wolfgang: Der Einfluss der inneren Wärmekapazität. In: URL: http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Innere_Waermekapazitaet.html (letzter Zugriff: 03. 10. 2008)

Verbesserungen erzielt werden, jedoch sind im Hinblick auf ökonomische Erstellung und den Betrieb eines Gebäudes Präventivmaßnahmen im Entwurf notwendig.

Um im Entwurfsstadium möglichst effizient arbeiten und die Gefahren schnell abschätzen zu können, wird im folgenden Abschnitt versucht, ein einfaches Tool zur Bewertung der Übertemperaturhäufigkeit zu erstellen.

7.3. Bildung einer „Faustformel“

Um einen allgemeinen mathematischen Zusammenhang zu erzeugen werden zunächst die Ergebnisse gemäß Tabelle 6 auf das Raumvolumen bezogen. Daher wird im konkreten Fall die prozentuelle Überwärmung durch 72m^3 dividiert, um so den prozentuellen Einfluss pro m^3 Raumvolumen zu erhalten. Somit ergibt sich beispielsweise bei 11% Überwärmungstendenz (mittleres Ergebnis der Simulation) ein anteiliges Überwärmungspotential von $0,1528\%/m^3$ (siehe Ergebnis aus Abb. 19.). Um einen allgemeinen Zusammenhang der Einflussfaktoren herstellen zu können werden die mathematischen Funktionen ebenfalls auf einen Kubikmeter des Raumvolumens bezogen, welche in folgender Tabelle ausgewiesen werden:

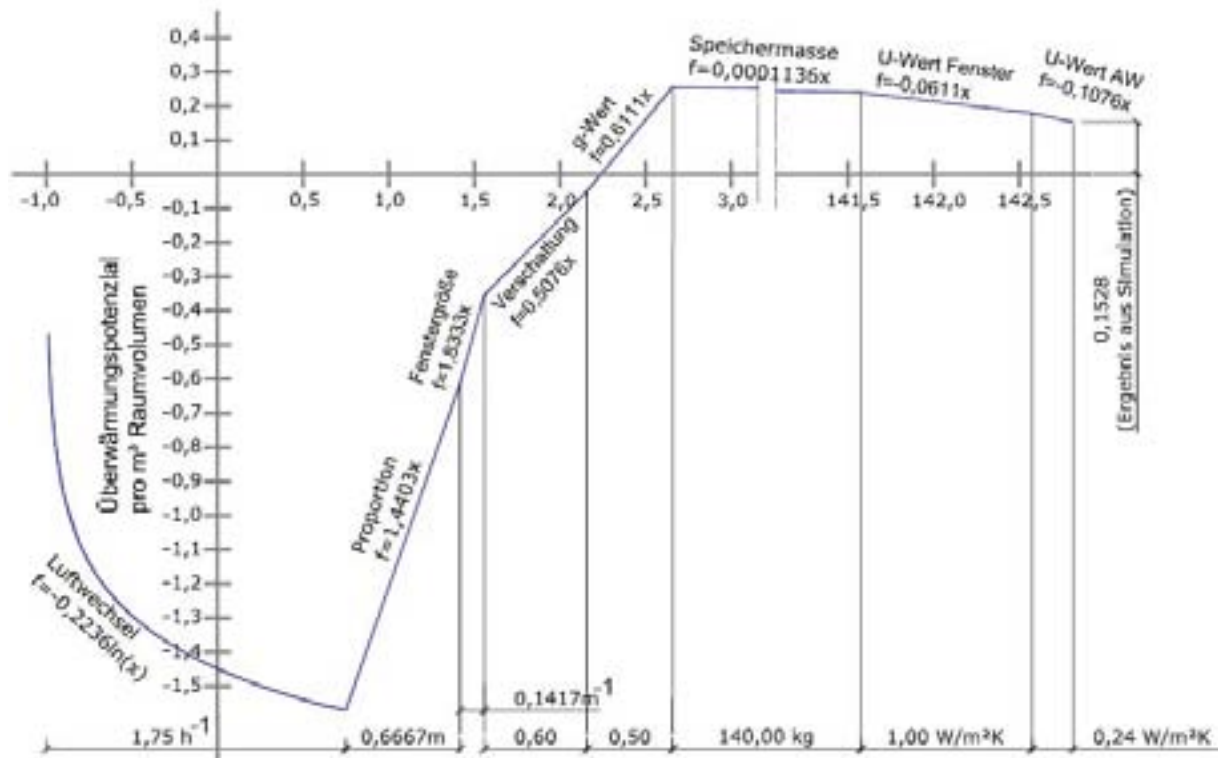
Tab. 8: Aufstellung der Einzelfunktionen bezogen auf 1m^3 des Raumvolumens

	Trendline aus Simulation	Funktion bez. auf 1m^3
Luftwechsel	$-16,102\ln(x)$	$-0,223640\ln(n_L)$
Proportion	$103,70x$	$+1,440324(l_C)$
Fenstergröße	$132,00x$	$+1,833333(f_{FEN})$
Verschattung	$36,48x$	$+0,506667(z\text{-Wert})$
g-Wert	$44,00x$	$+0,611111(g\text{-Wert})$
Speichermasse	$-0,00818182x$	$-0,00011364(m_A)$
U-Wert Fenster	$-4,40x$	$-0,061111(U_G)$
U-Wert AW	$-7,75x$	$-0,107639(U_{AW})$

Zur Bildung einer Faustformel für die sommerliche Überwärmungstendenz werden die Einzelfunktionen vektoriell addiert. Konkret werden lediglich die einzelnen Steigungen aneinandergeskettet, wodurch auf die Addition in x-Richtung nicht eingegangen werden muss. Ausgehend vom Ergebnis der Simulation ($0,1528$) wird zurückgerechnet um einen Nulldurchgang zu erhalten, welcher den mathematischen Ausgangspunkt für das vereinfachte

Berechnungsschema darstellt. Zur Verdeutlichung der Erstellung des Rechenschemas wird für die Mittelwerteingaben der Simulation folgendes Bild dargestellt:

Abb. 19: Graphische Darstellung der Aneinanderkettung der einzelnen Rechenfunktionen zur Erstellung des vereinfachten Berechnungsverfahrens



(Graphik erstellt mit: AutoCAD. Version 2004)

Der Einfluss der Himmelsrichtung wird durch Multiplikation der ermittelten Faktoren gemäß Tabelle 7 berücksichtigt. Das daraus erhaltene Ergebnis sollte zuletzt mit dem Innenvolumen multipliziert werden, um so für den jeweilig untersuchten Raum das angestrebte Endergebnis zu erhalten.

Aus den obigen Untersuchungen und den beschriebenen Berechnungsmodifikationen kann daher eine „Faustformel“ mit den verschiedenen Eingabevariablen wie folgt mathematisch ausgedrückt werden.

$$d \geq 26^{\circ}\text{C} \approx \left[\begin{array}{l} -1,4486 - 0,2236 \cdot \ln(n_L) + 1,4403 \cdot (l_C) + 1,8333 \cdot (f_{FEN}) + 0,5076 \cdot (z) + \\ + 0,6111 \cdot (g) - 0,00818182 \cdot (m) - 0,0611 \cdot (U_G) - 0,1076 \cdot (U_{AW}) \end{array} \right] \cdot f_H \cdot V$$

Hierin bedeutet:

$d \geq 26^{\circ}\text{C}$. prognostizierte Tage mit Übertemperatur ($\geq 26^{\circ}\text{C}$) pro Jahr in %

- n_L Außenluftwechsel in h^{-1}
 l_C charakteristische Länge in m
 f_{FEN} charakteristischer Faktor für Fensteranteil in m
 z Abminderungsfaktor einer Verschattungseinrichtung (dimensionslos)
 g Gesamtenergie-Durchlassgrad (dimensionslos)
 m_A durchschnittliche flächenbezogene speicherwirksame Masse der Umfassungsbauteile in $\frac{kg}{m^2}$
 U_G Wärmedurchgangskoeffizient des Glases in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
 U_{AW} Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
 V Volumen des Raumes in m^3
 f_H Faktor zur Berücksichtigung der Himmelsrichtung (dimensionslos)
(im Zweifelsfall Z_{ON} -Faktoren aus ÖNORM B 8110-3 verwenden)

Für sehr grobe Abschätzungen kann auch eine vereinfachte Form der obigen Formel Anwendung finden, sofern größere Ungenauigkeiten in der Abschätzung akzeptiert werden. Um Verwechslungen mit der Hauptformel zu vermeiden wird das Ergebnis mit $d(\text{grob}) \geq 26^\circ\text{C}$ bezeichnet und ist nur für ein sehr frühes Entwurfsstadium gedacht. Da für erste Berechnungen Ergebnisse in gewissen Bandbreiten akzeptiert werden können, wird in der Erstellung des Rechenapparats auf zwei Stellen gerundet, womit sich folgende Form ergibt:

$$d(\text{grob}) \geq 26^\circ\text{C} \approx [-1,55 - 0,22 \cdot \ln(n_L) + 1,44 \cdot (l_C) + 1,83 \cdot (f_{FEN}) + 0,51 \cdot (z) + 0,61 \cdot (g)] \cdot f_H \cdot V$$

Die Variablen für diese Berechnung sind identisch mit jenen der Hauptformel. Durch die Vereinfachungen in der Bildung der „vereinfachte Faustformel“ ist allerdings auch mit stärkeren Abweichungen gegenüber einer Simulation zu rechnen. Bei verschiedenen vergleichenden Rechenversuchen hat sich gezeigt, dass in den meisten Fällen von einer Ungenauigkeit von $\pm 5\%$ (Absolut-% der Überwärmungstage) ausgegangen werden kann.

Die einzusetzenden Variablen für beide Rechenverfahren erhält man aus der Geometrie des Raumes, aus den Beschreibungen in Abschnitt 7.1.3, von Angaben des Herstellers, sowie gegebenenfalls aus Referenzprojekten, Standardaufbauten oder Vorgaben des Auftraggebers (etc.). Sind gewisse Parameter noch nicht bekannt, kann für bestimmte Werte zur Abschätzung auch die ÖNORM B 8110-3 herangezogen werden (siehe Tabellen 10 bis 12).

Tab. 9: Richtwerte für die Sonnenenergie durchlässigkeit transparenter Bauteile

Zeile	Glasart und Bezeichnung	Aufbau Glas-/ZR ¹⁾ /Glasdicke (mm)	Lichttransmissionsgrad τ	Strahlungstransmissionsgrad τ_s	Gesamtenergie-Durchlassgrad $g^{2)}$
1	Einfachglas ³⁾	4	0,90	0,85	0,87
2	Doppelverglasung ³⁾	4/ZR/4	0,80	0,72	0,75
3	3fach-Ver­glasung ³⁾	4/ZR/4/ZR/4	0,72	0,64	0,67
4	4fach-Ver­glasung ³⁾	4/ZR/4/ZR/4/ZR/4	0,64	0,55	0,6
5	Wärmeschutzglas 1,4 goldbeschichtet	4/ZR/4	0,80	0,45	0,57
6	Wärmeschutzglas 1,6 goldbeschichtet	4/ZR/4	0,65	0,53	0,65
7	Wärmeschutzglas neutral goldbeschichtet	4/ZR/4	0,62	0,44	0,50
8	Wärmeschutzglas neutral silberbeschichtet	4/ZR/4	0,79	0,52	0,67
9	Sonnenschutzglas	5/ZR/5	0,66	0,4	0,5
10	Profilbauglas einfach	6	0,89	0,81	0,84
11	Profilbauglas doppelt	6/ZR/6	0,79	0,60	0,70
12	Profilbauglas zinnoxidbeschichtet	6/ZR/6	0,72	0,54	0,60
13	Profilbauglas kobaltoxidbeschichtet	6/ZR/6	0,27	0,23	0,33

¹⁾ ZR = Zwischenraum von 6 mm bis 12 mm
²⁾ Werden gegenüber der Tabelle 6 günstigere Rechenwerte für die Sonnenenergie durchlässigkeit transparenter Bauteile deklariert, so sind Nachweise einer akkreditierten Prüfstelle vorzulegen.
³⁾ ungefärbtes Fensterglas

(Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Tabelle 6. S. 10)

Tab. 10: Richtwerte für Abminderungsfaktoren z von Abschattungsvorrichtungen, in Kombination mit Doppelverglasung ($g = 0,75$)

Zeile	Abschattungsvorrichtung	Abminderungsfaktor ¹⁾ z
1	keine Abschattungsvorrichtung	1,00
2	Außenjalousie, Fensterläden mit Jalousiefüllung (beweglich, unterlüftet, Beleuchtung ohne künstliche Beleuchtung möglich)	0,27
3	Zwischenjalousie	0,53
4	Innenjalousie (je nach Farbe und Material)	0,75
5	beschattungswirksame Vordächer, Balkone und horizontale Lamellenblenden	0,32
6	Markisen (seitlicher Lichteinfall möglich)	0,43
7	Rollläden, Fensterläden mit voller Füllung	0,32
8	helle Innenvorhänge ²⁾ , Reflexionsvorhänge ²⁾ und Innenmarkisen	0,75
9	Bepflanzung ²⁾	0,50 bis 1,00 ³⁾

¹⁾ Werden gegenüber der Tabelle 7 günstigere Abminderungsfaktoren von Abschattungsvorrichtungen deklariert, sind Nachweise einer akkreditierten Prüfstelle vorzulegen.
²⁾ Bei baubehördlichen Nachweisen ist dieser Abminderungsfaktor unter Umständen nicht zu berücksichtigen.
³⁾ Ohne besonderen Nachweis ist der ungünstigste Wert zu wählen.

(Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Tabelle 7. S. 10)

Die Orientierung des Raumes in Bezug auf die Himmelsrichtung wird in dieser Arbeit nur bedingt untersucht. Bei der getätigten Simulation sind Faktoren für

Norden, Osten, Südosten, Süden, Südwesten und Westen erfasst. Vor allem bei geneigten Fassaden oder Glasdächern können sich erheblich höhere Gefahren für das Raumklima ergeben. In solchen Fällen kann die Tabelle mit den Z_{ON} -Faktoren aus der ÖNORM B8110-3 herangezogen werden. Verglichen mit den bei der Simulation untersuchten Himmelsrichtungen ist gegenüber der Norm eine Abweichung erkennbar. Trotzdem bilden die untenstehenden Faktoren für erste Abschätzungen eine gute Basis und können daher auch in obiger Formel für die Berechnung herangezogen werden.

Tab. 11: Z_{ON} -Faktoren zur Berücksichtigung der Glasflächenorientierung und -neigung

Neigung d. Flächennormalen	Orientierung horizontaler Winkel der äußeren Flächennormalen zur Nordrichtung							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
0°	0,54	0,82	<u>1,13</u>	1,14	1,00	1,14	<u>1,13</u>	0,82
30°	0,85	1,15	1,54	<u>1,70</u>	<u>1,69</u>	<u>1,70</u>	1,54	1,15
45°	<u>1,26</u>	<u>1,40</u>	<u>1,73</u>	<u>1,90</u>	<u>1,93</u>	<u>1,90</u>	<u>1,73</u>	<u>1,40</u>
60°	1,61	1,68	<u>1,89</u>	2,04	<u>2,08</u>	2,04	<u>1,89</u>	1,68
90°	2,06							

(Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3/AC1. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (Berichtigung). 01.06.2001. Tabelle 4. S. 2)

7.4. Überprüfung der Ergebnisse

Zur Kontrolle der Abweichungen bei der Berechnung mit der „Faustformel“ werden die Ergebnisse der Ur-Simulation mit denen des vereinfachten Berechnungsverfahrens verglichen:

Tab. 12: Vergleich zwischen den Ergebnissen aus der Simulation und den Ergebnissen aus der Faustformel beim beschriebenen Simulationsmodell

	Ergebnisse von Ur-Simulation <%>					Ergebnisse gem. Faustformel <%>				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
n_L	32,0	18,1	11,0	6,5	3,3	31,2	18,1	11,0	6,1	2,3
l_C	15,5	13,1	11,0	9,2	7,7	13,8	12,4	11,0	8,7	6,2
f_{FEN}	0,6	6,2	11,0	15,1	18,7	2,0	6,5	11,0	15,5	20,0
g	0,6	6,0	11,0	15,6	20,0	1,3	6,2	11,0	15,8	20,7
z	1,2	6,3	11,0	15,3	19,5	1,9	6,4	11,0	15,6	20,1
m_A	12,1	11,5	11,0	10,6	10,3	11,9	11,5	11,0	10,6	10,1
U_{AW}	12,3	11,6	11,0	10,4	9,8	12,2	11,6	11,0	10,4	9,8
U_{FEN}	12,8	11,9	11,0	10,1	9,3	11,0	11,9	11,0	10,1	9,2
f_H	11,7	11,8	11,0	11,8	11,7	11,7	11,8	11,0	11,8	11,7

Da in die Simulationsergebnisse Trendlinien eingefügt werden, welche in weiterer Folge zur Erstellung des vereinfachten Berechnungsschemas weiterverwendet werden, ergeben sich gegenüber den Ergebnissen aus dem PHPP-Programm verschiedenen Abweichungen.

Tab. 13: Absolute und prozentuelle Abweichung der Berechnungsergebnisse zwischen Simulation und der Faustformel beim beschriebenen Simulationsmodell

	Abweichung geg. Simulation <Absolut>					Abweichung gegenüber Simulation <%>				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
n_L	-0,8	0,0	0,0	-0,4	-1,0	3%	0%	0%	6%	30%
l_C	-1,7	-0,7	0,0	-0,5	-1,5	11%	6%	0%	6%	20%
f_{FEN}	1,4	0,3	0,0	0,4	1,3	-230%	-5%	0%	-3%	-7%
g	0,7	0,2	0,0	0,2	0,7	-120%	-3%	0%	-2%	-3%
z	0,7	0,1	0,0	0,3	0,6	-57%	-2%	0%	-2%	-3%
m_A	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	2%	0%	0%	0%	2%
U_{AW}	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	0%	0%	0%
U_{FEN}	-1,8	0,0	0,0	0,0	-0,1	14%	0%	0%	0%	1%
f_H	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	0%	0%	0%

Bei Betrachtung der prozentuellen Abweichungen sind hohe Streuungen in den oberen Bereichen bei der charakteristischen Länge und dem Luftwechsel erkennbar. Darüber hinaus entstehen auch in den unteren Bereichen bei allen drei Einflussparametern der Fenster enorme Divergenzen. Betrachtet man diese Unterschiede allerdings in absoluter Größe ist die höchste Streuung beim U-Wert des Fensters mit **-1,8%** erkennbar. Wird der g-Wert, der z-Wert und die Glasfläche als ein Parameter (=Fensterbauteil) angesehen, kann man die einzelnen Abweichungen aufsummieren, wodurch sich eine Streuung von **2,8%** ergibt.

Daher sollte grundsätzlich bei der Anwendung der „Faustformel“, basierend auf den beschriebenen Simulator, die kleinste Ungenauigkeit mit $\pm 3\%$ angesetzt werden. Kriterien für eine schnelle, grobe Berechnung mit ausreichender Genauigkeit sollten somit erfüllt sein.

Um Ungenauigkeiten bei einem, vor allem in geometrischer Hinsicht, stark vom gewählten Simulationsmodell abweichenden Raum feststellen zu können, werden im Anhang bei einem letzten Rechengang verschiedene Ergebnisse eines solchen Raumes miteinander verglichen. Hierzu dient der in der ÖNORM B 8110-3 Anhang D dargestellte Raum eines Einfamilienhauses in Leichtbauweise.

Verglichen mit der Norm, sowie mit der Simulation können auch hier keine wesentlich höheren Abweichungen festgestellt werden.

8. Abbildungs- /Tabellenverzeichnis

8.1. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zusammenhang zwischen Raum-Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Leistungsfähigkeit der Personen im Raum.....	13
Abb. 2: Behaglichkeit und körperliche Aktivität	15
Abb. 3: Behaglichkeit und Luftbewegung	16
Abb. 4: Zusammenhang von Raum-Lufttemperatur und Raum-Umschließungsflächentemperatur bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung	17
Abb. 5: Zusammenspiel von Raum-Lufttemperatur und Deckentemperatur bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung	17
Abb. 6: Zusammenspiel von Raum-Lufttemperatur und Fußbodentemperatur bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung	17
Abb. 7: Zusammenspiel von Raumluft-Temperatur und Luft-Feuchte bei der thermischen Behaglichkeitsempfindung.....	18
Abb. 8: Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung Außenbauteile	24
Abb. 9: Graphische Darstellung des gewählten Rechenmodells für die Untersuchungen	37
Abb. 10: Einfluss des Luftwechsels.....	49
Abb. 11: Einfluss der charakteristischen Länge des Raumes.....	50
Abb. 12: Einfluss der Glas(Fenster-)flächen.....	51
Abb. 13: Einfluss des g-Wertes der Glasflächen.....	52
Abb. 14: Einfluss des Verschattungsgrades bei den Fensterflächen	53
Abb. 15: Einfluss der speicherwirksamen Masse der Umfassungsbauteile.....	54
Abb. 16: Einfluss des U-Wertes der Außenwand	54
Abb. 17: Einfluss des U-Wertes der Glas(Fenster-)flächen	55
Abb. 18: Graphische Darstellung der Einflussgrößen auf die sommerliche Überwärmung beim beschriebenen Simulationsmodell gemäß Tabelle 6	57

Abb. 19: Graphische Darstellung der Aneinanderkettung der einzelnen Rechenfunktionen zur Erstellung des vereinfachten Berechnungsverfahrens60

8.2. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gewählte mittlere Raumdimensionen.....47

Tab. 2: Gewählte mittlere Fensterparameter47

Tab. 3: Resultierende geometrische Ergebnisse aus Tab. 1 und Tab. 247

Tab. 4: Sonstige mittlere Eingabeparameter.....47

Tab. 5: Gewählte Eingabewerte für die Simulationsberechnung mit der Software PHPP48

Tab. 6: Simulationsergebnisse, geordnet nach der Größe des Einflusses auf die sommerliche Überwärmung bei obig beschriebenem Simulationsmodell48

Tab. 7: Ermittelte Faktoren zur Berücksichtigung der Himmelsrichtung (dimensionslos).....55

Tab. 8: Aufstellung der Einzelfunktionen bezogen auf 1m^3 des Raumvolumens59

Tab. 9: Richtwerte für die Sonnenenergiedurchlässigkeit transparenter Bauteile62

Tab. 10: Richtwerte für Abminderungsfaktoren z von Abschattungsvorrichtungen, in Kombination mit Doppelverglasung ($g = 0,75$)62

Tab. 11: Z_{ON} -Faktoren zur Berücksichtigung der Glasflächenorientierung und -neigung63

Tab. 12: Vergleich zwischen den Ergebnissen aus der Simulation und den Ergebnissen aus der Faustformel beim beschriebenen Simulationsmodell63

Tab. 13: Absolute und prozentuelle Abweichung der Berechnungsergebnisse zwischen Simulation und der Faustformel beim beschriebenen Simulationsmodell64

9. Schlagwörter

Behaglichkeit	comfort
Faustformel	empirical formula
Gebäudesimulation	simulation of buildings
Raumklima	room climate
Sommerfall	summer case
Sommerlicher Wärmeschutz	summer heat protection
Übertemperatur	excess temperature
Überwärmung	overwarming

10. Quellenverzeichnis

Fachbücher

- Lutz, Peter: Lehrbuch der Bauphysik. Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima. 3., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: B. G. Teubner 1994.
- Meyer, Christoph / Oppermann, Jens / Wimmer, Andreas: Behaglichkeitsatlas. Bewertung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen hinsichtlich Raumklima und thermischer Behaglichkeit. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag 2004.
- Neufert, Ernst: Bauentwurfslehre. Handbuch für den Baufachmann, Bauherrn, Lehrenden und Lernenden. 34., erweiterte Auflage. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH 1996.
- Pech, Anton / Pöhn, Christian: Baukonstruktionen Band 1. Bauphysik. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2004.
- Pech, Anton / Jens, Klaus: Baukonstruktionen Band 16. Lüftung und Sanitär. 1. Auflage. Wien: Springer-Verlag 2006.
- Riccabona, Christof: Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik. 5., neubearbeitete Auflage. Wien: Verlag Manz 1996.
- Treberspurg, Martin: Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur. Zweite, aktualisierte und erweiterte Auflage. Wien: Springer-Verlag 1999.

Aufsätze aus Sammelwerken

- Künzel, Helmut: Grundsätzliches zum Wärme- und Feuchtehaushalt bei Gebäuden und Bauteilen – Instationärer Wärme- und Feuchteausaustausch an Gebäudeinnenoberflächen. In: Fensterlüftung und Raumklima. Grundlagen, Ausführungshinweise, Rechtsfragen. Hrsg: Künzel, Helmut. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.
- Terhaag, Ludwig: Thermische Behaglichkeit – Grundlagen. In: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Hrsg: Beckert, Johannes / Mechel, Fridolin P. / Lamprecht, Heinz-Otto. Düsseldorf: Beton-Verlag GmbH 1986.

Aufsätze aus Zeitschriften

- Rosenfelder, Robert: Sommerlicher Wärmeschutz. In: Ethics extra – Magazin für energiebewusstes Bauen. Ausgabe 1/08. Arbeitsgemeinschaft Wärmedämmverbundsysteme im Fachverband der Stein- und Keramischen Industrie. Wien 2008. S 1-3.

Diplomarbeiten

- Pokorny, Peter: Der Einfluss von Baumaterialien auf die Beurteilung der Wohnbehaglichkeit. Wien. Grund- und Integrativwissenschaftliche Fakultät der Universität Wien. Dipl. Arb., 1998.

Skripten

- Pech, Anton: Baukonstruktionen. Kapitel Bauphysik. 2. Auflage 11.2001. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06.
- Wedenig, Hermann: Raumordnungsrecht, Baurecht, Anlagenrecht. Kapitel Vorschriften, die der Gesundheit dienen. Belichtung von Räumen. IX. Abschnitt der Bauordnung Wien, §88. Wien, FH CAMPUS WIEN. Skriptum. WS 2005/06.

Normen

- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): DIN EN ISO 7730. Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit und Kriterien des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. 05. 2006.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM ISO 13786 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren. 01.08.2000.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM EN ISO 13792 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung von sommerlichen Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Vereinfachtes Berechnungsverfahren. 18. 07. 2005.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3/AC1. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (Berichtigung). 01.06.2001.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-6 Beiblatt 1. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Beiblatt 1: Einfamilienhaus - Validierungsbeispiele für die Berechnung des Heizwärmebedarfs. 01. 08. 2008.

Texte aus dem Internet

- Bach, Brigitte: Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation. In: URL: http://www.arsenal.ac.at/products/products_en_gt_dyn_de.html (letzter Zugriff: 11. 08. 2008)
- Feist, Wolfgang: Der Einfluss der inneren Wärmekapazität. In: URL: http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Innere_Waermekapazitaet.html (letzter Zugriff: 03. 10. 2008)
- ifes GmbH. Institut für angewandte Energie- und Strömungssimulation. Augustinerstraße 11c, 50226 Frechen: TAS Software. Wissenschaftliche Grundlagen. In: URL: http://www.ifes-frechen.de/IFES_04/Software.htm (letzter Zugriff: 08. 08.2008)

- Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen. 40190 Düsseldorf. Raumtemperaturen bei Hitzewellen. In: URL: http://www.arbeitsschutz.nrw.de/staefa/dortmund/downloads/Informationsschrift_Raumtemperaturen.pdf (letzter Zugriff: 10. 08. 2006)
- Pfurtscheller, Gerhard: Thermisch-dynamische Gebäudesimulation. Dynamische Gebäudesimulation mittels TAS 9.0.7 (Thermal Analysis Software) In: URL: <http://www.alpsolar.com/test/wp-content/uploads/2008/01/gebaeudesimulation.pdf> (letzter Zugriff: 11.08.2008)
- Teppner, Renate: Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation. Raumluftrömungen, Heizung-Lüftung-Klima. In: URL: http://www.arsenal.ac.at/products/products_en_dyn_hlk_de.html (letzter Zugriff: 11. 08. 2008)
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1190 Wien, Hohe Warte 3: Klima. Wetterrekorde. In: URL: <http://www.zamg.ac.at/klima/wetterrekorde/?ts=1218130681> (letzter Zugriff: 07. 08.2008)

Verwendete Software

- AutoCAD. Version 2004.
- cadwork. Version 15.
- PHPP Passivhaus Projektierungs-Paket.

11. Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

Simulation mit PHPP	73
Eingabemasken (der Mittelwerte)	73
Maske „Reduktionsfaktor solare Einstrahlung, Fenster-U-Wert“	73
Maske „Flächenermittlung“	74
Maske „Verglasungstyp nach Zertifikat“	75
Maske „Rahmentyp nach Zertifikat“	76
Maske „U-Werte der Bauteile“	77
Maske „Berechnung von Verschattungsfaktoren für den Sommerfall“	80
Maske „Sommerfall“ (Ergebnis Fall c3 = Mittelwert der Berechnungen)	81
Simulationsergebnisse	82
Fall a1, a2, a4, a5	82
Fall b1, b2, b4, b5	84
Fall c1, c2, c4, c5	86
Fall d1, d2, d4, d5	88
Fall e1, e2, e4, e5	90
Fall f1, f2, f4, a5	92
Fall g1, g2, g4, g5	94
Fall h1, h2, h4, h5	96
Fall i1, i2, i4, i5, i-Nordrichtung	98
Kontrolle an einem anderen Simulationsmodell	101
Gewähltes Beispiel / Berechnungsangaben	101
Berechnung gemäß. ÖNORM B 8110-3 Anhang D ³²	101
Berichtigung der Berechnung gem. ÖNORM B 8110-3-AC1 ³³	103
Berechnungsergebnisse mit Simulationsprogramm PHPP	104
Berechnung mit erstellter „Faustformel“	105
Berechnung mit „vereinfachter Faustformel“	106
Kommentar zu den Ergebnissen der Kontrollrechnungen	106

³² Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. 01.12.1999. Anhang D.1. S 29-30.

³³ Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): ÖNORM B 8110-3/AC1. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (Berichtigung). 01.06.2001. S. 2.

Passivhaus Projektierung

REDUKTIONSFAKTOR SOLARE EINSTRahlung, FENSTER-U-WERT

Objekt: **BEP - Norm-Box Raum**

Heizwärme: **25** kWh/(m²·a)

Heizgradstunden:

Klima:	Wien City	
Ausrichtung der Fensterfläche	Globalstrahlung (kWh/m²·a)	nicht-elektrischer Strahlungseinfall
Ost	2,67	0,85
Süd	3,75	0,85
West	2,37	0,85
Nord	1,73	0,85
Horizontal	3,44	0,85

g-Wert	Reduktionsfaktor solare Einstrahlung	Fensterfläche	Fenster-U-Wert	Vergleichungsfläche	mittlere Globalstrahlung
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	267
0,50	0,61	10,20	1,00	10,2	375
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	237
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	173
0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	344

Transmissionsverluste	Wärmeangebot Solarstrahlung
0	0
745	1160
0	0
0	0
0	0

73,0

Summe bzw. Mittelwert über alle Fenster

0,50	0,61	10,20	1,00	10,2
------	------	-------	------	------

745	1160
-----	------

Anzahl	Bezeichnung	Abweichung zur Nordrichtung		Neigung gegen die Horizontale	eingebaut	Rohbaumaße Fenster		Verglasung		Rahmen		g-Wert		U-Werte		Einbau				Ψ-Werte		Ergebnisse		Glasanteil je Fenster %					
		Grad	Grad			in Fläche im Flächenblatt auswählen:	Nr auswählen:	Nr auswählen:	Auswahl FenTyp	Auswahl FenTyp	Nr auswählen:	senkr. Einstrahlung	Verglasung	Rahmen	Breite links	Breite rechts	Breite unten	Breite oben	links / /0	rechts / /0	unten / /0	oben / /0	Ψ_Glaswand		Ψ_Einbau	Fensterfläche m²	Vergleichungsfläche m²	U-Wert Fenster W/(m²K)	
1	F1	180	90	Süd	1	24,000	0,425	1	1	2	1	2	0,50	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,2	10,20	1,00	1,00

Passivhaus-Projektierung
VERGLASUNGSTYP NACH ZERTIFIKAT

zu den Rahmen ab Zeile 64

Aufbau Nr.	TYP Verglasung	g-Wert	U _g -Wert W/(m ² ·K)	Schall- Dämm- maß dB	Masse kg/m ²	Invest für Std. Maßnahme €/m ²	Gesamt- invest €/m ²	variable invest. €/m ² Einheit	Öko- Eigenschaft I	Öko- Eigenschaft II	Kommentar
1											
2	BBP-Glas	0,500	1,000								
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											

Passivhaus-Projektierung
RAHMENTYP NACH ZERTIFIKAT

zu den Vergleichen ab Zelle 2

Aufbau Nr.	TYP	Rahmen	Uj-Wert		Rahmenmaße				Wärmebr. $\Psi_{Gehäuse}$ W/(mK)	Wärmebr. Ψ_{Einbau} W/(mK)	Invest-Kosten €/m ²	Invest für Std. Maßnahme €/m ²	variable Invest.	Öko-Eigenschaft I	Öko-Eigenschaft II	Kommentar
			Rahmen W/(m ² K)	Breite links m	Breite rechts m	Breite unten m	Breite oben m									
1	-	kein -														
2		BBP-Fenster	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																

U-WERTE DER BAUTEILE

Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**

AW 01 Außenwand 01							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} :					
		außen R _{sa} :					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	
						Dicke [mm]	
1. Außenwand	0,008					100	
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe	
						10,0 cm	
U-Wert:						0,080 W/(m ² K)	

AW 02 Außenwand 02							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} :					
		außen R _{sa} :					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	
						Dicke [mm]	
1. Außenwand	0,016					100	
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe	
						10,0 cm	
U-Wert:						0,160 W/(m ² K)	

AW03 Außenwand 03							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} :					
		außen R _{sa} :					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite	
						Dicke [mm]	
1. Außenwand	0,024					100	
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe	
						10,0 cm	
U-Wert:						0,240 W/(m ² K)	

U-WERTE DER BAUTEILE

Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**

AW04 Außenwand 04						Summe Breite
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} :				
		außen R _{se} :				
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Außenwand	0,032					100
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						10,0 cm
U-Wert: 0,320 W/(m ² K)						

AW05 Außenwand 05						Summe Breite
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} :				
		außen R _{se} :				
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Außenwand	0,040					100
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						10,0 cm
U-Wert: 0,400 W/(m ² K)						

B03 Fußboden erdberührt						Summe Breite
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung		Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} :				
		außen R _{se} :				
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Fußboden	0,025					100
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						10,0 cm
U-Wert: 0,250 W/(m ² K)						

U-WERTE DER BAUTEILE

Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**

DE03	Zwischendecke						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung							
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} : <input type="text"/>							
außen R _{sa} : <input type="text"/>							
	Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1.	Zwischendecke	0,075					100
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
	Flächenanteil Teilfläche 2			Flächenanteil Teilfläche 3			Summe
	<input type="text"/>			<input type="text"/>			10,0 cm
	U-Wert: 0,750 W/(m ² K)						

IW03	Innenwand 03						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung							
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} : <input type="text"/>							
außen R _{sa} : <input type="text"/>							
	Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1.	Innenwand	0,075					100
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
	Flächenanteil Teilfläche 2			Flächenanteil Teilfläche 3			Summe
	<input type="text"/>			<input type="text"/>			10,0 cm
	U-Wert: 0,750 W/(m ² K)						

Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung							
Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W] innen R _{si} : <input type="text"/>							
außen R _{sa} : <input type="text"/>							
	Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
	Flächenanteil Teilfläche 2			Flächenanteil Teilfläche 3			Summe
	<input type="text"/>			<input type="text"/>			<input type="text"/> cm
	U-Wert: <input type="text"/> W/(m ² K)						

SOMMERFALL

Klima: **Wien**
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**
 Standort: **Wien**

Innentemperatur: **20** °C
 Gebäudetyp/Nutzung:
 Energiebezugsfläche A_{EB}: **24,0** m²

spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m² WFL
 Übertemperaturgrenze: **26** °C

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _{T,Sommer}	H _{Sommer} Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62	
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A			1,00	
10. Wbrücken außen (Länge/	A			0,92	
11. Wbrücken Perimeter (Lä	P			1,00	
12. Wbrücken Boden (Länge/	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen H_{T,e}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g}

14,6 W/K
6,0 W/K

Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmeübertragers η_{WRG} **82%**
 wirksames Luftvolumen V_L **24,0** m³ * lichte Raumhöhe **2,60** m = **62** m³

ankreuzen: freie Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: **1/h 1,75**
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG
 Zu-/Abl. ohne WRG **0,33** η_{EWTr}

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) + **0,000**

Lüftungsleitwert außen H_{V,e} **62** * **1,750** * **0,33** = **36,0** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g} **62** * **0,000** * **0,33** = **0,0** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel-faktor Sommer	Versch.-faktor Sommer	Rück-reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Apertur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur Summe **2,4** m²/m² **0,10**

Innere Wärmequellen Q_i spez. Leistung q_i **2,10** W/m² * AEB **24** m² = **50** W **2,1** W/m²

Übertemperaturhäufigkeit h_{q ≥ θ_{max}} **11,0%** bei der Übertemperaturgrenze θ_{max} = 26 °C
 Wenn die "Häufigkeit über 25°C" 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,160** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmelastwert H_{Plume} : **2,9** W/m²

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	Wärmelastwert H_{Plume}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,160	0,92	2,9
2. Außenwand Erdreich	B		1,00	1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D	24,0	0,250	0,62	6,0
4. Bodenplatte	B		1,00	1,00	
5.	A		0,92	0,92	
6.	A		0,92	0,92	
7.	X		0,92	0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A		1,00	1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A		0,92	0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P		1,00	1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B		1,00	1,00	

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **11,7** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** W/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindusiergras η_{WEG} **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L **24,0** m³ lichte Raumhöhe **2,60** m Φ_{WEG} **1,750** W/h
 ankreuzen: **X** **keine Lüftung (Fenster+Fugen):** **0,00** h/h Sommerlüftung Luftwechsel: λ_{h} **1,75**
nur mechan. Abluft **Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG** Φ_{WEG} **1,750** W/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG** Φ_{WEG} **1,750** W/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG** Φ_{WEG} **1,750** W/h
 energiegleich wirksamer Luftwechsel λ_{h} **1,750** h/h Φ_{WEG} **1,750** W/h Φ_{WEG} **1,750** W/h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **62** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **62** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur **2,4** m²

Innere Wärmequellen Q_i **24** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{\text{max}}}$ **11,6%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,080** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmelastwert H_{Plume} : **1,5** W/m²

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	Wärmelastwert H_{Plume}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,080	0,92	1,5
2. Außenwand Erdreich	B		1,00	1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D	24,0	0,250	0,62	6,0
4. Bodenplatte	B		1,00	1,00	
5.	A		0,92	0,92	
6.	A		0,92	0,92	
7.	X		0,92	0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A		1,00	1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A		0,92	0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P		1,00	1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B		1,00	1,00	

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **11,7** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** W/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindusiergras η_{WEG} **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L **24,0** m³ lichte Raumhöhe **2,60** m Φ_{WEG} **1,750** W/h
 ankreuzen: **X** **keine Lüftung (Fenster+Fugen):** **0,00** h/h Sommerlüftung Luftwechsel: λ_{h} **1,75**
nur mechan. Abluft **Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG** Φ_{WEG} **1,750** W/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG** Φ_{WEG} **1,750** W/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG** Φ_{WEG} **1,750** W/h
 energiegleich wirksamer Luftwechsel λ_{h} **1,750** h/h Φ_{WEG} **1,750** W/h Φ_{WEG} **1,750** W/h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **62** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **62** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur **2,4** m²

Innere Wärmequellen Q_i **24** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{\text{max}}}$ **12,3%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{BEP}: m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL H_{Plasma} Wärmelastwert
 Übergempe-
 ratengrenze: **26** °C Reduktionsfaktor f_{Summer}

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Wirkungsfaktor f _{Summer}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,400	0,92
2. Außenwand Erdreich	B			1,00
3. Dach/Decken Außenluft	D	24,0	0,250	0,62
4. Bodenplatte	B			1,00
5.	A			0,92
6.	A			0,92
7.	X			0,92
8. Fenster	X	10,2	1,000	1,00
9. Außentür	A			1,00
10. Wbrücken außen (Länge)	A			0,92
11. Wbrücken Perimeter (L/P)	P			1,00
12. Wbrücken Boden (Länge)	B			1,00

Transmissionsleitwert außen H_{T,o}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g}

W/K W/K

W/K W/K

Wärmeeintragsgrad
 des Passivhausmodells
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen):
 nur mechan. Abluft 0,00 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG 0,33 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG 0,33 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_L

1/h m³ 1/h + + (1 -) +

Lüftungsleitwert außen H_{V,o}
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g}

W/K W/K

W/K W/K

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L
 V_L m³ 1/h

m³ 1/h + (1 -) +

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur m² m² m²

spezif. Leistung q_{Winter} m² m² W

Innere Wärmequellen Q_i

Übertemperaturhäufigkeit h_{t, > 3max} **bei der Übertemperaturgrenze Δt_{max} = 26 °C**
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	Wärmekapazität C_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D	24,0	0,250	0,62	6,0
4. Bodenplatte	B			1,00	
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	X	10,2	0,600	1,00	6,1
9. Außentür	A			1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A			0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P			1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **10,5** WK
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** WK

Wärmeeintragsgrad η_{WEG} des Passivhausanforderungs **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L **24,0** m³ lichte Raumhöhe **2,60** m
 ankreuzen: **X** **keine Lüftung (Fenster+Fugen):** Sommerlüftung Luftwechsel: \dot{V}_L **1,75** 1/h
keine Lüftung (Fenster+Fugen): nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WEG} **0,33** 1/h
Zu- und Abluft ohne WRG Φ_{WEG} **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel \dot{V}_L **1,750** + **0,000** + **0,000** + **0,000** = **1,750** m³/h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **62** WK
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **62** WK

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Solarapertur					10,2		2,4

spezif. Leistung q_{AEB} **2,710** W/m² **24** m² **50** W

Innere Wärmequellen Q_i **2,710** W/m² **24** m² **50** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > 26}$ **11,9%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	Wärmekapazität C_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D	24,0	0,250	0,62	6,0
4. Bodenplatte	B			1,00	
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	X	10,2	0,600	1,00	6,1
9. Außentür	A			1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A			0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P			1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **10,5** WK
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** WK

Wärmeeintragsgrad η_{WEG} des Passivhausanforderungs **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L **24,0** m³ lichte Raumhöhe **2,60** m
 ankreuzen: **X** **keine Lüftung (Fenster+Fugen):** Sommerlüftung Luftwechsel: \dot{V}_L **1,75** 1/h
keine Lüftung (Fenster+Fugen): nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WEG} **0,33** 1/h
Zu- und Abluft ohne WRG Φ_{WEG} **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel \dot{V}_L **1,750** + **0,000** + **0,000** + **0,000** = **1,750** m³/h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **62** WK
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **62** WK

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Solarapertur					10,2		2,4

spezif. Leistung q_{AEB} **2,710** W/m² **24** m² **50** W

Innere Wärmequellen Q_i **2,710** W/m² **24** m² **50** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > 26}$ **12,8%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{BE}: m²
 spez. Kapazität: Wh/K pro m³ WFL
 Übertemperaturgrenze: °C
 Bauteile Temperaturzone Fläche U-Wert Reduktionsfaktor f_{Summer} H_{tr,e} H_{tr,e} H_{tr,e}
 (W/m²K) (°C) (m²) (W/m²K) (W/m²K) (W/K) (W/K) (W/K)

1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4		
2. Außenwand Erdreich	B			1,00			
3. Dach/Decken Außenluft	D	24,0	0,250	0,62	6,0		
4. Bodenplatte	B			1,00			
5.	A			0,92			
6.	A			0,92			
7.	X			0,92			
8. Fenster	A	10,2	1,400	1,00	14,3		
9. Außentür	A			1,00			
10. Brücken außen (Länge)	A			0,92			
11. Brücken Perimeter (L/P)	P			1,00			
12. Brücken Boden (Länge)	B			1,00			

H_{tr,e} → Wärmelastwert

1,6,6 W/K 6,0 W/K

Transmissionsleitwert außen H_{tr,e}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{tr,e}

Wärmeeintragsgrad des Paternindusiergrids η_{WEG} 0,23 wirksames Lüftvolumen V_L 24,0 m³ lichte Raumhöhe 2,60 m³ 62

ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h 1,75
 nur mechan. Abluft 0,00 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG 0,33 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG 0,33 1/h

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L 1,750 + 0,000 + (1 - 0,000) + 0,000 1/h

V_L m³ 62 q_{WEG} W/m²h 1,750 + 0,000 + 0,000 + 0,000 W/m²h

Q_{WEG} kWh 1,750 + 0,000 + 0,000 + 0,000 kWh

Lüftungsleitwert außen H_{V,a}
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g}

Ausrichtung der Fläche Winkel-faktor Sommer Versch.-faktor Sommer Rück-reflektion q-Wert (senkr. Einstr.) Fläche Verglasungsanteil Apertur

1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Summe 2,4

Solarapertur

spezif. Leistung q_W 2,710 W/m²h AEB 24 m²h W 50

Innere Wärmequellen Q_i

Übertemperaturhäufigkeit h_{h>3max} 9,3% bei der Übertemperaturgrenze δ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung SOMMERFALL

Klima: **Wien**
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**
 Standort: **Wien**
 spez. Kapazität: **175** kWh pro m³ WFL
 Ober-temperaturgrenze: **26** °C

Innentemperatur: **20** °C
 Gebäudey/Nutzung: **24,0** m²
 Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 H_{Plasma} → Wärmelastwert

U-Wert: **1,75** W/m²K
 Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m²	U-Wert W/m²K	Reduktionsfaktor f_{Sommer}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92
2. Außenwand Erdreich	B	*	*	1,00
3. Dach/Decken Außenluft	D	*	*	0,62
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00
5.	A	*	*	0,92
6.	A	*	*	0,92
7.	X	*	*	0,92
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00
9. Außentür	A	*	*	1,00
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	*	*	0,92
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	*	*	1,00
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	*	*	1,00

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$: **14,6** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$: **6,0** W/K

Wärmeeintragsgrad des Paternwärmeeintrags η_{WEG} : **0,23**
 wirksames Lüftvolumen V_L : **24,9** m³
 lichte Raumhöhe: **2,60** m
 Sommergefährdung Lüftwechsel: $1/h$: **1,75**

ankreuzen: freie Lüftung (Fenster+Fußen): **0,00** 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$

Wärmeeintragsgrad des Paternwärmeeintrags η_{WEG} : **0,23**
 wirksames Lüftvolumen V_L : **24,9** m³
 lichte Raumhöhe: **2,60** m
 Sommergefährdung Lüftwechsel: $1/h$: **1,75**

ankreuzen: freie Lüftung (Fenster+Fußen): **0,00** 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$

Wärmeeintragsgrad des Paternwärmeeintrags η_{WEG} : **0,23**
 wirksames Lüftvolumen V_L : **24,9** m³
 lichte Raumhöhe: **2,60** m
 Sommergefährdung Lüftwechsel: $1/h$: **1,75**

ankreuzen: freie Lüftung (Fenster+Fußen): **0,00** 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$

Wärmeeintragsgrad des Paternwärmeeintrags η_{WEG} : **0,23**
 wirksames Lüftvolumen V_L : **24,9** m³
 lichte Raumhöhe: **2,60** m
 Sommergefährdung Lüftwechsel: $1/h$: **1,75**

ankreuzen: freie Lüftung (Fenster+Fußen): **0,00** 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

energetisch wirksamer Lüftwechsel n_{eff} : **1,750**
 V_L : **24,9** m³
 Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h
 Φ_{WEG} : **0,000** 1/h

Solarapertur

Ausrichtung der Fläche Sommer: **0,84**
 Versch.-faktor Sommer: **1,00**
 Rückreflektion: **0,95**
 g-Wert (senk. Einstr.): **0,00**
 Fläche: **0,0** m²
 Verglasungsanteil: **0%**

Ausrichtung der Fläche Sommer	Versch.-faktor Sommer	Rückreflektion	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m²	Verglasungsanteil
1. Ost	0,84	0,95	0,00	0,0	0%
2. Süd	0,84	0,95	0,28	10,2	100%
3. West	0,84	0,95	0,00	0,0	0%
4. Nord	0,84	0,95	0,00	0,0	0%
5. Horizontal	0,84	0,95	0,00	0,0	0%

Summe: **1,4** m²
 spezif. Leistung q_{Wint} : **2,710** W/m²
 AEB: **24** m²
 W: **50** W
6,0% bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{max} = 26$ °C

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t > \delta_{max}}$: **0,06** mmp
 Wenn die Häufigkeit über 26°C, 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Solarapertur

Ausrichtung der Fläche Sommer: **0,84**
 Versch.-faktor Sommer: **1,00**
 Rückreflektion: **0,95**
 g-Wert (senk. Einstr.): **0,00**
 Fläche: **0,0** m²
 Verglasungsanteil: **0%**

Ausrichtung der Fläche Sommer	Versch.-faktor Sommer	Rückreflektion	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m²	Verglasungsanteil
1. Ost	0,84	0,95	0,00	0,0	0%
2. Süd	0,84	0,95	0,28	10,2	100%
3. West	0,84	0,95	0,00	0,0	0%
4. Nord	0,84	0,95	0,00	0,0	0%
5. Horizontal	0,84	0,95	0,00	0,0	0%

Summe: **1,4** m²
 spezif. Leistung q_{Wint} : **2,710** W/m²
 AEB: **24** m²
 W: **50** W
0,6% bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{max} = 26$ °C

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t > \delta_{max}}$: **0,06** mmp
 Wenn die Häufigkeit über 26°C, 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmehaltwert H_{Bauteil} : **4,4** Wh/(m²K)

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmehaltwert H_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,62		
4. Bodenplatte	B	0,250	24,0	6,0
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,o}$ **14,6** Wh/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** Wh/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindusdämmung η_{WEG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **62** m³
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **1,75** Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel η_L : **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,000** 1/h
 V_L : **62** m³ $\eta_{\text{Luft,WRG}}$: **0,33** $\eta_{\text{Luft,keine}}$: **0,000** $\eta_{\text{Luft,mech}}$: **0,33**

Lüftungsleitwert außen $H_{V,o}$ **36,0** Wh/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **0,0** Wh/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Aperur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,25	0,95	0,50	10,2	100%	1,9
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe					10,2		1,9

Solarapertur **1,9** m²
 spezif. Leistung $q_{\text{Wärme}}$: **2,710** W/m² AEB: **24** m² W: **50** W
 Innere Wärmequellen Q_i

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > 26}$: **6,3%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmehaltwert H_{Bauteil} : **4,4** Wh/(m²K)

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmehaltwert H_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,62		
4. Bodenplatte	B	0,250	24,0	6,0
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,o}$ **14,6** Wh/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** Wh/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindusdämmung η_{WEG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **62** m³
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **1,75** Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel η_L : **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,000** 1/h
 V_L : **62** m³ $\eta_{\text{Luft,WRG}}$: **0,33** $\eta_{\text{Luft,keine}}$: **0,000** $\eta_{\text{Luft,mech}}$: **0,33**

Lüftungsleitwert außen $H_{V,o}$ **36,0** Wh/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **0,0** Wh/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Aperur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,25	0,95	0,50	10,2	100%	1,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe					10,2		1,4

Solarapertur **1,4** m²
 spezif. Leistung $q_{\text{Wärme}}$: **2,710** W/m² AEB: **24** m² W: **50** W
 Innere Wärmequellen Q_i

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > 26}$: **1,2%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wohnung**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL $H_{p,innen}$ Wärmehaltwert: **24,0** m²
 Übertemperaturgrenze: **2,6** °C

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wohnung**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL $H_{p,innen}$ Wärmehaltwert: **24,0** m²
 Übertemperaturgrenze: **2,6** °C

Reduktionsfaktor $f_{s,summer}$

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Wärmehaltwert
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	*	1,00	*
3. Dach/Decken Außenluft	D	*	0,62	*
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	6,0
5.	A	*	0,92	*
6.	A	*	0,92	*
7.	X	*	0,92	*
8. Fenster	A	10,2	1,000	10,2
9. Außentür	A	*	1,00	*
10. Wbrücken außen (Länge)	A	*	0,92	*
11. Wbrücken Perimeter (L/P)	P	*	1,00	*
12. Wbrücken Boden (Länge)	B	*	1,00	*

Reduktionsfaktor $f_{s,summer}$

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Wärmehaltwert
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	*	1,00	*
3. Dach/Decken Außenluft	D	*	0,62	*
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	6,0
5.	A	*	0,92	*
6.	A	*	0,92	*
7.	X	*	0,92	*
8. Fenster	A	10,2	1,000	10,2
9. Außentür	A	*	1,00	*
10. Wbrücken außen (Länge)	A	*	0,92	*
11. Wbrücken Perimeter (L/P)	P	*	1,00	*
12. Wbrücken Boden (Länge)	B	*	1,00	*

Transmissionsleitwert außen $H_{t,e}$
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{t,g}$

Transmissionsleitwert außen $H_{t,e}$
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{t,g}$

Wärmehaltwertgrad der Paternindusierung $H_{p,innen}$

Wirkungsfaktor $\eta_{w,eff}$: **0,23** A_{EG} m²: **24,0** lichte Raumhöhe m: **2,60** $H_{p,innen}$ m²: **62**

ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: $\dot{V}_{L,eff}$ 1/h: **1,75**
 nur mechan. Abluft: $\dot{V}_{L,mech}$ 1/h: **0,00**
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG: $\dot{V}_{L,Zu+Ab}$ 1/h: **0,33**
 Zu-Abt. ohne WRG: $\dot{V}_{L,Zu+Ab}$ 1/h: **0,33**

energetisch wirksamer Luftwechsel $\dot{V}_{L,eff}$ 1/h: **1,750** + **0,000** * **(1 - 0,000)** + **0,000**

Wärmehaltwertgrad der Paternindusierung $H_{p,innen}$

Wirkungsfaktor $\eta_{w,eff}$: **0,23** A_{EG} m²: **24,0** lichte Raumhöhe m: **2,60** $H_{p,innen}$ m²: **62**

ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: $\dot{V}_{L,eff}$ 1/h: **1,75**
 nur mechan. Abluft: $\dot{V}_{L,mech}$ 1/h: **0,00**
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG: $\dot{V}_{L,Zu+Ab}$ 1/h: **0,33**
 Zu-Abt. ohne WRG: $\dot{V}_{L,Zu+Ab}$ 1/h: **0,33**

energetisch wirksamer Luftwechsel $\dot{V}_{L,eff}$ 1/h: **1,750** + **0,000** * **(1 - 0,000)** + **0,000**

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$

Ausrichtung der Fläche Sommer

Ausrichtung	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,73	0,95	0,50	10,2	100%	3,5
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Summe **3,5**

Ausrichtung der Fläche Sommer

Ausrichtung	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,73	0,95	0,50	10,2	100%	3,5
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Summe **3,0**

Solarapertur

spezif. Leistung $q_{s,eff}$ W/m²: **2,710** A_{EG} m²: **24** $H_{p,innen}$ m²: **50**

Solarapertur

spezif. Leistung $q_{s,eff}$ W/m²: **2,710** A_{EG} m²: **24** $H_{p,innen}$ m²: **50**

Innere Wärmequellen $Q_{i,eff}$

Innere Wärmequellen $Q_{i,eff}$

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t3 > \delta_{max}}$ **19,5%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{max} = 26$ °C

Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t3 > \delta_{max}}$ **15,3%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{max} = 26$ °C

Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **22,3** m² Wärmehaltwert H_{Plasma} : **4,9** Wh/m²

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmehaltwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	22,3	4,9
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,62		
4. Bodenplatte	B	1,00	24,0	6,0
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	X	1,000	7,7	7,7
9. Außenür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **10,7** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** W/K

Wärmehaltbeleggrad des Plattenunterbodens η_{WBG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **2,60** m
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **1,75** Sommerlüftung Lüftwechsel: λ_{h} **1,75** h
 nur mechan. Abluft λ_{h} : **0,00** h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG λ_{h} : **0,33** h
 Zu-/Abf. ohne WRG λ_{h} : **0,33** h
 energetisch wirksamer Lüftwechsel λ_{h} : **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,000** h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **62** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **62** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	7,7	100%	1,9
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe					7,7		1,9

Solarapertur **1,9** m²
 spezif. Leistung q_{AEB} **2,10** W/m² AEB **24** m² W **50** W

Innere Wärmequellen Q_i **6,2%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **24,7** m² Wärmehaltwert H_{Plasma} : **5,5** Wh/m²

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmehaltwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	24,7	5,5
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,62		
4. Bodenplatte	B	1,00	24,0	6,0
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	X	1,000	5,3	5,3
9. Außenür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **10,7** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** W/K

Wärmehaltbeleggrad des Plattenunterbodens η_{WBG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **2,60** m
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **1,75** Sommerlüftung Lüftwechsel: λ_{h} **1,75** h
 nur mechan. Abluft λ_{h} : **0,00** h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG λ_{h} : **0,33** h
 Zu-/Abf. ohne WRG λ_{h} : **0,33** h
 energetisch wirksamer Lüftwechsel λ_{h} : **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,000** h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **62** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **62** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	5,3	100%	1,3
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe					5,3		1,3

Solarapertur **1,3** m²
 spezif. Leistung q_{AEB} **2,10** W/m² AEB **24** m² W **50** W

Innere Wärmequellen Q_i **0,6%** bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: Reduktionsfaktor f_{Sommer}
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C

$H_{T,e}$
 $H_{T,i}$

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	$H_{T,e}$ W/K	$H_{T,i}$ W/K
1. Außenwand Außenluft	A	14,9	0,240	0,92	3,3	1,00
2. Außenwand Erdreich	B			1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62		
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0	1,00
5.	A			0,92		
6.	A			0,92		
7.	X			0,92		
8. Fenster	A	15,1	1,000	1,00	15,1	1,00
9. Außentür	A			1,00		
10. Brücken außen (Länge/	A			0,92		
11. Brücken Perimeter (L/	P			1,00		
12. Brücken Boden (Länge/	B			1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,i}$**
 W/m²K
 W/m²K
 16,5 6,0

Wärmedurchgangskoeffizient des Fensterelementes $U_{w,eff}$ $U_{w,eff}$ $U_{w,eff}$ $U_{w,eff}$
 W/m²K W/m²K W/m²K W/m²K
 0,23 24,9 2,60 62
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h 1,75
 nur mechan. Abluft Φ_{Mech} 0,00 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WRG} 0,33 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG Φ_{WRG} 0,33 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_{eff} n_{eff} n_{eff} n_{eff}
 1,750 0,000 1 0,000

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,i}$**
 W/m²K
 W/m²K
 36,0 0,0

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	15,1	100%	3,6
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur m^2/m^2
 0,15

Innere Wärmequellen Q_i
 spez. Leistung q_{in} AEB W/m²
 2,710 24 50

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{\text{max}}}$ **18,7%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: Reduktionsfaktor f_{Sommer}
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C

$H_{T,e}$
 $H_{T,i}$

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	$H_{T,e}$ W/K	$H_{T,i}$ W/K
1. Außenwand Außenluft	A	17,3	0,240	0,92	3,8	1,00
2. Außenwand Erdreich	B			1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62		
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0	1,00
5.	A			0,92		
6.	A			0,92		
7.	X			0,92		
8. Fenster	A	12,7	1,000	1,00	12,7	1,00
9. Außentür	A			1,00		
10. Brücken außen (Länge/	A			0,92		
11. Brücken Perimeter (L/	P			1,00		
12. Brücken Boden (Länge/	B			1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,i}$**
 W/m²K
 W/m²K
 16,5 6,0

Wärmedurchgangskoeffizient des Fensterelementes $U_{w,eff}$ $U_{w,eff}$ $U_{w,eff}$ $U_{w,eff}$
 W/m²K W/m²K W/m²K W/m²K
 0,23 24,9 2,60 62
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h 1,75
 nur mechan. Abluft Φ_{Mech} 0,00 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WRG} 0,33 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG Φ_{WRG} 0,33 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_{eff} n_{eff} n_{eff} n_{eff}
 1,750 0,000 1 0,000

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,i}$**
 W/m²K
 W/m²K
 36,0 0,0

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	12,7	100%	3,0
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur m^2/m^2
 0,13

Innere Wärmequellen Q_i
 spez. Leistung q_{in} AEB W/m²
 2,710 24 50

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{\text{max}}}$ **15,1%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{geb}: m²
 spez. Kapazität: **10,6** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: W/(m²K)
 Reduktionsfaktor f_{summer}: Platten-Wärmeleitwert: W/K
 Übertemperaturgrenze: **2,6** °C Fläche: m² Temperaturzone: Wärmeeintragsgrad der Paternindoorergis: W/(m²K)
 Bauteile: m² U-Wert: W/(m²K) Wärmeeintragsgrad der Paternindoorergis: W/(m²K)

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f _{summer}	Platten-Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62	
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A			1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A			0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P			1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen H_{T,e} H_{T,e} = W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g} H_{T,g} = W/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindoorergis: W/(m²K) lichte Raumhöhe: m A_{geb}: m²
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft: 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG: 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG: 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_l: + + (1 -) = 1/h
 V_L: m³ V_{l,eff}: m³ V_{l,eff,net}: m³
 V_l: m³ V_{l,eff}: m³ V_{l,eff,net}: m³
 V_l: m³ V_{l,eff}: m³ V_{l,eff,net}: m³

Lüftungsleitwert außen H_{V,e} H_{V,e} = W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g} H_{V,g} = W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Aperur
1. Dach	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur: m² Summe: m²
 spezif. Leistung q_{Winter}: W/m² AEB: m² W_{Winter}: W

Innere Wärmequellen Q_i: W/m² W_{Winter}: W

Übertemperaturhäufigkeit h_{3,2 > θ_{max}}: bei der Übertemperaturgrenze θ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{geb}: m²
 spez. Kapazität: **3,8** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: W/(m²K)
 Reduktionsfaktor f_{summer}: Platten-Wärmeleitwert: W/K
 Übertemperaturgrenze: **2,6** °C Fläche: m² Temperaturzone: Wärmeeintragsgrad der Paternindoorergis: W/(m²K)
 Bauteile: m² U-Wert: W/(m²K) Wärmeeintragsgrad der Paternindoorergis: W/(m²K)

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f _{summer}	Platten-Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62	
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A			1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A			0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P			1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen H_{T,e} H_{T,e} = W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g} H_{T,g} = W/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindoorergis: W/(m²K) lichte Raumhöhe: m A_{geb}: m²
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft: 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG: 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG: 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel n_l: + + (1 -) = 1/h
 V_L: m³ V_{l,eff}: m³ V_{l,eff,net}: m³
 V_l: m³ V_{l,eff}: m³ V_{l,eff,net}: m³
 V_l: m³ V_{l,eff}: m³ V_{l,eff,net}: m³

Lüftungsleitwert außen H_{V,e} H_{V,e} = W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g} H_{V,g} = W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Aperur
1. Dach	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur: m² Summe: m²
 spezif. Leistung q_{Winter}: W/m² AEB: m² W_{Winter}: W

Innere Wärmequellen Q_i: W/m² W_{Winter}: W

Übertemperaturhäufigkeit h_{3,2 > θ_{max}}: bei der Übertemperaturgrenze θ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{geb}: m²
 spez. Kapazität: **313** Wh/K pro m³ WFL
 Übertemperaturgrenze: **2,6** °C

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _{summer}	H _{tr,0} W/K	H _{tr,e} W/K
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4	14,6
2. Außenwand Erdreich	B			1,00		6,0
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62		
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0	6,0
5.	A			0,92		
6.	A			0,92		
7.	X			0,92		
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2	10,2
9. Außentür	A			1,00		
10. Brücken außen (Länge)	A			0,92		
11. Brücken Perimeter (L/P)	P			1,00		
12. Brücken Boden (Länge)	B			1,00		

Transmissionsleitwert außen H_{tr,0} W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{tr,e} W/K

Wärmedurchgangskoeffizient des Paternindusiergrids A_{gl} m² lichte Raumhöhe m³ = 62
 wirksames Lüftröhrum V_L m³ = 24,0 * 2,60 = 62
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h = 1,75
 nur mechan. Abluft = 0,00 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG = 0,33 1/h
 Zu-Abf. ohne WRG = 0,33 1/h
 energiegleich wirksamer Luftwechsel n_l = 1,750 + 0,000 + (1 - 0,000) = 0,000
 V_L m³ n_{l,eff} 1/h G_{tot} W/(m²K) = 36,0 W/K
 = 62 = 1,750 = 0,33
 = 62 = 0,000 = 0,33

Lüftungsleitwert außen H_{V,0} W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,e} W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel-faktor Sommer	Versch.-faktor Sommer	Rück-reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur m²/m²
 spezif. Leistung q_{Winter} m² + = W

Übertemperaturhäufigkeit h_{h>3max} bei der Übertemperaturgrenze Δ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{geb}: m²
 spez. Kapazität: **244** Wh/K pro m³ WFL
 Übertemperaturgrenze: **2,6** °C

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _{summer}	H _{tr,0} W/K	H _{tr,e} W/K
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4	14,6
2. Außenwand Erdreich	B			1,00		6,0
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62		
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0	6,0
5.	A			0,92		
6.	A			0,92		
7.	X			0,92		
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2	10,2
9. Außentür	A			1,00		
10. Brücken außen (Länge)	A			0,92		
11. Brücken Perimeter (L/P)	P			1,00		
12. Brücken Boden (Länge)	B			1,00		

Transmissionsleitwert außen H_{tr,0} W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{tr,e} W/K

Wärmedurchgangskoeffizient des Paternindusiergrids A_{gl} m² lichte Raumhöhe m³ = 62
 wirksames Lüftröhrum V_L m³ = 24,0 * 2,60 = 62
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h = 1,75
 nur mechan. Abluft = 0,00 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG = 0,33 1/h
 Zu-Abf. ohne WRG = 0,33 1/h
 energiegleich wirksamer Luftwechsel n_l = 1,750 + 0,000 + (1 - 0,000) = 0,000
 V_L m³ n_{l,eff} 1/h G_{tot} W/(m²K) = 36,0 W/K
 = 62 = 1,750 = 0,33
 = 62 = 0,000 = 0,33

Lüftungsleitwert außen H_{V,0} W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,e} W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel-faktor Sommer	Versch.-faktor Sommer	Rück-reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur m²/m²
 spezif. Leistung q_{Winter} m² + = W

Übertemperaturhäufigkeit h_{h>3max} bei der Übertemperaturgrenze Δ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Platten-Wärmeleitwert $H_{p,ext}$: **4,4** W/K

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,250	24,0	6,0
4. Bodenplatte	B	1,00		
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **14,6** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** W/K

Wärmeübertragungsgrad des Paternindusiergrids η_{WEG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **2,60** m
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **0,00** h^h Sommerlüftung Luftwechsel: λ_{h} : **1,13** h^h
 nur mechan. Abluft **0,00** h^h Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WEG} : **0,33** l/h
 Zu-Abf. ohne WRG **0,33** l/h^h Φ_{WEG} : **0,33** l/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel λ_{h} : **1,125** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **1,125** l/h
 V_L : **24,0** m³ Φ_{WEG} : **0,33** l/h^h Φ_{WEG} : **0,33** l/h^h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **6,2** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **6,2** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe					10,2		2,4

Solarapertur **2,4** m²

Innere Wärmequellen Q_i **24** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{max}}$ **18,1%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{max} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschritten, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Platten-Wärmeleitwert $H_{p,ext}$: **4,4** W/K

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,250	24,0	6,0
4. Bodenplatte	B	1,00		
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B	1,00		

Transmissionsleitwert außen $H_{T,e}$ **14,6** W/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** W/K

Wärmeübertragungsgrad des Paternindusiergrids η_{WEG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **2,60** m
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **0,00** h^h Sommerlüftung Luftwechsel: λ_{h} : **0,50** h^h
 nur mechan. Abluft **0,00** h^h Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WEG} : **0,33** l/h
 Zu-Abf. ohne WRG **0,33** l/h^h Φ_{WEG} : **0,33** l/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel λ_{h} : **0,500** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,500** l/h
 V_L : **24,0** m³ Φ_{WEG} : **0,33** l/h^h Φ_{WEG} : **0,33** l/h^h

Lüftungsleitwert außen $H_{V,e}$ **10,3** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich $H_{V,g}$ **6,2** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe					10,2		2,4

Solarapertur **2,4** m²

Innere Wärmequellen Q_i **24** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{max}}$ **32,0%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{max} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschritten, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innen Temperatur: °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: m²
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{BE}: m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL H_{pl,innen} Wärmelastwert
 Übergemperaturgrenze: **26** °C Reduktionsfaktor f_{Summer}

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m ²	U-Wert W/(m ² K)	Reduktionsfaktor f _{Summer}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92
2. Außenwand Erdreich	B	*	*	1,00
3. Dach/Decken Außenluft	D	*	*	0,62
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00
5.	A	*	*	0,92
6.	A	*	*	0,92
7.	X	*	*	0,92
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00
9. Außentür	A	*	*	1,00
10. Brücken außen (Länge/ A)	A	*	*	0,92
11. Brücken Perimeter (L/ P)	P	*	*	1,00
12. Brücken Boden (Länge/ B)	B	*	*	1,00

Transmissionsleitwert außen H_{T,o}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g}

W/K W/K

Wärmedurchgangskoeffizient des Pfannenfensters U_W W/(m²K) lichter Raumhöhe m
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen): 1/h Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG 1/h
 energiegleich wirksamer Luftwechsel n_l + + (1 -) = 1/h

Lüftungsleitwert außen H_{V,o} m² G_{Luft} W/(m²h)
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g} m² W_{Luft} W/(m²h)

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m ²	Verglasungsanteil	Aperur m ²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur m² Summe

Innere Wärmequellen Q_i

spezif. Leistung q_{Wärme} W/m² AEB m² W_{Wärme} W
 bei der **Übertemperaturgrenze Δt_{max} = 26 °C**
 Übertemperaturhäufigkeit h_{t, > Δt_{max}}
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{BE} : **20,7** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **21,6** m² Wärmelastwert H_{Plume} : **4,8** W/K

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmelastwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	21,6	4,8
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,250	20,7	5,2
4. Bodenplatte	B	1,00		
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge)	B	1,00		

Transmissionlleitwert außen $H_{T,o}$: **15,0** W/K
 Transmissionlleitwert Erdreich $H_{T,e}$: **5,2** W/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindusiergras η_{WEG} : **0,23** lichte Raumhöhe A_{Ra} : **2,60** m
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **1,75** Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-Abf. ohne WRG **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel η_L : **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,000** 1/h
 Lüftungsluftleistung außen $H_{V,o}$: **54** W η_{WEG} : **0,23**
 Lüftungsluftleistung Erdreich $H_{V,e}$: **54** W η_{WEG} : **0,23**

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur: **2,4** m²
 spezif. Leistung q_{AEB} : **2,10** W/m² AEB: **21** m² W: **44** W
 Innere Wärmequellen Q_i : **2,1** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{\text{max}}}$: **13,1%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{BE} : **17,3** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **24,4** m² Wärmelastwert H_{Plume} : **5,4** W/K

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmelastwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	24,4	5,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,250	17,3	4,3
4. Bodenplatte	B	1,00		
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge)	B	1,00		

Transmissionlleitwert außen $H_{T,o}$: **15,6** W/K
 Transmissionlleitwert Erdreich $H_{T,e}$: **4,3** W/K

Wärmeeintragsgrad der Paternindusiergras η_{WEG} : **0,23** lichte Raumhöhe A_{Ra} : **2,60** m
 ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen): **1,75** Sommerlüftung Luftwechsel: 1/h
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-Abf. ohne WRG **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel η_L : **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **0,000** 1/h
 Lüftungsluftleistung außen $H_{V,o}$: **45** W η_{WEG} : **0,23**
 Lüftungsluftleistung Erdreich $H_{V,e}$: **45** W η_{WEG} : **0,23**

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur: **2,4** m²
 spezif. Leistung q_{AEB} : **2,10** W/m² AEB: **17** m² W: **36** W
 Innere Wärmequellen Q_i : **2,1** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{t_{3,2} > \theta_{\text{max}}}$: **15,5%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien**
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**
 Standort: **Wien**
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL
 Obertemperaturgrenze: **26** °C

Innentemperatur: **20** °C
 Gebäudey/Nutzung: **30,1** m²
 Energiebezogene Fläche A_{geb}

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m²	U-Wert W/(m²K)	Reduktionsfaktor f _{summer}	Wärmeleitwert H _{tr,0}
1. Außenwand Außenluft	A	17,7	0,240	0,92	3,9
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62	
4. Bodenplatte	B	30,1	0,250	1,00	7,5
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A			1,00	
10. Brücken außen (Länge/ P)	A			0,92	
11. Brücken Perimeter (L/ P)	P			1,00	
12. Brücken Boden (Länge/ B)	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen H_{tr,0}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{tr,g}

14,3 W/K
 6,9 W/K

Wärmeübertragungsgrad des Paternmodulsystems

Wirkungswert Luftröhren V_L **823** m³
 lichte Raumhöhe **2,60** m
 Sommerkühlung Luftwechsel: **1/h** **1,75**

ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen):
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **1,750** 1/h

Lüftungsleitwert außen H_{V,0}
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g}

40,7 W/K
 0,0 W/K

Ausrichtung der Fläche Sommer

Ausrichtung	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	Verglasungsanteil	Apertur m²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur Summe **2,4** m²

Innere Wärmequellen Q_i

spezif. Leistung q_{Wärme} **2,10** W/m²
 AEB **30** m²
 W_{Wärme} **63** W

Übertemperaturhäufigkeit h_{3,2 > 3max} **7,7%**
 bei der Übertemperaturgrenze δ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien**
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum**
 Standort: **Wien**
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL
 Obertemperaturgrenze: **26** °C

Innentemperatur: **20** °C
 Gebäudey/Nutzung: **27,1** m²
 Energiebezogene Fläche A_{geb}

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m²	U-Wert W/(m²K)	Reduktionsfaktor f _{summer}	Wärmeleitwert H _{tr,0}
1. Außenwand Außenluft	A	18,6	0,240	0,92	4,1
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62	
4. Bodenplatte	B	27,1	0,250	1,00	6,8
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A			1,00	
10. Brücken außen (Länge/ P)	A			0,92	
11. Brücken Perimeter (L/ P)	P			1,00	
12. Brücken Boden (Länge/ B)	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen H_{tr,0}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{tr,g}

14,3 W/K
 6,9 W/K

Wärmeübertragungsgrad des Paternmodulsystems

Wirkungswert Luftröhren V_L **823** m³
 lichte Raumhöhe **2,60** m
 Sommerkühlung Luftwechsel: **1/h** **1,75**

ankreuzen: **X** keine Lüftung (Fenster+Fugen):
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG **0,33** 1/h
 Zu-/Abf. ohne WRG **0,33** 1/h

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L **1,750** + **0,000** * (1 - **0,000**) = **1,750** 1/h

Lüftungsleitwert außen H_{V,0}
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g}

40,7 W/K
 0,0 W/K

Ausrichtung der Fläche Sommer

Ausrichtung	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	Verglasungsanteil	Apertur m²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur Summe **2,4** m²

Innere Wärmequellen Q_i

spezif. Leistung q_{Wärme} **2,10** W/m²
 AEB **27** m²
 W_{Wärme} **57** W

Übertemperaturhäufigkeit h_{3,2 > 3max} **9,2%**
 bei der Übertemperaturgrenze δ_{max} = 26 °C
 Wenn die Häufigkeit über 25°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmehaltwert H_{Bauteil} : **4,4** Wh/(m²·K)

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmehaltwert H_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,62		
4. Bodenplatte	B	0,250	24,0	6,0
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge)	B	1,00		

Transmissionseiwert außen $H_{T,e}$: **14,6** Wh/K
 Transmissionseiwert Erdreich $H_{T,g}$: **6,0** Wh/K

Wärmeübertragungsgrad des Paternindusiergrids η_{WEG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **62** m³
 ankreuzen: **X** **keine Lüftung (Fenster+Fugen):** Sommerlüftung Luftwechsel: \dot{V}_L : **1,75** 1/h
nur mechan. Abluft \dot{V}_{mech} : **0,00** 1/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
Zu-/Abf. ohne WRG Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel \dot{V}_L : **1,750** + **0,000** + **0,000** + **0,000** = **1,750** 1/h

Lüftungseiwert außen $H_{V,e}$: **62** Wh/K
 Lüftungseiwert Erdreich $H_{V,g}$: **62** Wh/K

Ausrichtung der Fläche Sommer Versch.-faktor Sommer Rück-reflektion g-Wert (senkr. Einstr.) Fläche Verglasungsanteil Apertur

1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%
2. Süd	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%
3. West	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%

Solarapertur \sum : **2,4** m²

spezif. Leistung $q_{\text{Wärme}}$: **2,710** W/m² AEB: **24** m² W: **50** W/m² $\dot{V}_{\text{Wärme}}$: **2,1** m³/h

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > \theta_{\text{max}}}$: **11,8%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäudey/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezugsfläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergempe- raturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmehaltwert H_{Bauteil} : **4,4** Wh/(m²·K)

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert	Fläche	Wärmehaltwert H_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,00		
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,62		
4. Bodenplatte	B	0,250	24,0	6,0
5.	A	0,92		
6.	A	0,92		
7.	X	0,92		
8. Fenster	A	1,000	10,2	10,2
9. Außentür	A	1,00		
10. WBrücken außen (Länge)	A	0,92		
11. WBrücken Perimeter (L/P)	P	1,00		
12. WBrücken Boden (Länge)	B	1,00		

Transmissionseiwert außen $H_{T,e}$: **14,6** Wh/K
 Transmissionseiwert Erdreich $H_{T,g}$: **6,0** Wh/K

Wärmeübertragungsgrad des Paternindusiergrids η_{WEG} : **0,23** wirksames Lüftvolumen V_L : **24,0** m³ lichte Raumhöhe A_{Ra} : **62** m³
 ankreuzen: **X** **keine Lüftung (Fenster+Fugen):** Sommerlüftung Luftwechsel: \dot{V}_L : **1,75** 1/h
nur mechan. Abluft \dot{V}_{mech} : **0,00** 1/h
Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
Zu-/Abf. ohne WRG Φ_{WEG} : **0,33** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel \dot{V}_L : **1,750** + **0,000** + **0,000** + **0,000** = **1,750** 1/h

Lüftungseiwert außen $H_{V,e}$: **62** Wh/K
 Lüftungseiwert Erdreich $H_{V,g}$: **62** Wh/K

Ausrichtung der Fläche Sommer Versch.-faktor Sommer Rück-reflektion g-Wert (senkr. Einstr.) Fläche Verglasungsanteil Apertur

1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%
2. Süd	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%
3. West	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%

Solarapertur \sum : **2,4** m²

spezif. Leistung $q_{\text{Wärme}}$: **2,710** W/m² AEB: **24** m² W: **50** W/m² $\dot{V}_{\text{Wärme}}$: **2,1** m³/h

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > \theta_{\text{max}}}$: **11,7%** bei der Übertemperaturgrenze $\theta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C/10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Vermeidung von sommerlicher Überwärmung Entwurf eines vereinfachten Rechenmodells

Doubek Matthias
Anhang

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergangstemperaturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmehalt H_{Raum} : **4,4** Wh/K

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	Wärmehalt H_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B		1,00	1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D		0,62	0,62	
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0
5.	A		0,92	0,92	
6.	A		0,92	0,92	
7.	X		0,92	0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A		1,00	1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A		0,92	0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P		1,00	1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B		1,00	1,00	

Transmissionsleitwert außen $H_{T,a}$ **14,6** Wh/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** Wh/K

Wärmehaushaltsgleichung des Passivhausmodells
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen); nur mechan. Abluft; Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG; Zu-/Abf. ohne WRG
 effektivere Lüftung ϕ_{eff} : **1,750** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel ϕ_{eff} : **0,000** 1/h
 Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W
 Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W

Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W
 Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
2. Süd	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Solarapertur					10,2		2,4
Summe					10,2		2,4

spezif. Leistung q_{spez} : **2,710** W/m²
 AEB: **24** m²
 Innere Wärmequellen Q_{int} : **2,1** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > 26}$: **11,7%**
 bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: **Wien** Innentemperatur: **20** °C
 Objekt: **BBP - Norm-Box Raum** Gebäude/Nutzung: **Wien**
 Standort: **Wien** Energiebezogene Fläche A_{EG} : **24,0** m²
 spez. Kapazität: **175** Wh/K pro m³ WFL U-Wert: **0,240** W/(m²K) Reduktionsfaktor f_{Sommer} : **0,92**
 Übergangstemperaturgrenze: **26** °C Fläche: **19,8** m² Wärmehalt H_{Raum} : **4,4** Wh/K

Bauteile	Temperaturzone	Fläche	U-Wert	Reduktionsfaktor f_{Sommer}	Wärmehalt H_{Bauteil}
1. Außenwand Außenluft	A	19,8	0,240	0,92	4,4
2. Außenwand Erdreich	B		1,00	1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D		0,62	0,62	
4. Bodenplatte	B	24,0	0,250	1,00	6,0
5.	A		0,92	0,92	
6.	A		0,92	0,92	
7.	X		0,92	0,92	
8. Fenster	A	10,2	1,000	1,00	10,2
9. Außentür	A		1,00	1,00	
10. WBrücken außen (Länge/ A)	A		0,92	0,92	
11. WBrücken Perimeter (L/ P)	P		1,00	1,00	
12. WBrücken Boden (Länge/ B)	B		1,00	1,00	

Transmissionsleitwert außen $H_{T,a}$ **14,6** Wh/K
 Transmissionsleitwert Erdreich $H_{T,g}$ **6,0** Wh/K

Wärmehaushaltsgleichung des Passivhausmodells
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen); nur mechan. Abluft; Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG; Zu-/Abf. ohne WRG
 effektivere Lüftung ϕ_{eff} : **1,750** 1/h
 energetisch wirksamer Luftwechsel ϕ_{eff} : **0,000** 1/h
 Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W
 Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W

Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W
 Lüftungswärmehaushalt $\dot{Q}_{\text{Lüf}}$: **0,000** W

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche	Verglasungsanteil	Apertur
1. Ost	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
2. Süd	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Solarapertur					10,2		2,4
Summe					10,2		2,4

spezif. Leistung q_{spez} : **2,710** W/m²
 AEB: **24** m²
 Innere Wärmequellen Q_{int} : **2,1** W

Übertemperaturhäufigkeit $h_{T > 26}$: **11,8%**
 bei der Übertemperaturgrenze $\delta_{\text{max}} = 26$ °C
 Wenn die Häufigkeit über 26°C 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Passivhaus-Projektierung

SOMMERFALL

Klima: Wien
 Objekt: BPP - Norm-Box Raum
 Standort: Wien
 spez. Kapazität: 175 W/K pro m³ WFL
 Obertemperaturgrenze: 26 °C
 Innentemperatur: 20 °C
 Gebäude/Nutzung:
 Energiebezugsfläche A_{geb}: 24,0 m²
 Platten-Wärmeleitwert

Bauteile	Temperaturzone	U-Wert W/(m²K)	Fläche m²	Reduktionsfaktor f _{Sommer}	Platten-Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	0,240	19,8	0,932	4,4
2. Außenwand Erdreich	B	1,000		1,000	
3. Dach/Decken Außenluft	D	0,250	24,0	0,62	6,0
4. Bodenplatte	B	1,000		1,000	
5.	A	0,92		0,92	
6.	A	0,92		0,92	
7.	X	1,000	10,2	1,000	10,2
8. Fenster	A	1,000		1,000	
9. Außentür	A	0,92		0,92	
10. Brücken außen (Länge)	A	1,000		1,000	
11. Brücken Perimeter (L/P)	P	1,000		1,000	
12. Brücken Boden (Länge)	B	1,000		1,000	

Transmissionsleitwert außen H_{T,e}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g}
 14,6 W/K
 6,0 W/K

Wärmedehlfaktor des Pfannenmodersgras η_{WEG} 0,23
 wirksames Lüftvolumen V_L 24,0 m³
 lichte Raumhöhe 6,2 m
 ankreuzen: keine Lüftung (Fenster+Fugen):
 nur mechan. Abluft 0,00 1/h
 Sommerlüftung Lüftwechsel: 1/h 1,75
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG
 Zu-Abf. ohne WRG 0,33 1/h
 φ_{WEG} 0,000
 φ_{WEG} 0,333
 energetisch wirksamer Lüftwechsel η_L 1,750 + 0,000 + (1 - 0,000) = 0,000
 V_L 6,2 m³
 φ_{WEG} 1,750 + 0,333 = 0,333
 C_{Luft} 0,333
 φ_{WEG} 36,0 W/K
 φ_{WEG} 0,0 W/K

Lüftungsleitwert außen H_{V,e}
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g}
 6,2 m³
 0,333

Ausrichtung der Fläche	Winkel- faktor Sommer	Versch.- faktor Sommer	Rück- reflektion	g-Wert (senk. Einstr.)	Fläche m²	Verglasungsanteil	Apertur m²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
3. West	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
4. Nord	0,84	0,60	0,95	0,50	10,2	100%	2,4
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
Summe						Summe	2,4

Solarapertur
 spezif. Leistung q_W 2,10 m²
 spezif. Leistung q_{AEB} 24 m²
 W 50 W
 W 2,1 m²

Innere Wärmequellen Q_i
 bei der Übertemperaturgrenze Δt_{max} = 26 °C
 5,4%
 Wenn die Häufigkeit über 26°C 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

Anhang D (informativ) Beispiele zur Beurteilung der sommerlichen Überwärmung von Räumen

D.1 Einfamilienhaus in Leichtbauweise

Zunächst wird aus den Räumen des Einfamilienhauses der bezüglich sommerlicher Überwärmung kritische Raum ausgewählt und für diesen der Nachweis geführt.

Objekt: Haus in Leichtbauweise, Fenster und Fenstertür mit Innenjalousie

Untersuchter Raum Wohnraum
 Nutzfläche $27,01 \text{ m}^2$
 Fensterfläche und Orientierung $4,60 \text{ m}^2$ (S)
 Fensterfläche und Orientierung $1,30 \text{ m}^2$ (W)
 Volumen des Raumes $67,53 \text{ m}^3$

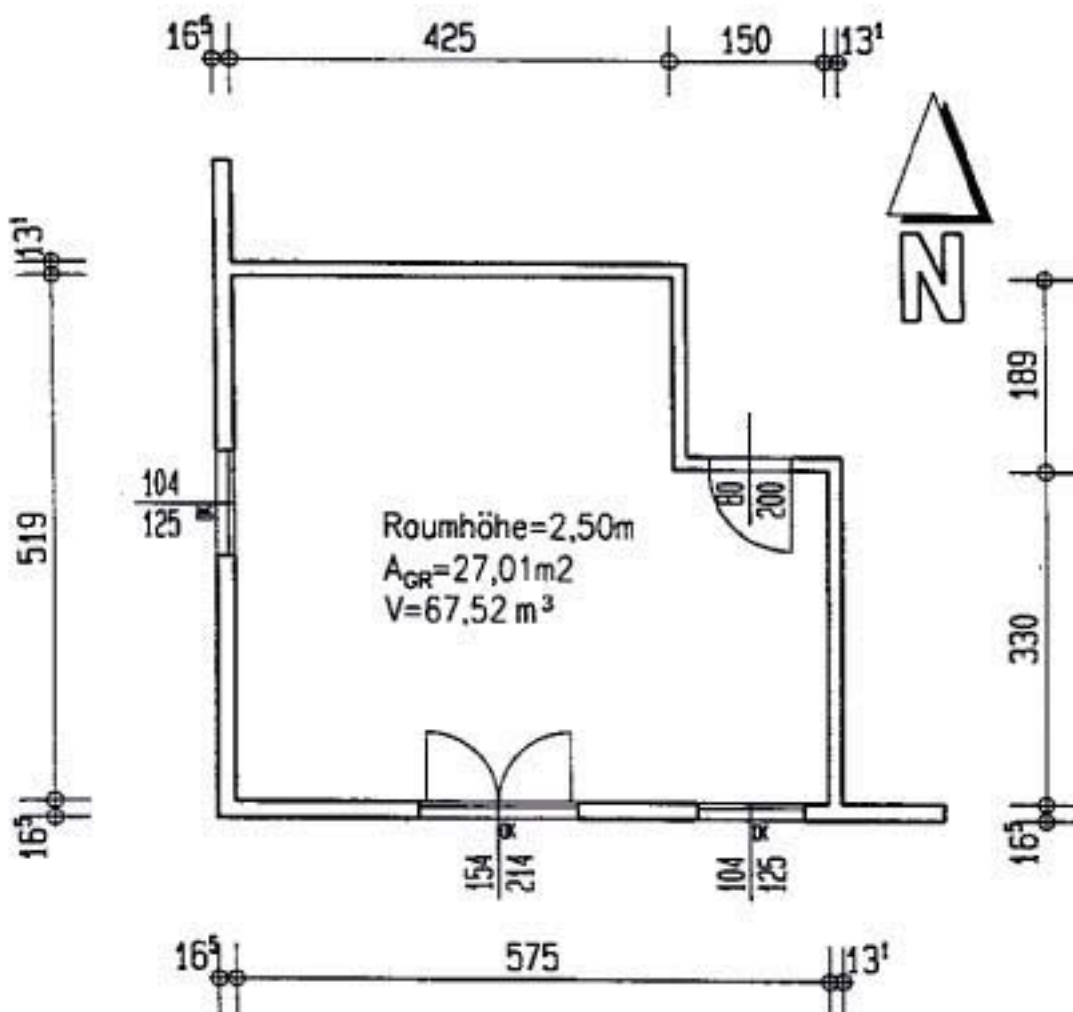


Bild D.1: Kritischer Raum des Einfamilienhauses

Tabelle D.1.1: Bauteile und speicherwirksame Masse

Nr.	Tabelle (Quelle)	Bauteilbezeichnung	Fläche in m ²	$m_{w,B,A}$ in kg/m ²	$m_{w,B}$ in kg
1	C.1.1	Fußboden	27,01	106,46	2875,48
2	C.1.2	Decke	27,01	37,03	1000,18
3	C.1.3	Außenwand	21,45	17,42	373,66
4	C.1.4	Innenwand	25,75	16,24	418,18
5	C.1.5	Zimmertüre	1,77	11,94	21,13
6	C.1.6	Fensterverglasung	4,13	12,03	49,68
7	C.1.7	Fensterrahmen	1,60	34,91	55,86
8	-	Einrichtung	27,01	38,00	1026,38
gesamte speicherwirksame Masse m_w (kg):					5820,56

Immissionsfläche:

südorientiert

$$\begin{aligned}
 A_{AL} &= 4,60 \text{ m}^2 \\
 f_G &= 0,70 \\
 g &= 0,67 \\
 z &= 0,75 \\
 Z_{CN} &= 1,00 \\
 \Delta n &= 0 \\
 P_1 &= 0 \text{ kW} \\
 A_1 &= 1,62 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

westorientiert

$$\begin{aligned}
 A_{AL} &= 1,30 \text{ m}^2 \\
 f_G &= 0,70 \\
 g &= 0,67 \\
 z &= 0,75 \\
 Z_{CN} &= 1,12 \\
 \Delta n &= 0 \\
 P_1 &= 0 \text{ kW} \\
 A_1 &= 0,51 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

gesamte Immissionsfläche

$$A_1 = 2,13 \text{ m}^2$$

Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse:

$$m_{w,i} = m_w / A_1 = 2732,40 \text{ kg/m}^2$$

Luftvolumenstrom:

$$\text{Luftwechselzahl } n_L = 3,00 \text{ h}^{-1}$$

$$V_{L,S} = 3,00 \cdot 67,52 / 2,13 = 95,09 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Tabelle D.1.2: Gegenüberstellung von mindesterforderlicher und vorhandener speicherwirksamer Masse des untersuchten Raumes

Tabelle 2 (Auszug)	immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,S}$ in m ³ /(h·m ²)			Ergebnis
	≥ 100	75	50	
				95,09
erforderliche immissionsbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,i}$ in kg/m ²	≥ 2000	≥ 4000	≥ 8000	≥ 2392,96
vorhandene immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,i}$ in kg/m ²				2732,40

Mit dem Nachweis der vorhandenen immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse $m_{w,i} = 2\,732 \text{ kg/m}^2$ wird die Anforderung der Tabelle 2 erfüllt.

Vorbemerkung

Die vorliegende Berichtigung ÖNORM B 8110-3/AC1:2001 wurde ohne formelles Verfahren herausgegeben, berichtigt das Grunddokument ÖNORM B 8110-3:1999 und ist mit diesem gemeinsam anzuwenden.

Berichtigung ÖNORM B 8110-3/AC1

Bei der Anwendung des Grunddokumentes ÖNORM B 8110-3:1999 sind die nachfolgend angeführten Berichtigungen (durch Unterstreichen gekennzeichnet) mit zu berücksichtigen:

Abschnitt 6:

In Tabelle 4 werden die Werte bei 45° berichtigt und in den übrigen Zeilen der Rundungsfehler, wie folgt, berichtigt:

Tabelle 4: Z_{ON} - Faktoren zur Berücksichtigung der Glasflächen-Orientierung und -Neigung

Neigung d. Flächen-normalen	Orientierung horizontaler Winkel der äußeren Flächennormalen zur Nordrichtung							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
0°	0,54	0,82	<u>1,13</u>	1,14	1,00	1,14	<u>1,13</u>	0,82
30°	0,85	1,15	1,54	<u>1,70</u>	<u>1,69</u>	<u>1,70</u>	1,54	1,15
45°	<u>1,26</u>	<u>1,40</u>	<u>1,73</u>	<u>1,90</u>	<u>1,93</u>	<u>1,90</u>	<u>1,73</u>	<u>1,40</u>
60°	1,61	1,68	<u>1,89</u>	2,04	<u>2,08</u>	2,04	<u>1,89</u>	1,68
90°	2,06							

Anhang D:

In D.2, nach Tabelle D.2.1 wird der Wert für P_1 auf 0,75 korrigiert.

In D.1, D.3 und D.4 werden die Werte für Z_{ON} , A_1 , m_w und $V_{L,S}$ aufgrund der Änderungen in Tabelle 4 berichtigt. Daraus ergeben sich folgende Korrekturen:

Tabelle D.1.1: Bauteile und speicherwirksame Masse

Nr.	Tabelle (Quelle)	Bauteilbezeichnung	Fläche in m ²	$m_{w,B,A}$ in kg/m ²	$m_{w,B}$ in kg
7	C.1.7	Fensterrahmen	<u>1,77</u>	34,91	<u>61,79</u>
gesamte speicherwirksame Masse m_w (kg):					<u>5814,63</u>

Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse: $m_{w,1} = m_w/A_1 = \underline{2729,87}$ kg/m²

Tabelle D.1.2: Gegenüberstellung von mindesterforderlicher und vorhandener speicherwirksamer Masse des untersuchten Raumes

Tabelle 2 (Auszug)	immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,S}$ in m ³ /(h·m ²)	Ergebnis
vorhandene immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,1}$ in kg/m ²		<u>2729,87</u>

Mit dem Nachweis der vorhandenen immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse $m_{w,1} = \underline{2730}$ kg/m² wird die Anforderung der Tabelle 2 erfüllt.

SOMMERFALL

Klima: **Wien**
 Objekt: **Einfamilienhaus in Leichtbauweise**
 Standort: **Wien**

Innentemperatur: **20** °C
 Gebäudetyp/Nutzung:
 Energiebezugsfläche A_{EB}: **27,0** m²

spez. Kapazität: **55** Wh/K pro m² WFL
 Übertemperaturgrenze: **26** °C

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m²	U-Wert W/(m²K)	Reduktionsfaktor f _{T,Sommer}	H _{Sommer} Wärmeleitwert
1. Außenwand Außenluft	A	47,0	0,240	0,92	10,4
2. Außenwand Erdreich	B			1,00	
3. Dach/Decken Außenluft	D			0,62	
4. Bodenplatte	B	27,0	0,240	1,00	6,5
5.	A			0,92	
6.	A			0,92	
7.	X			0,92	
8. Fenster	A	5,9	1,000	1,00	5,9
9. Außentür	A	1,8	3,500	1,00	6,2
10. Wbrücken außen (Länge/	A			0,92	
11. Wbrücken Perimeter (Lä	P			1,00	
12. Wbrücken Boden (Länge/	B			1,00	

Transmissionsleitwert außen H_{T,e}
 Transmissionsleitwert Erdreich H_{T,g}

22,5 W/K
6,5 W/K

Wärmebereitstellungsgrad des Plattenwärmeübertragers η_{WRG} **83%**
 wirksames Luftvolumen V_L **27,0** m³ * lichte Raumhöhe **2,60** m = **70** m³

ankreuzen: freie Lüftung (Fenster+Fugen): Sommerlüftung Luftwechsel: **1/h 3,00**
 nur mechan. Abluft **0,00** 1/h
 Zu- und Abluft wie Winterbetrieb mit WRG
 Zu-/Abl. ohne WRG **0,33** η_{EWTR}

energetisch wirksamer Luftwechsel n_L **3,000** + **0,000** * (1 - **0,000**) + **0,000**

Lüftungsleitwert außen H_{V,e} **70** * **3,000** * **0,33** = **69,5** W/K
 Lüftungsleitwert Erdreich H_{V,g} **70** * **0,000** * **0,33** = **0,0** W/K

Ausrichtung der Fläche	Winkel-faktor Sommer	Versch.-faktor Sommer	Rück-reflektion	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	Verglasungsanteil	Apertur m²
1. Ost	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
2. Süd	0,84	0,90	0,95	0,67	4,6	71%	1,6
3. West	0,84	1,00	0,95	0,67	1,3	62%	0,4
4. Nord	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0
5. Horizontal	0,84	1,00	0,95	0,00	0,0	0%	0,0

Solarapertur Summe **2,0** m²/m² **0,07**

Innere Wärmequellen Q_i spez. Leistung q_i **2,10** W/m² * AEB **27** m² = **57** W **2,1** W/m²

Übertemperaturhäufigkeit h_{q ≥ θ_{max}} **0,0%** bei der Übertemperaturgrenze θ_{max} = 26 °C
 Wenn die "Häufigkeit über 25°C" 10% überschreitet, sind zusätzliche Maßnahmen zum Schutz vor Sommerhitze erforderlich.

FAUSTFORMEL DER SOMMERLICHEN ÜBERWÄRMUNG

Objekt:	Name:	Einfamilienhaus in Leichtbauweise
	Anschrift:	
Bauherr:	Name:	
	Anschrift:	
Planer:	Name:	ZM Ing. Matthias Doubek
	Anschrift:	
Bauteil:	Nr. D.1	Kritischer Raum des Einfamilienhauses (Kontrolle der Ergebnisse der Seminararbeit an einem anderen Simulationsmodell)
Grundlagenermittlung:	<p>Hüllfläche (ohne Fensterabzug) $= 2,50 \times (0,165+5,75+0,131/2+0,165+3,3+0,131/2+1,50+1,89+0,131/2+4,25+0,165+0,131/2+5,19+0,165) + 2 \times 27,01 =$ 111,03 m²</p> <p>Volumen $= 27,01 \times 2,5 =$ 67,53 m³</p> <p>mittl. Masse = Gesamtmasse / Hüllfläche $= 5820 / 111,03 =$ 52,42 kg /m²</p> <p>Glasfläche = Fensterfläche x Abminderungsfaktor für Rahmenanteil Süden = $(1,54 \times 2,14 + 1,04 \times 1,25) \times 0,70 =$ 3,22 m² Westen = $(1,04 \times 1,25) \times 0,70 =$ 0,91 m² Gesamt = 4,13 m²</p> <p>Mittelwert der Himmelsrichtung (Faktor Süd = 1,00, Faktor West = 1,06) $= (3,22 \times 1,00 + 0,91 \times 1,06) / 4,13 =$ 1,01(dim.los)</p>	

Luftwechsel (n_L)	3,00	1/h
Raumfläche	27,01	m ²
Hüllfläche	111,03	m ²
Volumen (V)	67,53	m ³
ergibt charakteristische Länge (l_C)	0,6082	m
Fläche Glas (f_{FEN})	4,13	m ²
ergibt Faktor Glasanteil	0,0611	1/m
Verschattung (z)	0,75	dim.los
g-Wert (g)	0,67	dim.los
mittlere speicherwirksame Masse der Umfassungsbauteile des Raums (m)	52,42	kg/m ²
U-Wert Glas (U_G)	1,00	W/m ² K
U-Wert AW (U_{AW})	0,24	W/m ² K
Faktor f. HR (f_H)	1,01	dim.los

$$d \geq 26^\circ\text{C} \approx \left[\begin{array}{l} -1,4486 - 0,2236 \cdot \ln(n_L) + 1,4403 \cdot (l_C) + 1,8333 \cdot (f_{FEN}) + 0,5076 \cdot (z) + \\ + 0,6111 \cdot (g) - 0,00818182 \cdot (m) - 0,0611 \cdot (U_G) - 0,1076 \cdot (U_{AW}) \end{array} \right] \cdot f_H \cdot V$$

**prognostizierte
Überwärmungstendenz
-0,7%**

Berechnung mit „vereinfachter Faustformel“

Gemäß den vorstehenden Angaben (siehe „Faustformel der sommerlichen Überwärmung“) ergibt sich beim Einsetzen in die „vereinfachte Faustformel“ folgendes Bild:

$$\begin{aligned} d(\text{grob}) &\geq 26^\circ\text{C} \approx [-1,55 - 0,22 \cdot \ln(n_L) + 1,44 \cdot (l_C) + 1,83 \cdot (f_{\text{FEN}}) + 0,51 \cdot (z) + 0,61 \cdot (g)] \cdot f_H \cdot V = \\ &= [-1,55 - 0,22 \cdot \ln(3,00) + 1,44 \cdot (0,61) + 1,83 \cdot (0,06) + 0,51 \cdot (0,75) + 0,61 \cdot (0,67)] \cdot 1,00 \cdot 67,53 = \\ &= \underline{-0,8\%} \end{aligned}$$

Kommentar zu den Ergebnissen der Kontrollrechnungen

Betrachtet man die Berechnung nach ÖNORM B 8110-3 Anhang D so wird bei dem angegebenen Rechenbeispiel die notwendige speicherwirksame Masse nur knapp von der Vorhandenen unterschritten. Der Nachweis ist somit erfüllt, jedoch wäre das Ergebnis in der Praxis grenzwertig zu betrachten.

Bei der Berechnung mit PHPP ergibt sich eine Überwärmungstendenz von 0,0%, es tritt also bei der bilanzierenden Simulation keine Überwärmung auf. Allerdings sei hier erwähnt, dass diese Software keine negativen Werte im Ergebnis auswirft und somit die Reserven zur Übertemperaturgrenze nicht genau definiert werden können. Durch variable Eingabe verschiedener Parameter konnte eruiert werden, dass die genannte Grenze ebenfalls nur knapp unterschritten werden konnte.

Die knappen Reserven bei der Überwärmungsgrenze spiegeln sich auch bei Berechnung mit dem in dieser Arbeit entwickeltem Verfahren bzw. auch nach der „vereinfachten Faustformel“ wieder. Die Ergebnisse betragen hier -0,7% bzw. -0,8%.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die entwickelten Berechnungsverfahren für erste Abschätzungen in der Planung ausreichende Genauigkeiten besitzen und in gewissem Rahmen auch mit der Berechnung nach ÖNORM B 8110-3 konform laufen. Lediglich bei Extremwerteingaben bzw. ungünstigen Konstellationen können sich gegenüber Gebäudesimulationen größere Ungenauigkeiten ergeben. Wird das entwickelte Toll aber im Sinne seiner Bestimmung, also im Entwurfsstadium, eingesetzt können schnelle Abschätzungen mit ausreichender Genauigkeit für den Sommerfall von Gebäuden getroffen werden.