



# Diplomarbeit

Master's Thesis

## Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren zur Ermittlung der sommerlichen Überwärmung von Wohnbauten unter Berücksichtigung von Lüftungsanlagen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar  
und  
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic

durchgeführt am

E 206  
Institut für Hochbau und Technologie  
Zentrum für Bauphysik und Bauakustik

Eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Christoph Harreither  
Matr.Nr.: 0326044  
Am Salcher 5  
3264 Gresten

Wien, Juni 2009

## Danksagung

Danken möchte ich ...

... Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Bednar für die Betreuung dieser Diplomarbeit.

... den Assistenten des Forschungsbereichs für Bauphysik und Schallschutz (Institut für Hochbau und Technologie).

... meinen Eltern.

... meinen Paten und meinen Großeltern.

... meiner Frau Barbara.

... allen meinen Freunden.

## Kurzfassung

### Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren zur Ermittlung der sommerlichen Überwärmung von Wohnbauten unter Berücksichtigung von Lüftungsanlagen

Die derzeit gültige ÖNORM B 8110-3: „Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse“ [ON099] beinhaltet zwei Nachweisverfahren zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung von Räumen: den Nachweis über den Tagesverlauf der Raumtemperatur mit einem geeigneten Rechenprogramm und den Nachweis über die mindestens erforderliche speicherwirksame Masse (= vereinfachter Nachweis). In dieser Norm gilt sommerliche Überwärmung als vermieden, wenn die empfundene Raumtemperatur während einer Hitzeperiode die Grenztemperatur von +27°C am Tage und +25°C in der Nacht nicht überschreitet.

Diese beiden Nachweise und Jahressimulationen mit BuildOpt\_VIE wurden in der Arbeit verglichen. In den Simulationen mit BuildOpt\_VIE wurden Klimadaten, Bauweisen, Fenstergrößen, Orientierungen der Fensterfassaden, Verschattungen, innere Wärmequellen und Lüftungsszenarien variiert.

Die erhaltenen Daten wurden nach globaler Behaglichkeit mit PMV-Index (Predicted Mean Vote) und PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied) sowie mit der Kategorisierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] bewertet.

## Abstract

### **A Comparison of calculation methods to determine the degree of summer overheating in residential buildings taking ventilation systems into account**

The current Austrian Standard ÖNORM B 8110-3: "Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse" [ON099] (Heat protection in buildings. Thermal energy storage and solar influence) includes two verification methods for avoiding interior overheating in summer: the verification of the daily change in room temperature by means of a suitable calculation programme and the verification of the minimum required thermal storage mass (a simplified verification method). Following the aforementioned standard, avoidance of summer internal overheating is met if the perceived room temperature during a heat wave does not exceed the daily boundary temperature of +27°C and the nightly boundary temperature of +25°C.

In this thesis, the verification methods and annual simulations have been compared using BuildOpt\_VIE. In the simulations using BuildOpt\_VIE, different scenarios have been created by varying climate data, construction assemblies, window size, window orientation, shading, internal heat sources, and ventilation.

The outcomes have been evaluated according to global comfort standards using the PMV-Index (Predicted Mean Vote) and PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied) as well as the ÖNORM EN 15251 [ON007b].

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Begriffsbestimmungen .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>Berechnungsgrundlagen .....</b>	<b>8</b>
3.1.	Physikalische Grundlagen .....	8
3.2.	Behaglichkeit.....	11
3.3.	Mittlere Strahlungstemperatur .....	14
3.4.	Wärmebilanz.....	16
3.5.	Lüftung.....	18
3.6.	Sommerliche Überwärmung nach ÖNORM .....	20
3.7.	Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 .....	24
3.8.	BuildOpt_VIE.....	26
<b>4.</b>	<b>Untersuchungsaufbau .....</b>	<b>28</b>
4.1.	Modell.....	28
4.2.	Berechnungsvarianten.....	29
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>47</b>
5.1.	Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse.....	47
5.2.	Maximale Temperaturen bezogen auf z.....	53
5.3.	Jahressimulation, vereinfachtes Verfahren .....	61
5.4.	Vergleich Fensterlüftung mit Anlagenlüftung .....	68
5.5.	Vergleich Fensterlüftung mit Anlagenlüftung, z=0.17 .....	80
5.6.	Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ .....	86
5.7.	Globale Behaglichkeit.....	92
5.8.	Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 .....	97
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>101</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>112</b>

## 1. Einleitung

Ein Ziel des Bauens ist es, den zukünftigen Bewohnern von Wohnungen ein Gefühl der Behaglichkeit zu geben. Der Duden [DUD07] definiert „Behaglichkeit“ als eine Atmosphäre, die ein gemütliches und wohliges Gefühl der Zufriedenheit schafft.

Um Behaglichkeit zu schaffen, sind neben bauphysikalischen Parametern wie Akustik, Optik, Luftfeuchte oder thermischen Verhältnissen auch andere Größen, wie zum Beispiel Gesundheit, Sicherheit, Lage und Ausstattung der Wohnung von Bedeutung.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der thermischen Behaglichkeit in sommerlicher Umgebung. Die Ermittlung der Behaglichkeit kann durch Messung laut ÖNORM EN ISO 7726 [ON001] oder für bestimmte Situationen über eine Berechnung nach ÖNORM EN ISO 7730 [ON006] erfolgen.

Ein weiteres Ziel des Bauens sollte die energiesparende Errichtung und der energiesparende Betrieb der Gebäude sein. Da diese Arbeit sich vor allem mit dem Sommerverhalten von Wohnbauten beschäftigt, ist es im Folgenden das Ziel, geringe sommerliche Raumtemperaturen mit möglichst niedrigem Kühlenergiebedarf zu erreichen.

## **2. Begriffsbestimmungen**

### **2.1. Wohnung**

Eine Wohnung ist ein, meist aus mehreren Räumen bestehender, nach außen abgeschlossener Bereich in einem Wohnhaus, der einem Einzelnen oder mehreren Personen als ständiger Aufenthalt dient [DUD07].

Eine Wohnung ist ein Gebäude, oder Teil eines Gebäudes in dem normalerweise Personen leben [ON004].

### **2.2. Speichermasse**

Die speicherwirksame Masse ist jene Masse, die zur anschaulichen Kennzeichnung der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen oder Räumen für eine Periode von 24 Stunden herangezogen wird [ON099].

Speicherwirksame Masse kann die Amplitude der Temperaturschwankungen reduzieren. Die Schichttiefe, in der noch Temperaturschwankungen auftreten wird periodische Eindringtiefe genannt. Sie ist von der Periodendauer (Tag, Woche, Jahr, ...) abhängig. In der ÖNORM B 8110-3 [ON099] wird nur jene Masse als speicherwirksam bezeichnet, die gerade noch tägliche Temperaturschwankungen erfährt.

### **2.3. Beleuchtung**

Eine Wohnung beleuchten bedeutet mit Licht versehen [DUD07].

Die österreichischen Bauordnungen schreiben vor, dass Wohnungen natürlich zu belichten sind. Um ständiges Wohnen gewährleisten zu können, werden Räume auch mit künstlichem Licht versorgt. In jedem Fall führt Beleuchtung zu Wärmeeintrag. Natürliches Licht führt zu solarem Wärmeeintrag. Künstliche Beleuchtung wird den inneren Wärmequellen zugeordnet.

Unter energieeffizienter Beleuchtung werden Lampen verstanden, die einen möglichst großen Teil der zugeführten Energie in sichtbares Licht umsetzen können, und nur eine geringe Wärmeproduktion aufweisen.

## 2.4. Qualitätsstandard

Gebäude werden üblicherweise in verschiedenen Güten errichtet. Die gesetzlich geringstmögliche Qualität eines Neubaus ist in den Bauordnungen definiert. In der Vergangenheit wurden Gebäude oft so errichtet, dass diese den damals gültigen Bauordnungen entsprachen. Diese Qualitätsstandards genügen meist geringeren Anforderungen als heutige Neubauten. Gebäude mit höheren Ansprüchen als den derzeit gültigen Bauvorschriften (Niedrigenergiehäuser, Passivhäuser, ...) werden oft errichtet um Energie zu sparen, Betriebskosten zu senken oder Wohnbauförderung zu bekommen.

In dieser Arbeit wird vor allem auf die thermische Qualität der Hülle, auf die Fenster und deren Anschlüsse und auf die Winddichtheit des gesamten Gebäudes eingegangen. Weitere Kriterien für Qualitätsstandards sind die Art der Wärmebereitstellung, die Wärmeverteilung, die Dämmung der Verteilleitungen, usw.

Kriterien für Passivhausstandard sind unter anderem ein Heizwärmebedarf von weniger als  $12.75\text{kWh/m}^2\text{a}$  bezogen auf die Bruttogrundfläche und eine Luftdichtheit der Hülle  $n_{50}$  von kleiner als  $0.6/\text{h}$ .

Der 1990er-Standard ist genau in jener Qualität errichtet, zu dem die Baugesetze in den 1990er Jahren verpflichteten. Im Vergleich zum Passivhausstandard weist der 1990er-Standard geringere Dämmstärken der Außenbauteile, einen höheren Infiltrationsluftwechsel und andere Fenster auf.

Einem anderen typischen Gebäude-Qualitäts-Standard entspricht zum Beispiel das Niedrigenergiehaus.



## 2.5. Lüftungsanlage

Ein kombiniertes maschinelles Be- und Entlüftungssystem ist laut ÖNORM EN 13465 [ON004] ein Lüftungssystem, bei dem die Luftzufuhr in das Gebäude mit Hilfe eines Ventilators, von Luftleitungen und Zuluftdurchlässen erfolgt und Luft durch einen weiteren Ventilator, durch Luftleitungen, Abluftdurchlässe, Schachtaufsätze oder Dach-/Wand-Austrittsöffnungen aus dem Gebäude abgezogen wird.

Ein freies Lüftungssystem dagegen ist nach ÖNORM EN 13465 [ON004] ein Lüftungssystem, bei dem die Luft von natürlichen Kräften durch Undichtheiten (Infiltration) und Öffnungen (Belüftung) in das Gebäude befördert wird und durch Undichtheiten, Öffnungen, Schachtaufsätze oder Dachaustrittsöffnungen, einschließlich senkrechter Fortluftleitungen, aus dem Gebäude entweicht.

Lüftungsanlagen sind maschinelle Be- und Entlüftungssysteme, die den aus hygienischen Gründen notwendigen Luftwechsel gewährleisten und die Lüftungswärmeverluste im Vergleich zum freien Lüften verringern können.

Hygienisch erforderlich ist ein Luftwechsel, der zum Abbau von Schadstoffen (CO<sub>2</sub>, Feuchtigkeit, ...) aus Innenräumen führt.

Lüftungsanlagen dienen auch einer höheren Automatisierung, weil manuelles Fensteröffnen nur mehr dem Zweck des Kühlens dient, aus hygienischen Gründen aber nicht mehr notwendig ist.

Bestandteile von Lüftungsanlagen können Filter, Vorheizregister, Wärmerückgewinnung, Heizregister, Soleregister, Kühlregister etc. sein.

Das Vorheizregister wird zuerst angeordnet und dient dem Frostschutz der nachfolgenden Anlagenteile.

Die Wärmerückgewinnung entzieht der Abluft aus den Räumen einen Teil der Wärme und führt sie über einen Wärmetauscher der einströmenden Zuluft zu. Bei hohen Außenlufttemperaturen und kühlerer Rauminnenluft kann das Gerät mit dem umgekehrten Prinzip arbeiten.

Das Heizregister erwärmt die einströmende Luft. Gebäude mit einem ausreichend geringem Heizwärmebedarf können auf diese Weise beheizt werden, ohne dass ein weiteres konventionelles Heizsystem notwendig ist.

Ein Kühlregister funktioniert genau umgekehrt wie ein Heizregister. Es kühlt unter Zufuhr elektrischer Leistung die Zuluft vor dem Einströmen in den Wohnraum ab.

Lüftungsanlagen können zentral in einer Wohnhausanlage, dezentral in den einzelnen Wohnungen oder semizentral angeordnet werden. Bei einem typischen semizentralen Einbau wird der Wärmetauscher zentral für alle Nutzer, die Heiz- oder Kühlregister aber in den einzelnen Wohnungen montiert.

## 2.6. Fenster

Fenster können öffnenbar oder nicht-öffnenbar sein. Jedes Fenster hat einen Rahmen, der kraftschlüssig mit dem Gebäude verbunden ist. Ist das Fenster öffnenbar, so vergrößert sich der Rahmenflächenanteil im Vergleich zum nicht-öffnenbaren Fenster. Nach ÖNORM B 8110-6 [ON007] gilt folgendes.

$$f_G = \frac{A_G}{A_{AL}}$$

$f_G$       Glasflächenanteil

$A_G$       Fläche der transparenten Teile des Fensters (Glasfläche)

$A_{AL}$       Fensterfläche, gegeben durch die Architekturlichte

Zusätzlich weist ein öffnenbares Fenster mehr Fugen auf. Das kann sich negativ auf die Winddichtheit des Gebäudes auswirken.

$$g = \tau_e + q_i$$

g	Gesamtenergiedurchlassgrad nach EN 410 [EN98]
$\tau_e$	direkter Strahlungstransmissionsgrad
$q_i$	sekundäre Wärmeabgabegrad der Verglasung nach innen

$$g_w = 0.90 * 0.98 * g$$

$g_w$	effektiv wirksamer Gesamtenergie-Durchlassgrad der Verglasung
0.90	Reduktion aufgrund nicht senkrechtem Strahlungseinfall
0.98	Reduktion aufgrund der Verschmutzung der Scheibe

## 2.7. Sonnenschutz

Regelbare Sonnenschutzeinrichtungen können Überhitzung reduzieren und Blendung vermeiden. Generell werden vier Arten der Regelung unterschieden (manuell, motorbetrieben, automatisch und kombinierte Regelung der Beleuchtung/der Blenden/der HLK-Anlagen).

Regelbare Sonnenschutzeinrichtungen können außen (Außenjalousien, Fensterläden, Rollläden, Markisen, ...), innen (Vorhänge, Innenjalousie, ...) oder zwischen mehreren Glasscheiben (Zwischenjalousie, ...) angeordnet werden.

Zu den nicht-regelbaren Sonnenschutzeinrichtungen werden Vordächer, Balkone, Fensterleibungen, Fensterstürze, Nachbargebäude, Bäume, etc. gezählt.

In der österreichischen Normung wird ein Abminderungsfaktor  $z$  für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen verwendet. Ist keine Abschattungsvorrichtung vorhanden, wird  $z=1$  gesetzt. Ist  $z=0$ , gelangt keine solare Strahlung durch die transparenten Bauteile in das Gebäude. Die ÖNORM B 8110-6 [ON007] legt in der Tabelle 23 folgende Werte für  $z$  fest.

Abminderungsfaktor z für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen (in Abhängigkeit des g-Wertes der Verglasung)			
	Abminderungsfaktor z		
g-Wert der Verglasung	0.70	0.50	0.25
Außenjalousie	0.15	0.15	0.24
Markise (außen)	0.25	0.25	0.36
Innenjalousie	0.70	0.78	0.88
Textilrollo	0.73	0.80	0.88
hoch reflektierender Innenscreen	0.48	0.62	0.80
keine Verschattung	1.00	1.00	1.00

Tab. 1: Abminderungsfaktoren z für Sonnenschutzeinrichtungen

### 3. Berechnungsgrundlagen

#### 3.1. Physikalische Grundlagen

Q bezeichnet Wärme oder Energie und hat die Einheit Joule.

$$1J = 1Nm = 1 \frac{kgm^2}{s^2} = 1Ws$$

Der Wärmestrom  $\Phi$  in Watt ist die übertragene Wärmemenge pro Zeit.

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Die Wärmestromdichte  $q$  in  $W/m^2$  ist der pro Flächeneinheit transportierte Wärmestrom.

$$q = \frac{\Delta \Phi}{\Delta A}$$

Der Wärmefluss oder Wärmestrom zwischen zwei Medien kann durch Strahlung, Konvektion oder Leitung erfolgen. Die emittierte Wärmestromdichte infolge Wärmestrahlung errechnet sich wie folgt.

$$q = \varepsilon * \sigma * T^4$$

$\varepsilon$  Emissionsgrad

$\sigma$  Stefan-Boltzmann-Konstante ist  $5.67 * 10^{-8} W/m^2 K^4$

T Temperatur in K

Auftreffende elektromagnetische Strahlung wird von einem Festkörper absorbiert, transmittiert und reflektiert.

$$q_{ein} = q_{abs} + q_{trans} + q_{refl}$$

$$\alpha = \frac{q_{abs}}{q_{ein}} = \frac{\text{absorbierte Leistungsdichte in } W/m^2}{\text{einfallende Leistungsdichte in } W/m^2}$$

$\alpha$  effektiver Absorptionsgrad

$$\tau = \frac{q_{trans}}{q_{ein}} = \frac{\text{durchgelassene Leistungsdichte in } W/m^2}{\text{einfallende Leistungsdichte in } W/m^2}$$

$\tau$  effektiver Transmissionsgrad

Die periodische Eindringtiefe  $\delta$  ist jene Tiefe, in der gerade noch Temperaturschwankungen auftreten [ON008].

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda * T}{\pi * \rho * c}}$$

$\delta$  periodische Eindringtiefe einer Wärmewelle in einen Stoff in m

$\lambda$  Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit in W/mK

$T$  Periodendauer der Schwankungen in s

$\rho$  Rohdichte in kg/m<sup>3</sup>

$c$  spezifische Wärmekapazität in J/kgK

Die Wärmemenge, die notwendig ist, um die Temperatur eines Systems um 1 Kelvin zu erhöhen, bezeichnet man als Wärmekapazität  $C$  in J/K. Bezieht man diese Wärmekapazität auf die Masseneinheit eines Materials, so erhält man die spezifische Wärmekapazität  $c$  dieses Materials in J/kgK.

$$Q = c * m * \Delta T$$

$Q$  Wärmemenge in J

$c$  spezifische Wärmekapazität in J/kgK

$m$  Masse in kg

$\Delta T$  Temperaturänderung in K

Die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität kann vereinfacht wie folgt ermittelt werden [ON008].

$$\chi_m = \sum \rho_i * d_i * c_i$$

- $\chi$  flächenbezogene wirksame Wärmekapazität in J/m<sup>2</sup>K
- $\rho$  Rohdichte in kg/m<sup>3</sup>
- $d$  Dicke einer Schicht in m
- $c$  spezifische Wärmekapazität in J/kgK

Zusätzlich zum Bauteil ist in Abhängigkeit vom Berechnungszweck der Wärmeübergangswiderstand zu berücksichtigen.

### 3.2. Behaglichkeit

Die globale thermische Behaglichkeit wird nach ÖNORM EN ISO 7730 [ON006] mittels PMV (predicted mean vote) und PPD (predicted percentage of dissatisfied) ausgedrückt. Der PMV-Wert gibt an, wie eine große Personenmenge das Raumklima im Durchschnitt beurteilen würde. Die Klimabeurteilungsskala reicht dabei von +3 (heiß) über 0 (neutral) bis -3 (kalt). Um ausgehend vom PMV zu ermitteln wieviele Personen mit dem vorhergesagten Innenklima unzufrieden wären, errechnet man in einer zweiten Gleichung den PPD-Wert. Der PPD liegt im besten Fall bei 5%. In diesem Fall würden 95% der Befragten für PMV einen Wert zwischen +1 (etwas warm) und -1 (etwas kalt) angeben.

Zusätzlich zum Unbehaglichkeitsgefühl des ganzen Körpers, das mit PMV und PPD ausgedrückt wird, kann die thermische Behaglichkeit laut ÖNORM EN ISO 7730 [ON006] auch infolge des Abkühlens oder des Erwärmens einzelner Körperteile verfehlt werden. Dieses lokale thermische Unbehagen wird meistens durch Zugluft oder asymmetrische Strahlungstemperatur hervorgerufen.

#### 3.2.1. Globale thermische Behaglichkeit

Die Behaglichkeitsgleichung besteht aus einem empirischen Faktor multipliziert mit der Wärmeproduktion abzüglich aller Verluste, wie Wasserdampfdiffusion durch die Haut, Verdunstung von Schweiß auf der Hautoberfläche, latenter Wärmeverlust durch Atmung, fühlbarer Wärmeverlust durch Atmung, Strahlungswärmeverlust sowie Wärmeverlust durch Konvektion.

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0.303 * e^{(-0.036 * M)} + 0.028] * \\
 & * [(M - W) \\
 & - (3.05 * 10^{-3} * [5733 - 6.99 * (M - W) - p_a]) \\
 & - (0.42 * [(M - W) - 58.15]) \\
 & - (1.7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a))]
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & -(0.0014 * M * (34 - t_a)) \\
 & -(3.96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4]) \\
 & -(f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a))
 \end{aligned}$$

Die mittlere Oberflächentemperatur der Kleidung  $t_{cl}$ , der konvektive Wärmeübergangskoeffizient  $h_c$  sowie der Vergrößerungsfaktor der Körperoberfläche  $f_{cl}$  sind vor der Berechnung von PMV in einem Iterationsprozess mit den beiden Eingangsparametern  $I_{cl}$  und  $v_{ar}$  zu ermitteln.

M	Energieumsatz in $W/m^2$
W	wirksame mechanische Leistung in $W/m^2$
$I_{cl}$	Bekleidungsisolationswert in $m^2K/W$
$t_a$	Lufttemperatur in $^{\circ}C$
$t_r$	mittlere Strahlungstemperatur in $^{\circ}C$
$v_{ar}$	relative Luftgeschwindigkeit in $m/s$
$p_a$	Wasserdampfpartialdruck in Pa

Die Ermittlung des PPD-Index erfolgt nach folgender Gleichung.

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0.03353 * PMV^4 - 0.2179 * PMV^2)}$$

### 3.2.2. Lokale thermische Behaglichkeit

Die folgenden vier Kriterien können die lokale thermische Behaglichkeit beeinflussen.

#### Zugluft

Der Prozentsatz an Personen, die aufgrund von Zugluft unzufrieden wären, kann mit folgender Gleichung vorausgesagt werden.

$$DR = (34 - t_{a,l}) * (\bar{v}_{a,l} - 0.05)^{0.62} * (0.37 * \bar{v}_{a,l} * T_u + 3.14)$$

DR (= draught rating) Anteil der Personen, die aufgrund von Zugluft unzufrieden sind in %

$t_{a,l}$  lokale Lufttemperatur (zwischen 20 und 26°C)

$\bar{v}_{a,l}$  mittlere Luftgeschwindigkeit (muss kleiner 0.5m/s sein)

$T_u$  lokaler Turbulenzgrad (liegt zwischen 10 und 60%)

### Vertikaler Lufttemperaturunterschied

Der Prozentsatz an Personen, die aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen Kopf und Fußgelenken unzufrieden sind kann mit folgender Gleichung ermittelt werden.

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(5.76 - 0.856 * \Delta t_{a,v})}}$$

PD Anteil der Personen, die aufgrund von Zugluft unzufrieden sind in %

$\Delta t_{a,v}$  Lufttemperaturunterschied in °C zwischen Kopf und Füßen für ansteigende Temperaturen (abfallende Temperaturen werden von Personen weniger empfunden)

### Warme und kalte Fußböden

Der Prozentsatz an unzufriedenen Personen aufgrund von warmen oder kalten Fußböden ist eine Funktion der Fußbodentemperatur. Den kleinsten Wert an Unzufriedenen (6%) erreicht man bei einer Fußbodentemperatur von 24°C.

$$PD = 100 - 94 * e^{(-1.387 + 0.118 * t_f - 0.0025 * t_f^2)}$$

PD Anteil an Unzufriedenen in %

$t_f$  Fußbodentemperatur in °C

Asymmetrie der Strahlung(stemperatur)

Der Prozentsatz an Personen, die aufgrund von asymmetrischer Strahlung unzufrieden sind, ist in Abhängigkeit des Bauteils aus vier verschiedenen Gleichungen zu ermitteln. Sehr empfindlich reagieren Personen auf warme Decken oder kalte Wände (Fenster). Von großer Bedeutung ist dieser Ansatz bei fensternahen Arbeitsplätzen mit Sonnenstrahlung.

Beispielhaft für die vier Szenarien (warme Decke, kalte Wand, kalte Decke, warme Wand) wird hier die Gleichung für eine warme Wand angeführt.

$$PD = \frac{100}{1 + e^{(3.72 - 0.052 * \Delta t_{pr})}} - 3.5$$

PD Anteil an Unzufriedenen in %

$\Delta t_{pr}$  asymmetrische Strahlungstemperatur (muss kleiner 35°C sein)

**3.3. Mittlere Strahlungstemperatur**

Die mittlere Strahlungstemperatur ist jene einheitliche Oberflächentemperatur eines Gehäuses, mit der ein Bewohner die gleiche Menge Strahlungswärme austauschen würde, wie mit dem nicht einheitlichen Gehäuse [ON005].

Die mittlere Strahlungstemperatur kann nach VDI 3787 Blatt 2 [VDI08] ermittelt werden.

$$t_{mrt} = \left[ \frac{1}{\sigma} * \sum_{i=1}^n \left( E_i + a_k * \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) * F_i \right]^{0.25}$$

$t_{mrt}$  mittlere Strahlungstemperatur in °C

$\sigma$  Stefan-Boltzmann-Konstante ( $5.67 * 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ )

$E_i$  langwellige Strahlung in  $\text{W}/\text{m}^2$

$$E_i = \varepsilon_i * \sigma * T_i^4$$

$\varepsilon_i$  Emissionskoeffizient

$T_i$  Temperatur der Oberfläche in K

$a_k$  Absorptionskoeffizient der bestrahlten Körperfläche

$D_i$  diffuse kurzwellige Strahlung in  $W/m^2$ , setzt sich aus der diffusen Sonnenstrahlung und der diffus reflektierten Globalstrahlung zusammen

$\varepsilon_p$  Emissionskoeffizient des Menschen (Standardwert 0.97)

$F_i$  Raumwinkelanteile (=„Winkelfaktoren“)

$t_{mrt}$  erhöht sich zu  $t_{mrt}^*$ , wenn zusätzlich direkte Sonnenstrahlung auftritt.

$$t_{mrt}^* = \left[ t_{mrt}^4 + \frac{f_p * a_k * I^*}{(\varepsilon_p * \sigma)} \right]^{0.25}$$

$f_p$  Flächenprojektionsfaktor

$I^*$  Bestrahlungsstärke der Sonne auf eine Fläche senkrecht zur Einstrahlungsrichtung in  $W/m^2$

### 3.4. Wärmebilanz

Die Wärmebilanz eines Raumes setzt sich nach ÖNORM EN ISO 13791 [ON005] aus folgenden Termen zusammen.

#### Wärmeleitung durch Bauteile

$$q_n = -\lambda * \frac{\partial \theta}{\partial n}$$

$q_n$  Wärmestromdichte durch Leitung in Richtung n in  $W/m^2$

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit in  $W/mK$

$\theta$  Temperatur in Richtung n zur Zeit t in  $^{\circ}C$

n Richtung in m

#### Konvektive Wärmeübertragung

$$q_c = h_c * (\theta_s - \theta_a)$$

$q_c$  konvektive Wärmestromdichte an Innen- und Außenoberflächen in  $W/m^2$

$h_c$  konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in  $W/m^2$

$\theta_s$  Oberflächentemperatur in  $^{\circ}C$

$\theta_a$  Lufttemperatur in  $^{\circ}C$

Soweit vorhanden, sind konvektive Wärmeübergänge durch belüftete oder unbelüftete Hohlräume ebenfalls zu berücksichtigen.

#### Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung

$$q_{sr,i} = (1 - f_{sa}) * (1 - f_{sl}) * (\Phi_{sr,D} + \Phi_{sr,d}) * f_d$$

$q_{sr,i}$  Wärmestromdichte durch an der Innenoberfläche absorbierte kurzwellige Strahlung (die durch transparente Bauteile in den Raum eingedrungen ist) in  $W/m^2$

$f_{sa}$	Strahlungszuordnungsfaktor Luft (berücksichtigt jenen Teil der Strahlung, der in einen Wärmestrom für die Raumluft umgewandelt wird)
$f_{sl}$	Strahlungszuordnungsfaktor Verlust (berücksichtigt jenen Teil der Strahlung, der nach außen zurückreflektiert wird)
$\Phi_{sr,D}$	Wärmestromdichte aufgrund direkter Sonneneinstrahlung in $W/m^2$
$\Phi_{sr,d}$	Wärmestromdichte aufgrund diffuser Sonneneinstrahlung in $W/m^2$
$f_d$	Verteilungsfaktor der Sonneneinstrahlung auf der Innenoberfläche

Zu berücksichtigen sind auch die an der Außenoberfläche absorbierte kurzwellige Strahlung, die von der Raumluft absorbierte Sonnenstrahlung (die durch transparente Bauteile in den Raum eingedrungen ist) und die von den transparenten Bauteilen selbst absorbierte kurzwellige Strahlung.

### Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung

Wärmestromdichte infolge Absorption langwelliger Strahlung  $q_{lr}$  entsteht an der Außenoberfläche von Bauteilen, an der Innenoberfläche von Bauteilen und in Hohlräumen (in Bauteilen).

### Innere Wärmequellen

Beleuchtung, Einrichtung und Menschen bewirken konvektive Wärmeströme und Wärmeströme infolge langwelliger Strahlung.

### Wärmestrom infolge Lüftung

$$\Phi_v = c_a * q_a * (\theta_{il} - \theta_{a,i})$$

$\Phi_v$  Wärmestrom infolge Luftaustauschs durch Lüftung in W

$c_a$	spezifische Wärmekapazität der Luft in J/kgK
$q_a$	Luftstrommasse in kg/s
$\theta_{ii}$	Luft Eintrittstemperatur in K
$\theta_{a,i}$	Innenlufttemperatur in K

Ein Luftmassenstrom kann durch natürliche oder mechanische Lüftung entstehen. Die Zuluft kann von außen oder von einem angrenzenden Raum eintreten.

### 3.5. Lüftung

Der Luftvolumenstrom  $q_v$  in  $\text{dm}^3/\text{s}$  zur Lüftung von Gebäuden kann gemäß ÖNORM EN 13465 [ON004] ermittelt werden.

$$q_v = C * (\Delta p)^n$$

$q_v$	Luftvolumenstrom in $\text{dm}^3/\text{s}$
$C$	Strömungskoeffizient in $\text{dm}^3/\text{s}$ (normalisiert auf eine Druckdifferenz von 1Pa)
$\Delta p$	Druckdifferenz in Pa zwischen Innenraum und Außen

Der Luftvolumenstrom durch Lüftungsöffnungen  $q_{v\text{-vent}}$  wird mit  $C=C_{\text{vent}}$  und  $n=0.5$  ermittelt [ON004].

$$C_{vent/leak} = 1000 * A_{vent/leak} * \left(\frac{2}{\rho}\right)^{0.5} * \left(\frac{1}{\Delta p_{ref}}\right)^{n-0.5} * C_D \quad (\text{bei } 1\text{Pa})$$

$A_{vent/leak}$	Fläche der Luftöffnung/der Durchlässigkeit in $\text{m}^2$
$\rho$	Luftdichte in $\text{kg}/\text{m}^3$
$\Delta p_{ref}$	Bezugs-Druckdifferenz in Pa
$C_D$	Anströmungskoeffizient für die Öffnung in $\text{dm}^3/\text{s}$
$n$	Stömungsexponent

Eine Näherungsgleichung zur Ermittlung des Luftvolumenstroms durch eine Fensteröffnung bei Temperaturdifferenz gibt die ÖNORM EN ISO 13791 [ON005].

$$m_T = c_d * \frac{A}{3} * \left( \frac{\Delta\theta * g * H}{T_m} \right)^{0.5}$$

$m_T$	Luftstromdichte in $\text{m}^3/\text{s}$
$c_d$	Durchflusszahl hängt von den Strömungseigenschaften der Öffnung ab und kann für ein Fenster als 0.61 angenommen werden
$A$	Fläche der Öffnung in $\text{m}^2$
$\Delta\theta$	Temperaturdifferenz zwischen innen und außen in K
$g$	Erdbeschleunigung ( $9.81 \text{m}/\text{s}^2$ )
$H$	Höhe der Öffnung in m
$T_m$	Referenztemperatur (300K)

Aus dieser Gleichung können Luftvolumenströme für nächtliches Dauerlüften als Funktion der Öffnung und der Temperaturdifferenz ermittelt werden. Ein offenes Fenster (etwa 1m hoch und 1m breit) schafft bei 10K Temperaturunterschied zwischen außen und innen einen Luftwechsel von rund  $300 \text{m}^3/\text{h}$ . Eine offene Türe (etwa 1m breit und 2m hoch) erreicht diesen Luftwechsel bereits bei 1K Temperaturunterschied. Ein gekipptes Fenster hingegen kann nur einen Luftwechsel von  $60 \text{m}^3/\text{h}$  bei einem Temperaturunterschied von 10K ermöglichen.

Nächtliche Dauerlüftung in der Hitzeperiode bedeutet im Idealfall Fenster immer dann zu öffnen, wenn es draußen kühler ist als drinnen. Dies kann per Hand (nach Gefühl) erfolgen oder automatisiert mit einer Steuerung. Nächtliche Dauerlüftung ist nicht immer möglich (Straßenlärm, Einbruchgefahr, Sturm, ...).



### 3.6. Sommerliche Überwärmung nach ÖNORM

Laut ÖNORM B 8110-3 [ON099] gilt sommerliche Überwärmung als vermieden, wenn die empfundene Raumtemperatur die Grenztemperatur  $t^*$  von  $+27^{\circ}\text{C}$  am Tage und  $+25^{\circ}\text{C}$  in der Nacht nicht überschreitet.

Die ÖNORM EN ISO 13791 [ON005] definiert die operative Temperatur (= empfundene Temperatur) als jene einheitliche Temperatur eines Gehäuses, mit der ein Bewohner die gleiche Menge Wärmestrahlung und Konvektion austauschen würde wie mit dem nicht einheitlichen Gehäuse.

Zur Erfüllung dieser Bedingung bietet die Norm zwei Lösungswege an. Erstens kann die Nachweisführung über den Tagesverlauf der Raumtemperatur erfolgen. Dabei muss ein geeignetes Rechenprogramm nach ÖNORM EN ISO 13791 [ON005] zum Einsatz kommen. Zweitens kann ein vereinfachter Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse geführt werden.

#### Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse

Die ÖNORM B 8110-3 [ON099] gibt eine mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse  $m_{w,l}$  in  $\text{kg}/\text{m}^2$  in Abhängigkeit vom immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom  $V_{L,s}$  an (Tabelle 2, Abbildung 1).

Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,s}$ in $\text{m}^3/\text{hm}^2$	Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,l}$ in $\text{kg}/\text{m}^2$
$\geq 100$	$\geq 2000$
75	$\geq 4000$
50	$\geq 8000$
Immissionsflächenbezogene Luftvolumenströme von weniger als $50\text{m}^3/\text{hm}^2$ führen zu einem hohen Überwärmungsrisiko und sind daher grundsätzlich zu vermeiden.	

Tab. 2: Mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse

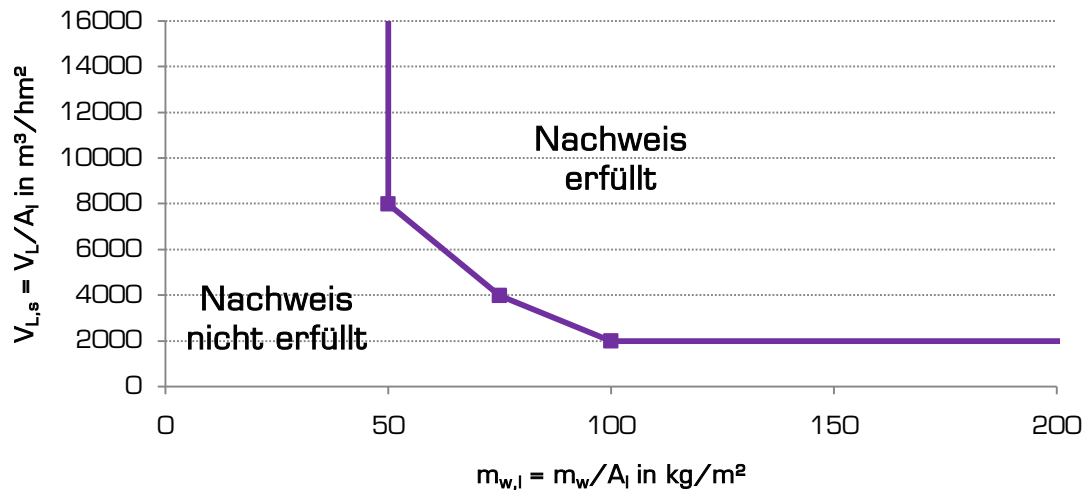


Abb. 1: Mindest erforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse

Je größer die Immissionsfläche  $A_I$  ist, umso schwieriger ist der Nachweis zu erfüllen. Dabei errechnet sich die Immissionsfläche wie folgt.

$$A_I = A_{AL} * f_g * g * z * Z_{ON} + A_S + A_T$$

$A_I$  Immissionsfläche in  $\text{m}^2$

$A_{AL}$  durch die Architekturlichte gegebene Fensterfläche in  $\text{m}^2$

$f_g$  Glasflächenanteil

$g$  Gesamtenergiedurchlassgrad

$z$  Abminderungsfaktor einer Abschattungseinrichtung

$Z_{ON}$  Orientierungs- und Neigungsfaktor

$A_S$  äquivalente Immissionsfläche für Personenwärme in  $\text{m}^2$

$$A_S = a * \Delta n$$

$a$   $0.2\text{m}^2$

$\Delta n$  Differenz der Anzahl der maximal anwesenden und der Anzahl der ständig anwesenden Personen. In Räumen von Wohnungen ist  $n$  gleich 0 zu setzen.

$A_T$  äquivalente Immissionsflächen für technische Wärmequellen in  $\text{m}^2$

Wärmequellen mit einer Wirkungsdauer von weniger als 3 Stunden sind wegen zu geringer zu erwartender Auswirkungen nicht zu berücksichtigen.

$$V_{L,s} = \frac{V_L}{A_I} \quad \text{mit} \quad V_L = n_L * V$$

$V_{L,s}$  immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{hm}^2$

$n_L$  Luftwechselzahl (liegt zwischen 1.5/h und 3/h)

$V$  Volumen des Raumes in  $\text{m}^3$

$A_I$  Immissionsfläche in  $\text{m}^2$

$$m_{w,I} = \frac{m_w}{A_I} \quad \text{mit} \quad m_w = \sum m_{w,B} + m_{w,E}$$

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

$m_w$  gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes in kg

$m_{w,B}$  speicherwirksame Masse eines Bauteils in kg

$m_{w,E}$  speicherwirksame Masse der Einrichtung in kg

$A_I$  Immissionsfläche in  $\text{m}^2$

Die Norm geht davon aus, dass die Grenztemperatur  $t^*$  eingehalten wird, wenn dieser vereinfachte Nachweis erfüllt ist.

### Nachweis über den Tagesverlauf der Raumtemperatur

Der Außentemperaturverlauf für die Berechnung ist so zu wählen, dass dieser in 10 Jahren an 130 Tagen überschritten wird und eine Tagesamplitude von  $\pm 7\text{K}$  aufweist.

Stehen keine Klimadaten zur Verfügung, in denen der Außentemperaturverlauf langjährig an nicht mehr als 13 Tagen überschritten wird, so ist ein Norm-Außentemperaturverlauf (Abbildung 2) anzusetzen. Dieser muss eine mittlere Tagestemperatur von  $23^\circ\text{C}$  und eine Amplitude von  $\pm 7\text{K}$  aufweisen. Für die Solarstrahlung sind im Anhang der Norm [ON099] Werte gegeben (Abbildung 3).

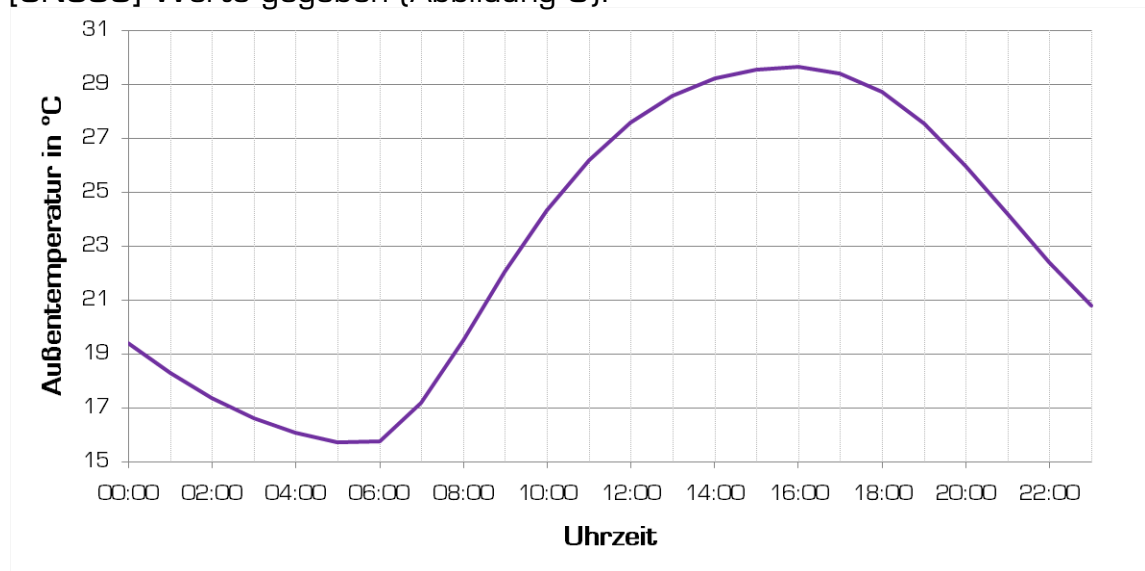


Abb. 2: Norm-Außentemperaturverlauf

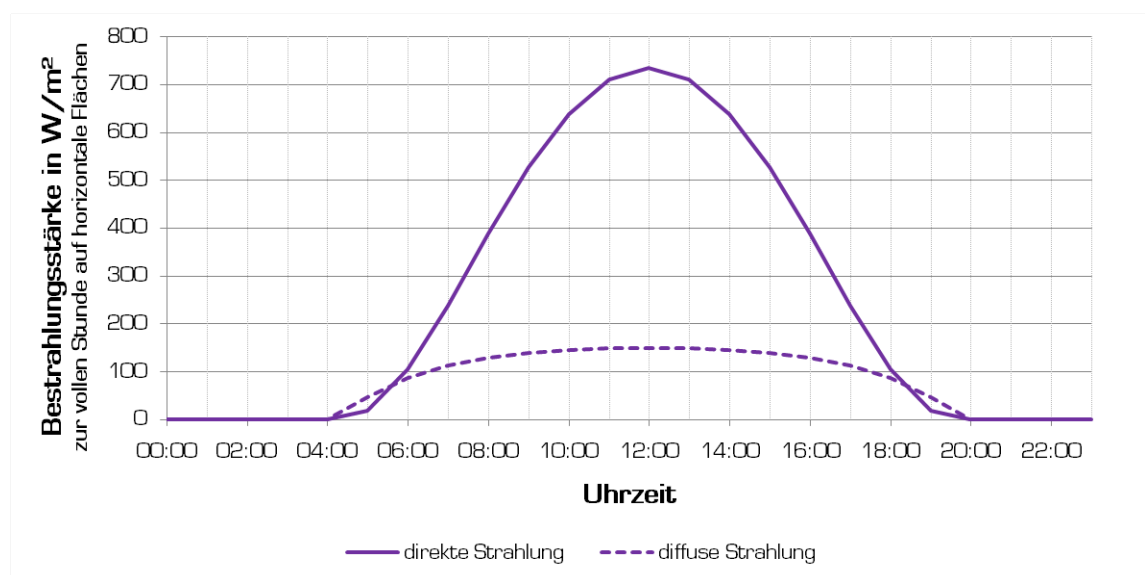


Abb. 3: Norm-Bestrahlungsstärke am 196. Tag im Jahr

### 3.7. Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251

Der informative Anhang A.2 an die ÖNORM EN 15251 [ON007b] beschreibt ein Klassifizierungsverfahren für die operative Innentemperatur  $\theta_o$  von Gebäuden in Abhängigkeit eines gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur  $\theta_{rm}$ . Um diese Klassifizierung anwenden zu können, darf der Raumverbund nicht über eine mechanische Kühlung, sehr wohl aber über eine mechanische Lüftung verfügen. Die Bewohner müssen die Möglichkeit haben, ihre Kleidung an die Innentemperaturen anzupassen. Es darf also keine Kleidungs Vorschrift geben. Weiters müssen die Benutzer der Räume die Möglichkeit haben Fenster selbstständig zu öffnen oder zu schließen.

Der gleitende Mittelwert der Außentemperatur errechnet sich mit folgender Gleichung.

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \{ \theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{ed-2} + \alpha^2 * \theta_{ed-3} \dots \}$$

$\theta_{rm}$	gleitender Mittelwert der Außentemperatur in °C
$\theta_{ed-1}$	Tagesmittel der Außentemperatur am Tag zuvor in °C
$\theta_{ed-2}$	Tagesmittel der Außentemperatur zwei Tage zuvor in °C
$\theta_{ed-3}$	Tagesmittel der Außentemperatur drei Tage zuvor in °C
$\alpha$	Konstante (liegt zwischen 0 und 1, Standardwert 0.8)

Die Klassifizierung erfolgt wie in der Abbildung 4 dargestellt. Befindet sich die operative Innentemperatur zwischen den beiden Linien mit der Bezeichnung I, so liegt die Innentemperatur in der idealen Kategorie 1. Außerhalb der beiden Linien III liegt die Kategorie 4. In der Kategorie 4 ist es entweder zu kalt oder zu warm, um die Bewohner zufrieden zu stellen.

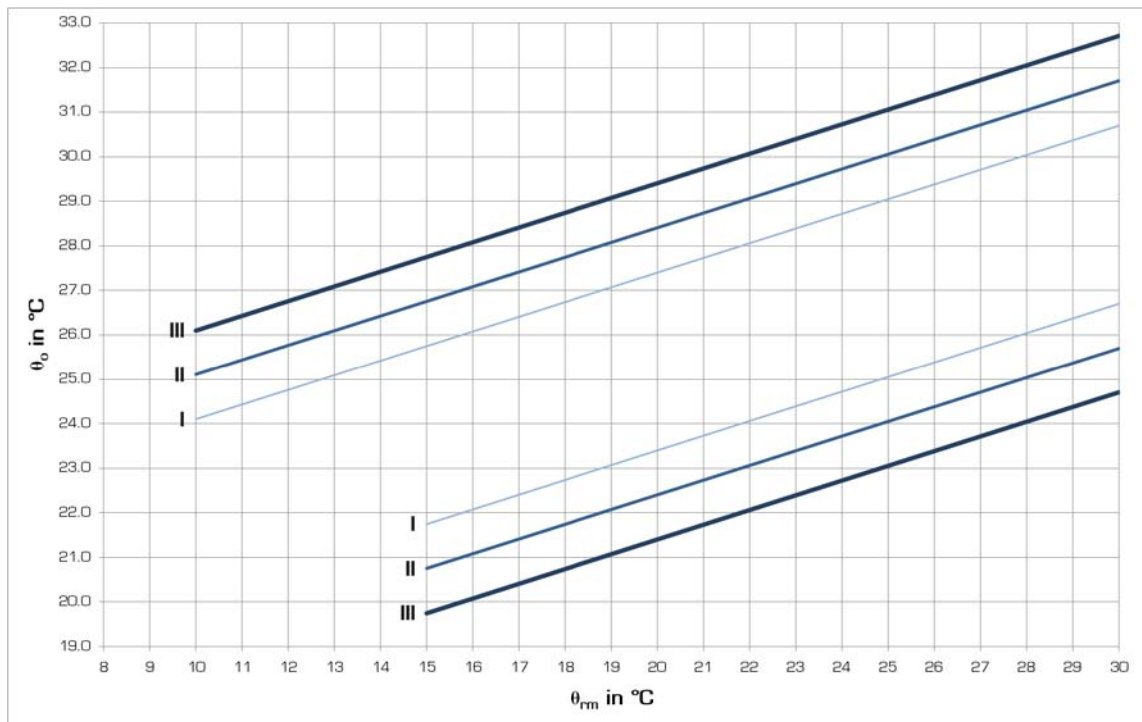


Abb. 4: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b]

### 3.8. BuildOpt\_VIE

BuildOpt\_VIE [BED09] ist ein hygrothermisches Gebäudesimulationsprogramm, das am Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz des Institutes für Hochbau und Technologie der TU Wien entwickelt wurde.

BuildOpt\_VIE hat einige Grundeinstellungen, die durch den Benutzer nicht verändert werden können. Neben diesen Grundeinstellungen kann eine Vielzahl an Parametern in Eingabefiles definiert werden. Die Eingabe in BuildOpt\_VIE umfasst Zonendefinitionen (Größe, Geometrie, Orientierung, ...), Materialdaten (Dichte, Wärmeleitfähigkeit, ...), Konstruktionen (Schichtdicke, ...), Fenstereigenschaften (U-Wert, g-Wert, z-Wert, ...), Nutzungen (innere Wärmequellen, innere Feuchtequellen), Luftwechsel (durch Infiltration, Fensterlüften und maschinelles Be- und Entlüftungssystem), Gebäudetechnik, Außenklima, gewünschtes Innenklima, usw.

In dieser Arbeit wurde mit BuildOpt\_VIE die maximale sommerliche Raumtemperatur untersucht. Es wurde also umgekehrt zum Heiz- bzw. Kühlwärmebedarf die notwendige Energiezufuhr auf Null gehalten und beobachtet welche Temperaturen sich im Raumverbund einstellen. Entscheidende Parameter dafür sind die eintreffende solare Strahlung (Außenklima, Fenstergröße, Orientierung der Fenster, Glasqualität, Verschattung, ...), innere Wärmequellen, Speichermasse des Raumes und das Lüftungsverhalten.

Mittels Koordinateneingabe werden in einer „Gebäudedatei“ Zonengrenzen definiert. Jeder Zonengrenze wird dann ein Bauteilaufbau zugewiesen. Die Bauteilstärken werden dann zum Zoneninneren hin aufgetragen. Ausgehend von dieser Koordinateneingabe der Bruttoflächen und Bruttovolumina ermittelt BuildOpt\_VIE Nettoflächen ( $0.8 \cdot \text{Bruttofläche}$ ) und Nettovolumina ( $0.75 \cdot \text{Bruttovolumen}$ ). In der „Gebäudedatei“ werden auch Fenstergrößen und Fenstertypen eingegeben. An dieser Stelle sind auch die geografische Lage (Längen- und Breitengrad), die Zeitzone sowie die Orientierung des Gebäudes definiert.

Materialien werden durch deren physikalische Eigenschaften (Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, solarer Absorptionsgrad, ...) in einer „Materialdatei“ definiert. Im Weiteren werden aus diesen Materialien Bauteilaufbauten in einer „Konstruktionsdatei“ eingegeben.

Fenstertypen werden in einer „Fensterdatei“ definiert. Alle bauphysikalisch relevanten Eigenschaften wie U-Werte, Rahmenbreiten,  $\psi$ -Werte, z-Werte, Anzahl der Scheiben, Glasdicken, Zwischenraumabmessungen, Strahlungsabsorptionsgrade, Strahlungstransmissionsgrade, Lichttransmissionsgrade und Fensterluftwechsel sind hier einzugeben.

Verschiedenen Zonen (meist entsprechen Zonen Räumen) können in der „Nutzungsdatei“ verschiedene Nutzungen zugewiesen werden. Einzugeben sind hier innere Wärmequellen, Luftwechselzahlen, operative Raumtemperaturen, ab welchen der Sonnenschutz aktiviert wird, usw.

Wird BuildOpt\_VIE gestartet sind zuerst alle Eingabedateien und eine Außenklimadatei einzulesen. Jetzt bietet BuildOpt\_VIE eine grafische Darstellung der eingegebenen Zonen. Viele Eingaben können jetzt nochmal auf Plausibilität überprüft werden. BuildOpt\_VIE ermöglicht so eine Vielzahl von bautechnisch relevanten Berechnungen.

Unter „SimulationSzenario“ kann dann eine thermische Gebäudesimulation gestartet werden. Auszuwählen sind jetzt noch Starttag, Endtag und Integrations-Zeitschrittweiten, sowie einige Rechenvarianten (Innentüren offen oder geschlossen, Außenfenster in Abhängigkeit der in den Eingabedateien definierten Randbedingungen offen oder geschlossen, Sonnenschutz aktiviert oder nicht aktiviert, ...).

In einer weiteren Eingabedatei („Anlagendatei“) kann eine Lüftungsanlage definiert werden. Einzugeben ist im Wesentlichen, welche Luftmenge wann von welcher Zone in welche Zone transportiert wird. Technische Komponenten wie ein Vorheizregister, ein Wärmetauscher oder einen Heizregister können in der „Anlagendatei“ eingegeben werden.



## 4. Untersuchungsaufbau

### 4.1. Modell

In Abbildung 5 und Tabelle 3 ist die Modellwohnung dargestellt.

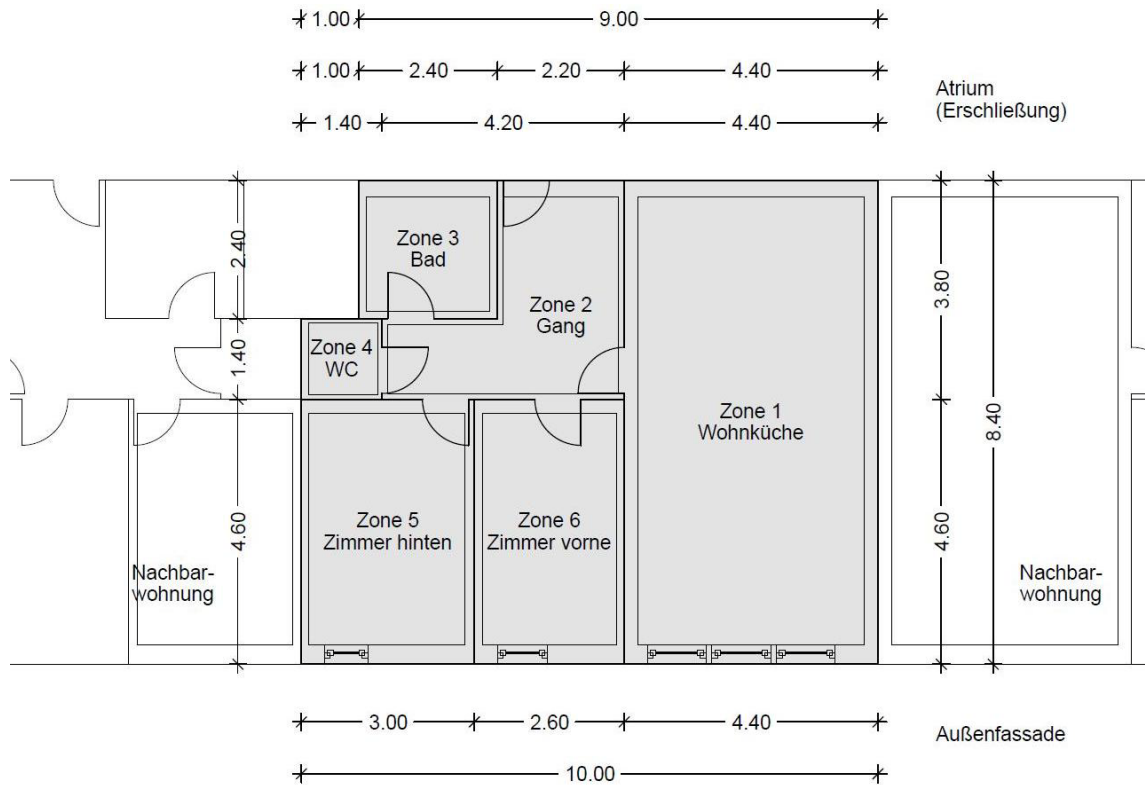


Abb. 5: Grundriss der Modellwohnung

Zone		Brutto-Grundrissfläche	Brutto-Volumen	Netto-Grundrissfläche	Netto-Volumen
		m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
1	Wohnküche	36.96	103.5	29.57	77.6
2	Gang	8.08	22.6	6.46	17.0
3	Bad	5.76	16.1	4.61	12.1
4	WC	1.96	5.5	1.57	4.1
5	Zimmer hinten	13.80	38.6	11.04	29.0
6	Zimmer vorne	11.96	33.5	9.57	25.1
Summe		78.52	219.9	62.82	164.9

Tab. 3: Modellwohnung

Die Bruttoraumhöhe beträgt 2.80m.

Die Lage der Wohnung ist mit dem Längengrad 48.21 und mit dem Breitengrad 16.37 sowohl in der „Gebäudedatei“ als auch in den Außenklimadateien definiert. Diese Koordinaten beziehen sich auf die rechte obere Ecke des in Abbildung 5 dargestellten Grundrisses.

## 4.2. Berechnungsvarianten

### 4.2.1. Acht Grundmodelle

In den Simulationsversuchen wurden zwei Qualitätsstandards (Passivhausstandard und 1990er-Standard) mit jeweils zwei bautechnischen Unterscheidungen (Leichtbau und Massivbau) und zwei Fenstergrößen (Tabelle 4) untersucht.

Modell	Qualitätsstandard	bautechnische Unterscheidung	Fenstergröße
1	Passivhausstandard	Leichtbau	kleine Fenster
2	Passivhausstandard	Leichtbau	große Fenster
3	Passivhausstandard	Massivbau	kleine Fenster
4	Passivhausstandard	Massivbau	große Fenster
5	1990er-Standard	Leichtbau	kleine Fenster
6	1990er-Standard	Leichtbau	große Fenster
7	1990er-Standard	Massivbau	kleine Fenster
8	1990er-Standard	Massivbau	große Fenster

Tab. 4: Acht Grundmodelle

### Wand- und Deckenaufbauten

Die Leichtbauten (Passivhausstandard und 1990er-Standard) sind Holzriegelbauten mit dazwischenliegender Wärmedämmung. Unterschieden werden die beiden nur durch die Dämmstärken der Außenwände ( $U=0.14\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  beim Passivhausstandard und  $U=0.32\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  beim 1990er-Standard).

Bei den Massivbauten sind alle Wände und Decken in Stahlbeton. Die erforderliche Wärmedämmung ist in Form von EPS (= expandiertes Polystyrol) außen montiert. Unterschieden werden die beiden Bauweisen wieder nur durch die Dämmstärke ( $U=0.15\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  beim Passivhausstandard und  $U=0.34\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  beim 1990er-Standard).

Die Tabellen 5 bis 28 zeigen die Wand- und Deckenaufbauten der acht Modellvarianten.

## Passivhausstandard, Leichtbau

Außenwand (von außen nach innen)					
Schicht- dicke		Dichte	spezifische Wärme- kapazität	Wärme- leitfähigkeit	Wärme- durchlass- widerstand
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.25	Mineralwolle	25	1030	0.04	6.25
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.02	Luftschicht (Installationsebene)	1	1005	0.18	0.11
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.323	$\Sigma$				6.90
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.14
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					32.03

Tab. 5: Aufbau: Außenwand, Passivstandard, Leichtbau

Innenwand					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	innen				0.13
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.075	Mineralwolle	25	1030	0.04	1.88
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.10	$\Sigma$				2.26
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.44
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					12.65

Tab. 6: Aufbau: Innenwand, Passivstandard, Leichtbau

Trennwand (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.13
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.075	Mineralwolle	25	1030	0.04	1.88
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.075	Mineralwolle	25	1030	0.04	1.88
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.215	$\Sigma$				4.32
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.23
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					25.49

Tab. 7: Aufbau: Trennwand, Passivstandard, Leichtbau

Wand zum Atrium (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.25	Mineralwolle	25	1030	0.04	6.25
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.02	Luftschicht (Installationsebene)	1	1005	0.18	0.11
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.323	$\Sigma$				6.90
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.14
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					32.03

Tab. 8: Aufbau: Wand zum Atrium, Passivstandard, Leichtbau

Zwischendecke oben (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.04
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.10	Luftschicht zw. den Trämen	1	1005	0.16	0.63
0.10	Mineralwolle zw. den Trämen	25	1030	0.04	2.50
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	unten				0.10
0.343	$\Sigma$				4.53
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.22
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					13.40

Tab. 9: Aufbau: Zwischendecke oben, Passivstandard, Leichtbau

Zwischendecke unten (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.17
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.10	Luftschicht zw. den Trämen	1	1005	0.22	0.45
0.10	Mineralwolle zw. den Trämen	25	1030	0.04	2.50
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	unten				0.04
0.343	$\Sigma$				4.43
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.23
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					32.26

Tab. 10: Aufbau: Zwischendecke unten, Passivstandard, Leichtbau

Passivhausstandard, Massivbau

Außenwand (von außen nach innen)					
Schichtdicke		Dichte	spezifische Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Wärmedurchlasswiderstand
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.01	Wärmedämmputz	280	1000	0.07	0.14
0.25	EPS	17	500	0.04	6.25
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	innen				0.13
0.46	$\Sigma$				6.65
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.15
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					304.52

Tab. 11: Aufbau: Außenwand, Passivstandard, Massivbau

Innenwand					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	innen				0.13
0.12	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.05
	innen				0.13
0.12	$\Sigma$				0.31
U in W/m <sup>2</sup> K =					3.20
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					141.51

Tab. 12: Aufbau: Innenwand, Passivstandard, Massivbau

Trennwand (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.13
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.05	EPS	17	500	0.04	1.25
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	innen				0.13
0.263	$\Sigma$				1.66
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.60
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					301.73

Tab. 13: Aufbau: Trennwand, Passivstandard, Massivbau

Wand zum Atrium (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.01	Wärmedämmputz	280	1000	0.07	0.14
0.25	EPS	17	500	0.04	6.25
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	innen				0.13
0.46	$\Sigma$				6.65
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.15
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					304.52

Tab. 14: Aufbau: Wand zum Atrium, Passivstandard, Massivbau

Zwischendecke oben (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.04
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.05	Zementestrich	2000	1080	1.33	0.04
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	unten				0.10
0.34	$\Sigma$				1.16
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.86
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					293.80

Tab. 15: Aufbau: Zwischendecke oben, Passivstandard, Massivbau

Zwischendecke unten (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.17
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.05	Zementestrich	2000	1080	1.33	0.04
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	unten				0.04
0.34	$\Sigma$				1.23
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.81
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					87.11

Tab. 16: Aufbau: Zwischendecke unten, Passivstandard, Massivbau

1990er-Standard, Leichtbau

Außenwand (von außen nach innen)					
Schicht- dicke		Dichte	spezifische Wärme- kapazität	Wärme- leitfähigkeit	Wärme- durchlass- widerstand
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.10	Mineralwolle	25	1030	0.04	2.50
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.02	Luftschicht (Installationsebene)	1	1005	0.18	0.11
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.173	$\Sigma$				3.15
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.32
m <sub>w.B.A.i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					30.46

Tab. 17: Aufbau: Außenwand, 1990er-Standard, Leichtbau

Innenwand					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	innen				0.13
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.075	Mineralwolle	25	1030	0.04	1.88
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.10	$\Sigma$				2.26
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.44
m <sub>w.B.A.i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					12.65

Tab. 18: Aufbau: Innenwand, 1990er-Standard, Leichtbau

Trennwand (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.13
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.075	Mineralwolle	25	1030	0.04	1.88
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.075	Mineralwolle	25	1030	0.04	1.88
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.215	$\Sigma$				4.32
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.23
m <sub>w.B.A.i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					25.49

Tab. 19: Aufbau: Trennwand, 1990er-Standard, Leichtbau

Wand zum Atrium (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.10	Mineralwolle	25	1030	0.04	2.50
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.02	Luftschicht (Installationsebene)	1	1005	0.18	0.11
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	innen				0.13
0.173	$\Sigma$				3.15
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.32
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					30.46

Tab. 20: Aufbau: Wand zum Atrium, 1990er-Standard, Leichtbau

Zwischendecke oben (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.04
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.10	Luftschicht zw. den Trämen	1	1005	0.16	0.63
0.10	Mineralwolle zw. den Trämen	25	1030	0.04	2.50
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	unten				0.10
0.343	$\Sigma$				4.53
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.22
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					13.40

Tab. 21: Aufbau: Zwischendecke oben, 1990er-Standard, Leichtbau

Zwischendecke unten (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.17
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.02	OSB	680	1700	0.13	0.15
0.10	Luftschicht zw. den Trämen	1	1005	0.22	0.45
0.10	Mineralwolle zw. den Trämen	25	1030	0.04	2.50
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
	unten				0.04
0.343	$\Sigma$				4.43
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.23
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					32.26

Tab. 22: Aufbau: Zwischendecke unten, 1990er-Standard, Leichtbau



1990er-Standard, Massivbau

Außenwand (von außen nach innen)					
Schichtdicke		Dichte	spezifische Wärmekapazität	Wärmeleitfähigkeit	Wärmedurchlasswiderstand
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.01	Wärmedämmputz	280	1000	0.07	0.14
0.10	EPS	17	500	0.04	2.50
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	innen				0.13
0.31	$\Sigma$				2.90
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.34
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					303.50

Tab. 23: Aufbau: Außenwand, 1990er-Standard, Massivbau

Innenwand					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	innen				0.13
0.12	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.05
	innen				0.13
0.12	$\Sigma$				0.31
U in W/m <sup>2</sup> K =					3.20
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					141.51

Tab. 24: Aufbau: Innenwand, 1990er-Standard, Massivbau

Trennwand (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.13
0.013	Gipskarton	900	1050	0.21	0.06
0.05	EPS	17	500	0.04	1.25
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	innen				0.13
0.263	$\Sigma$				1.66
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.60
m <sub>w,B,A,i</sub> in kg/m <sup>2</sup> =					301.73

Tab. 25: Aufbau: Trennwand, 1990er-Standard, Massivbau

Wand zum Atrium (von außen nach innen)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	außen				0.04
0.01	Wärmedämmputz	280	1000	0.07	0.14
0.10	EPS	17	500	0.04	2.50
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	innen				0.13
0.31	$\Sigma$				2.90
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.34
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					303.50

Tab. 26: Aufbau: Wand zum Atrium, 1990er-Standard, Massivbau

Zwischendecke oben (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.04
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.05	Zementestrich	2000	1080	1.33	0.04
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	unten				0.10
0.34	$\Sigma$				1.16
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.86
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					293.80

Tab. 27: Aufbau: Zwischendecke oben, 1990er-Standard, Massivbau

Zwischendecke unten (von oben nach unten)					
d		$\rho$	c	$\lambda$	R
m		kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	W/mK	m <sup>2</sup> K/W
	oben				0.17
0.01	Holzfußboden	680	1700	0.13	0.08
0.05	Zementestrich	2000	1080	1.33	0.04
0.03	Mineralwolle	25	1030	0.04	0.75
0.05	Sandausgleich	1800	840	0.7	0.07
0.20	Stahlbeton	2300	1080	2.3	0.09
	unten				0.04
0.34	$\Sigma$				1.23
U in W/m <sup>2</sup> K =					0.81
$m_{w,B,A,i}$ in kg/m <sup>2</sup> =					87.11

Tab. 28: Aufbau: Zwischendecke unten, 1990er-Standard, Massivbau

### Fensterqualität

Die Fensterqualität für Passivhausstandard bzw. 1990er-Standard wurde wie in Tabelle 29 dargestellt gewählt.

Für den Passivhausstandard wurde ein dreifach-verglastes Fenster gewählt. Der U-Wert  $U_w$  liegt bei  $0.75\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ , der Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  ist  $0.452$ .

Der 1990er-Standard wurde mit einer Doppelverglasung simuliert. Der U-Wert  $U_w$  liegt hier bei  $1.35\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  und der Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  bei  $0.605$ .

Passivhausstandard				1990er-Standard	
0.86	U	U-Wert Rahmen	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	1	
0.10		Rahmenbreite	m	0.10	
0.05	$\psi$	Wärmebrückenkoeffizient für den Randverbund	$\text{W}/\text{mK}$	0.10	
0 bis 1	z	Verschattungsfaktor		0 bis 1	
3		Anzahl der Scheiben		2	
0.008		Glasdicke der äußeren Scheibe	m	0.006	
0.010		Dicke des äußeren Zwischenraumes	m	0.014	
0.005		Glasdicke der mittleren Scheibe	m		
0.012		Dicke des inneren Zwischenraumes	m		
0.006		Glasdicke der inneren Scheibe	m	0.006	
0.91	R	Wärmedurchlasswiderstand des äußeren Scheibenzwischenraums	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	0.74	
0.91	R	Wärmedurchlasswiderstand des inneren Scheibenzwischenraums	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$		
0.34		Strahlungsabsorptionsgrad der äußeren Scheibe		0.06	
0.06		Strahlungsabsorptionsgrad der mittleren Scheibe			
0.06		Strahlungsabsorptionsgrad der inneren Scheibe		0.12	
0.60	$\tau_s$	Strahlungstransmissionsgrad		0.50	
0.67	$\tau_e$	Lichttransmissionsgrad		0.78	

Tab. 29: Fensterqualität

### Fenstergrößen

Zur weiteren Differenzierung wurden zwei Varianten von Fenstergrößen gewählt (Tabelle 30).

	kleine Fenster	große Fenster
Zone 1 (Wohnküche)	13	22
Zone 5 (Zimmer hinten)	10	30
Zone 6 (Zimmer vorne)	10	31

Tab. 30: Fenstergröße in % der Grundrissfläche

Die kleine Fensterfläche entspricht dem mindestens erforderlichen Wert nach der Bauordnung. Die Wiener Bauordnung verlangt, dass die Fensterfläche eines Aufenthaltsraumes mindestens so groß sein muss wie 10% der Nettogrundrissfläche des Raumes. Ist der Raum tiefer als 5m, so muss die Fensterfläche für jeden Meter mehr um 1% der Nettogrundrissfläche des Raumes vergrößert werden.

Die gewählte große Fensterfläche kann auch als Lichtband bezeichnet werden (Abbildung 6).

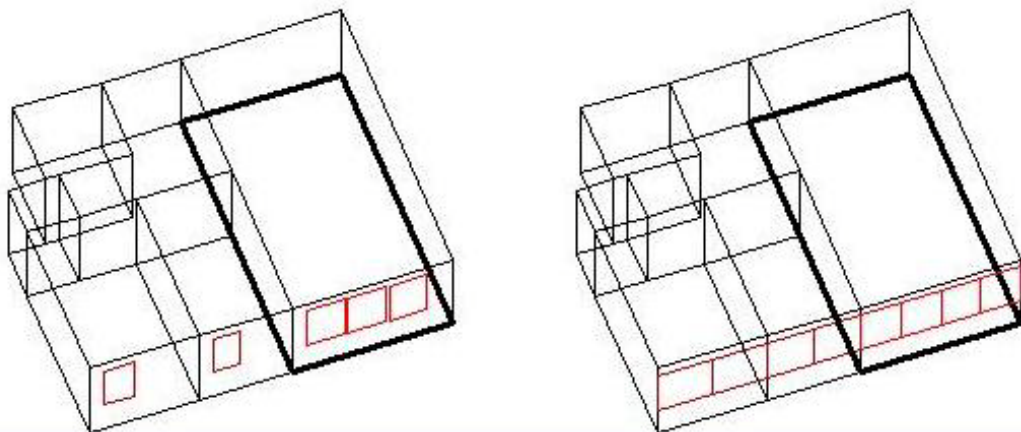


Abb. 6: Kleine Fensterfläche und große Fensterfläche (BuildOpt\_VIE)

Vier verschiedene Konstruktionen mit jeweils zwei verschiedenen Fenstergrößen führen so zu acht Modellwohnungen.

#### 4.2.2. Zwei verschiedene Orientierungen

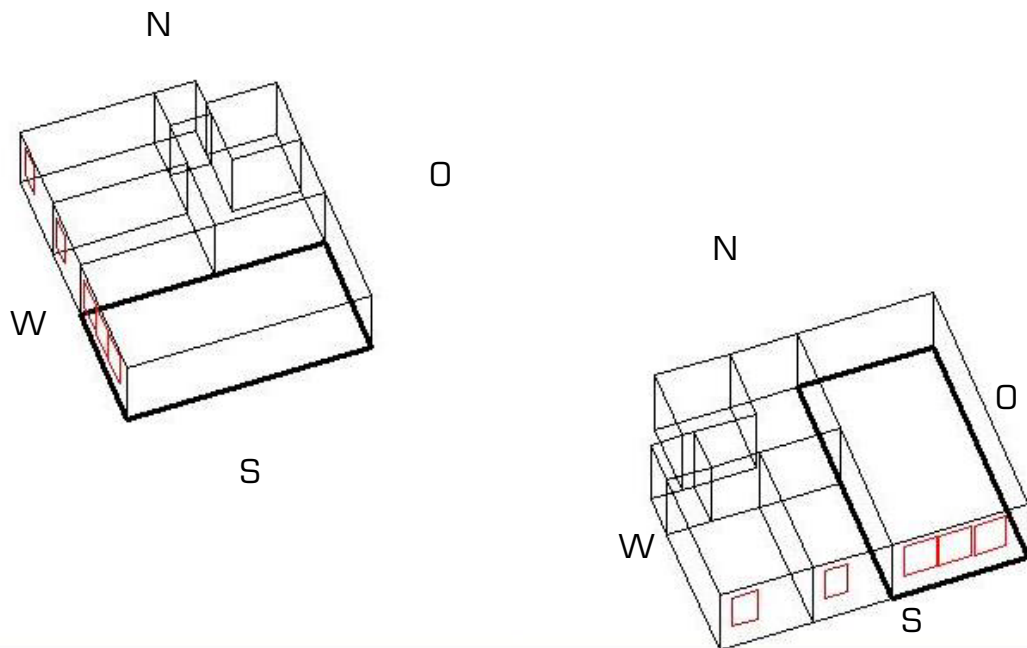


Abb. 7: West- und Südorientierung der Fensterfront (BuildOpt\_VIE)

Die Modellwohnung hat nur in einer Fassade Fensteröffnungen. Diese weisen für die Simulationen nach Westen und nach Süden (Abbildung 7). Im Folgenden bedeutet „Westen“, dass die Fensterfassade nach Westen zeigt und „Süden“, dass die Fensterfassade nach Süden ausgerichtet ist.

Während der Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (vereinfachter Norm-Nachweis) diese Unterscheidung mit dem  $Z_{ON}$ -Faktor berücksichtigt kann ein thermisches Simulationsprogramm für jeden Zeitschritt die tatsächliche Solarstrahlung einlesen.

Alle acht Modellvarianten wurden sowohl für „Süden“ als auch für „Westen“ untersucht. Diese Anordnungen führen zu 16 Simulations-szenarien.

### 4.2.3. Klimadaten

Die Modellvarianten wurden für die Jahressimulation mit dem IWEK-Wetterdatensatz und mit dem realen Klima aus dem Jahr 2007 (im Folgenden als „2007er-Wetterdatensatz“) jeweils für Wien untersucht.

Die IWEK (International Weather for Energy Calculations) Wetterdaten werden von der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers herausgegeben, und sollen das Klima eines typischen Jahres repräsentieren. Dieses Referenzklima setzt sich aus einzelnen realen Monaten der Jahre 1982 bis 1997 zusammen. Die Jännerdaten stammen aus dem realen Jänner 1995, die Februardaten sind die Klimadaten des realen Februars 1987, usw.

Der 2007er-Wetterdatensatz dagegen repräsentiert ein ausgesprochen heißes Jahr. So liegt der Jahresmittelwert der Temperatur im Jahr 2007 bei 12.6°C, im IWEK-Jahr aber nur bei 10.0°C.

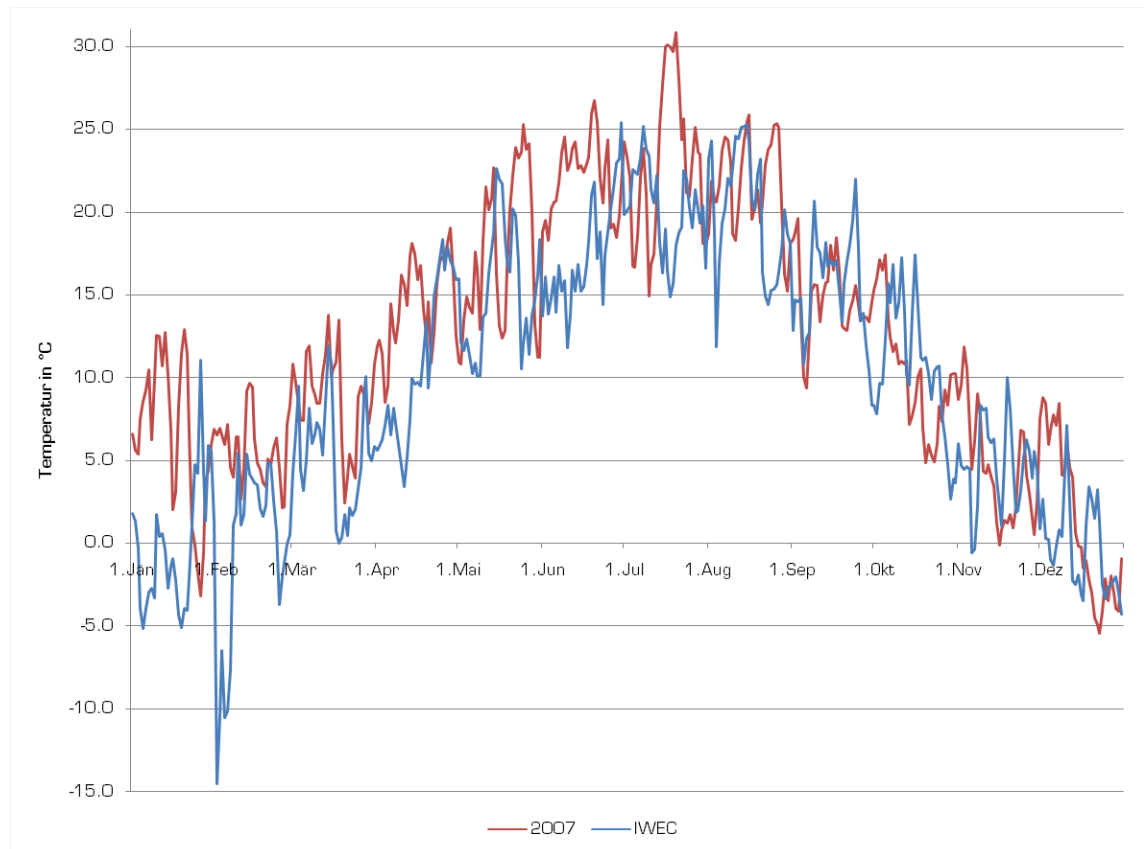


Abb. 8: Tagesmittelwerte der Temperatur in °C in Wien

Abbildung 8 zeigt einen Vergleich der Tagesmittelwerte der Temperatur in Wien zwischen IVEC-Wetterdatensatz und 2007er-Wetterdatensatz. Die in Abbildung 9 dargestellten direkten und diffusen Solarstrahlungen stammen aus den IVEC- bzw. 2007er-Wetterdatensätzen.

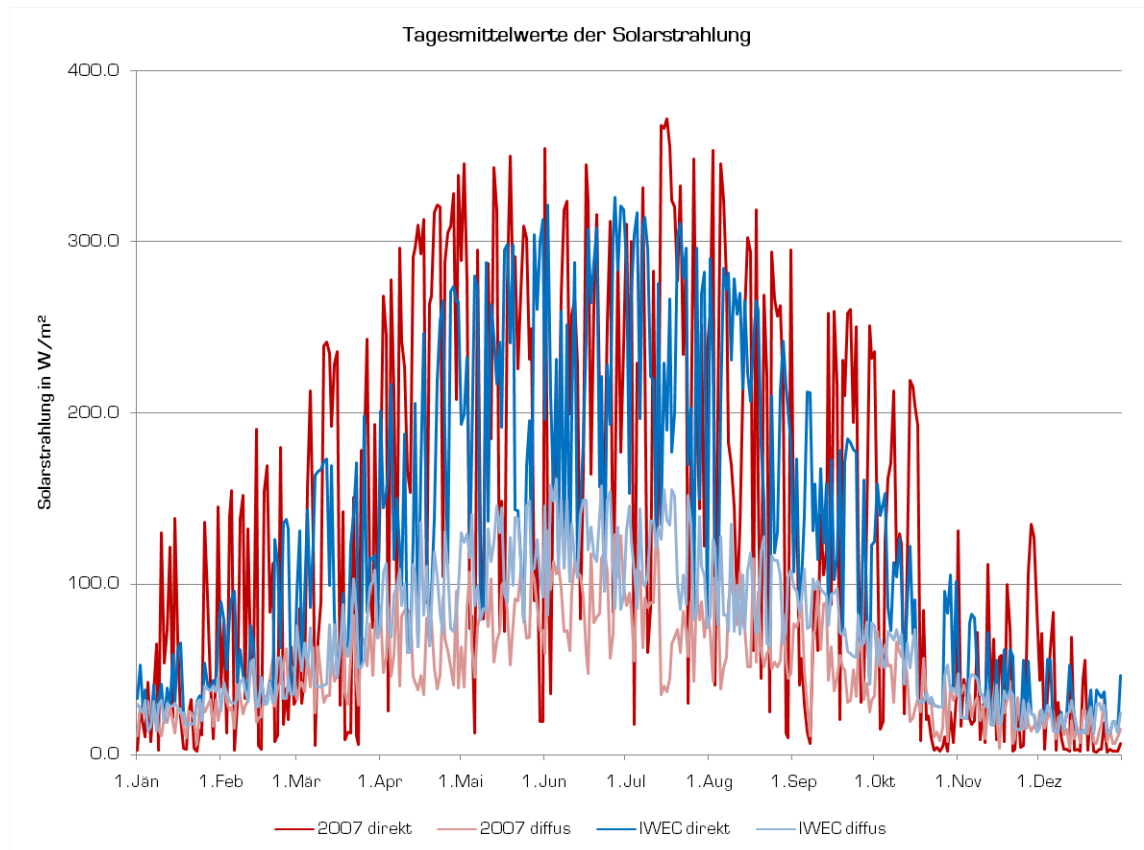


Abb. 9: Tagesmittelwerte der Solarstrahlung in W in Wien

Alle acht Modellvarianten wurden sowohl für Süd- als auch für Westorientierung der Fensterfassade mit drei Klimamodellen (IVEC-Wetterdatensatz, 2007er-Wetterdatensatz und periodisches Normklima) in BuildOpt\_VIE simuliert. Das führt zu 48 Simulationen.

#### 4.2.4. Nutzungen

Alle Modelle wurden sowohl mit als auch ohne innere Lasten simuliert. Innere Lasten sind Wärmequellen in der Wohnung infolge Personen und elektrischen Geräten. Die inneren Lasten wurden gewählt, wie im Anhang H der ÖNORM EN ISO 13791 [ON005] beschrieben.

h	Zone 1 Wohnküche W/m <sup>2</sup>	Zone 2 Gang W/m <sup>2</sup>	Zone 3 Bad W/m <sup>2</sup>	Zone 4 WC W/m <sup>2</sup>	Zone 5 und 6 beide Zimmer W/m <sup>2</sup>
1	2.5	0	0	0	5
2	2.5	0	0	0	5
3	2.5	0	0	0	5
4	2.5	0	0	0	5
5	2.5	0	0	0	5
6	2.5	0	0	0	5
7	5.5	0	3	0	2
8	5.5	0	3	0	2
9	4.0	0	3	0	2
10	4.0	0	1	0	0
11	8.5	0	1	0	0
12	10.0	0	1	0	0
13	12.5	0	1	0	0
14	12.5	0	1	0	0
15	5.5	0	1	0	0
16	3.0	0	1	0	0
17	3.0	0	1	0	0
18	15.0	0	1	0	0
19	15.0	0	3	0	0
20	15.0	0	3	0	0
21	12.5	0	3	0	0
22	7.5	0	3	0	2
23	2.5	0	0	0	5
24	2.5	0	0	0	5

Tab. 31: Wärmestromdichte je m<sup>2</sup> Fußbodenfläche

Die Wärmestromdichte  $q$  ist der pro Flächeneinheit transportierte Wärmestrom aus Strahlung und Konvektion. In der Tabelle 31 sind die Werte für die Wärmestromdichte in W/m<sup>2</sup> aus der ÖNORM EN ISO 13791 [ON005] an die Modellwohnung angepasst. Multipliziert man diese Wärmestromdichten mit den Nettogrundflächen der Modellwohnung, so erhält man den in Abbildung 10 dargestellten Tagesverlauf der inneren Lasten.



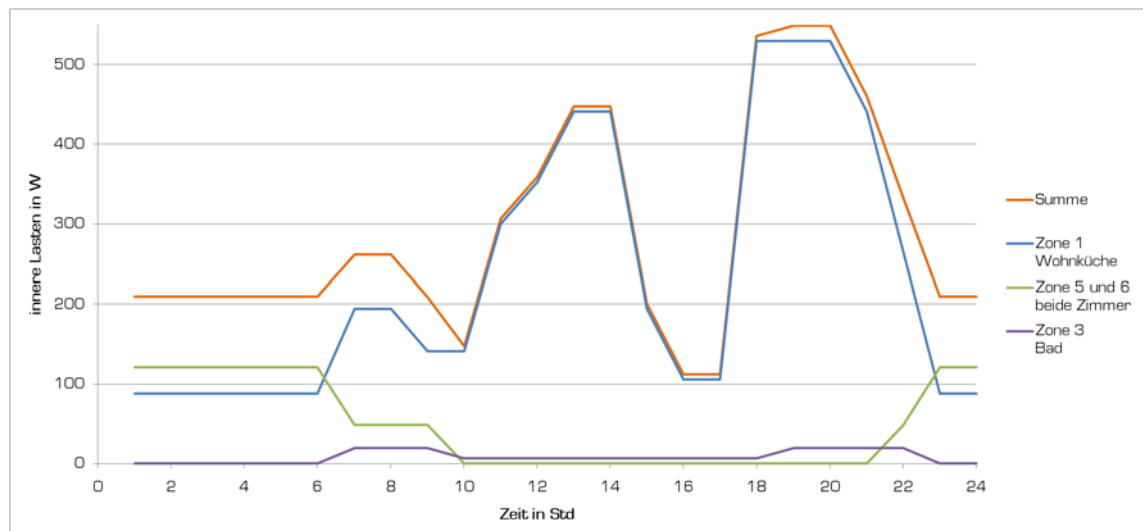


Abb. 10: Innere Lasten in W

Für die rund  $77\text{m}^2$  große Modellwohnung errechnen sich auf diesem Weg  $6967\text{Wh}/\text{Tag}$  und daraus ein Jahresenergieverbrauch von  $2543\text{kWh}$ . Bezogen auf die Fläche der Wohnung erhält man eine durchschnittliche Leistung von  $3.75\text{W}/\text{m}^2$ . Dieser Wert entspricht genau der ÖNORM B 8110-5 [ON007a] für die inneren Lasten für Wohnnutzung im Heizfall. Die  $3.75\text{W}/\text{m}^2$  sind also auch bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs anzusetzen.

Jedes der bisher beschriebenen 48 Simulationsszenarien wurde sowohl unter Berücksichtigung innerer Lasten als auch ohne Berücksichtigung innerer Lasten untersucht. So erhält man 96 verschiedene Simulationsanordnungen.

#### 4.2.5. Sonnenschutz

Der Sonnenschutz wurde variiert von  $z=0$  (voll verschattet) bis  $z=1$  (keine Verschattung). Sobald  $z<1$  ist, aktiviert sich der Sonnenschutz entweder, wenn die operative Temperatur im Innenraum  $22^\circ\text{C}$  übersteigt, oder wenn die solare Strahlung auf der Fensterfläche  $1\text{W}/\text{m}^2$  übersteigt. Der Sonnenschutz wird für jede Zone separat gesteuert.

Es wurden alle bisher beschriebenen 96 Untersuchungsanordnungen mit 11 bzw. 12 verschiedenen Verschattungsszenarien in BuildOpt\_VIE simuliert. Für jedes der acht Modelle aus Tabelle 4 ergeben sich also 132

bzw. 144 Simulationen, was in Summe zu 1128 Simulationsläufen von BuildOpt\_VIE führt.

#### 4.2.6. Lüftung

Bei jenen Modellen, bei denen die inneren Wärmequellen berücksichtigt werden, wurde in den Simulationen der hygienisch notwendige Luftwechsel auch tagsüber angenommen. Bei den Modellen ohne innere Wärmequellen war nächtliche Dauerlüftung eingestellt. Nächtliches Dauerlüften bedeutet, dass nur dann gelüftet wird, wenn die Außentemperatur niedriger als die operative Innentemperatur ist. Bei allen Modellen wurde aber ständig ein Infiltrationsluftwechsel berücksichtigt. Bei den Passivhausstandard-Bauten wurde ein Infiltrationsluftwechsel von 0.6/h gewählt, bei den 1990er-Standard-Bauten von 2/h.

Alternativ zur nächtlichen Dauerlüftung wurden die Modelle mit einer Lüftungsanlage simuliert. Diese Anlage verfügt im ersten Schritt nur über einen Ventilator zum Einbringen der Frischluft. Im nächsten Schritt wird ein Wärmetauscher mit einem Wirkungsgrad von 75% eingeführt. Die Simulationen erfolgten mit jeweils vier Luftwechselraten (0.4/h, 0.8/h, 1.2/h und 2.3/h). Alle diese vier Luftwechselraten beziehen sich auf die Wohnküche und wurden einmal nur nachts (Anlage läuft acht Stunden von 22 bis 6 Uhr = „nachtlüften“) und einmal ganztags (24 Stunden am Tag = „dauerlüften“) angesetzt. Das führt für jedes der Modelle zu 16 Simulationen.

Untersucht wurden alle Modelle immer nur mit jenem z-Wert, der den vereinfachten Nachweis der ÖNORM B 8110-3 [ON099] genau erfüllt. Werden acht Grundmodelle mit Süd- und Westorientierung der Fensterfassade, mit und ohne innere Lasten, mit drei Klimadatensätzen mit jeweils 16 Anlagenlüftungsvarianten untersucht, so führt das zu weiteren 1536 Simulationen.

#### 4.2.7. Außenliegender Sonnenschutz

Zuletzt wurden die vier Passivhausstandard-Grundmodelle mit Westorientierung der Fensterfassade mit sehr kleinen z-Werten ( $z=0.17$ ) untersucht. Die z-Werte von 0.17 würden bei den g-Werten der Passivstandardfenster einer Außenjalousie entsprechen und wurden für alle Fenster gleich angesetzt. Untersucht wurde sowohl Fensterlüftung (nächtliche Dauerlüftung) als auch eine Lüftung über die zuvor beschriebene Lüftungsanlage.

Für die ersten vier Modelle (= alle Passivhausstandard-Modelle) mit Westorientierung, mit allen drei Klimamodellen, jeweils mit und ohne innere Lasten, einmal mit nächtlicher Dauerlüftung und 16mal mit Anlagenlüftung führt das zu weiteren 408 Simulationen.

#### 4.2.8. Zusammenfassung der Untersuchungsvarianten

Insgesamt wurden also 3072 BuildOpt\_VIE-Simulationen ausgewertet.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse

Zuerst wurde für die Wohnküche aller acht Grundmodelle der vereinfachte Nachweis nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] sowohl für Westen und als auch für Süden geführt. Die Luftwechselzahl wurde wie in der Norm angegeben mit 1.5/h gewählt. Das Nettovolumen der Wohnküche ist für alle Bauweisen gleich  $77.6\text{m}^3$ . Der stündliche Luftvolumenstrom  $V_L$  errechnet sich damit zu  $116.4\text{m}^3/\text{h}$ . Die Immissionsfläche und der daraus resultierende immissionsflächenbezogene stündliche Luftvolumenstrom sowie die immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse sind für jedes der acht Modelle eigens zu errechnen und variieren in Abhängigkeit vom z-Wert (Tabelle 32 bzw. 34).

Zone 1 Wohnküche	Immissionsfläche	Fensterfläche	Glasflächenanteil	Gesamtenergiedurchlassgrad	Neigungs- und Orientierungsfaktor	Abminderungsfaktor für Abschattung	Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom	Stündlicher Luftvolumenstrom	Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse	Speicherwirksame Masse
	$A_I$	$A_{AL}$	$f_G$	$g$	$Z_{ON}$	$z$	$V_{L,s}$	$V_L$	$m_{w,I}$	$m_w$
	$\text{m}^2$	$\text{m}^2$					$\text{m}^3/\text{hm}^2$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{kg}/\text{m}^2$	$\text{kg}$
1. Passivhausstandard Leichtbau kleine Fenster	1.64	4.6	0.70	0.452	1.13	1	71.0	116.4	1 969	3 229
2. Passivhausstandard Leichtbau große Fenster	2.39	6.6	0.71	0.452	1.13	1	48.7	116.4	1 324	3 164
3. Passivhausstandard Massivbau kleine Fenster	1.64	4.6	0.70	0.452	1.13	1	71.0	116.4	18 680	30 626
4. Passivhausstandard Massivbau große Fenster	2.39	6.6	0.71	0.452	1.13	1	48.7	116.4	12 556	30 014
5. 1990er-Standard Leichtbau kleine Fenster	2.19	4.6	0.70	0.605	1.13	1	53.0	116.4	1 457	3 198
6. 1990er-Standard Leichtbau große Fenster	3.20	6.6	0.71	0.605	1.13	1	36.4	116.4	980	3 137
7. 1990er-Standard Massivbau kleine Fenster	2.19	4.6	0.70	0.605	1.13	1	53.0	116.4	13 947	30 606
8. 1990er-Standard Massivbau große Fenster	3.20	6.6	0.71	0.605	1.13	1	36.4	116.4	9 375	29 996

Tab. 32: Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (Westen)

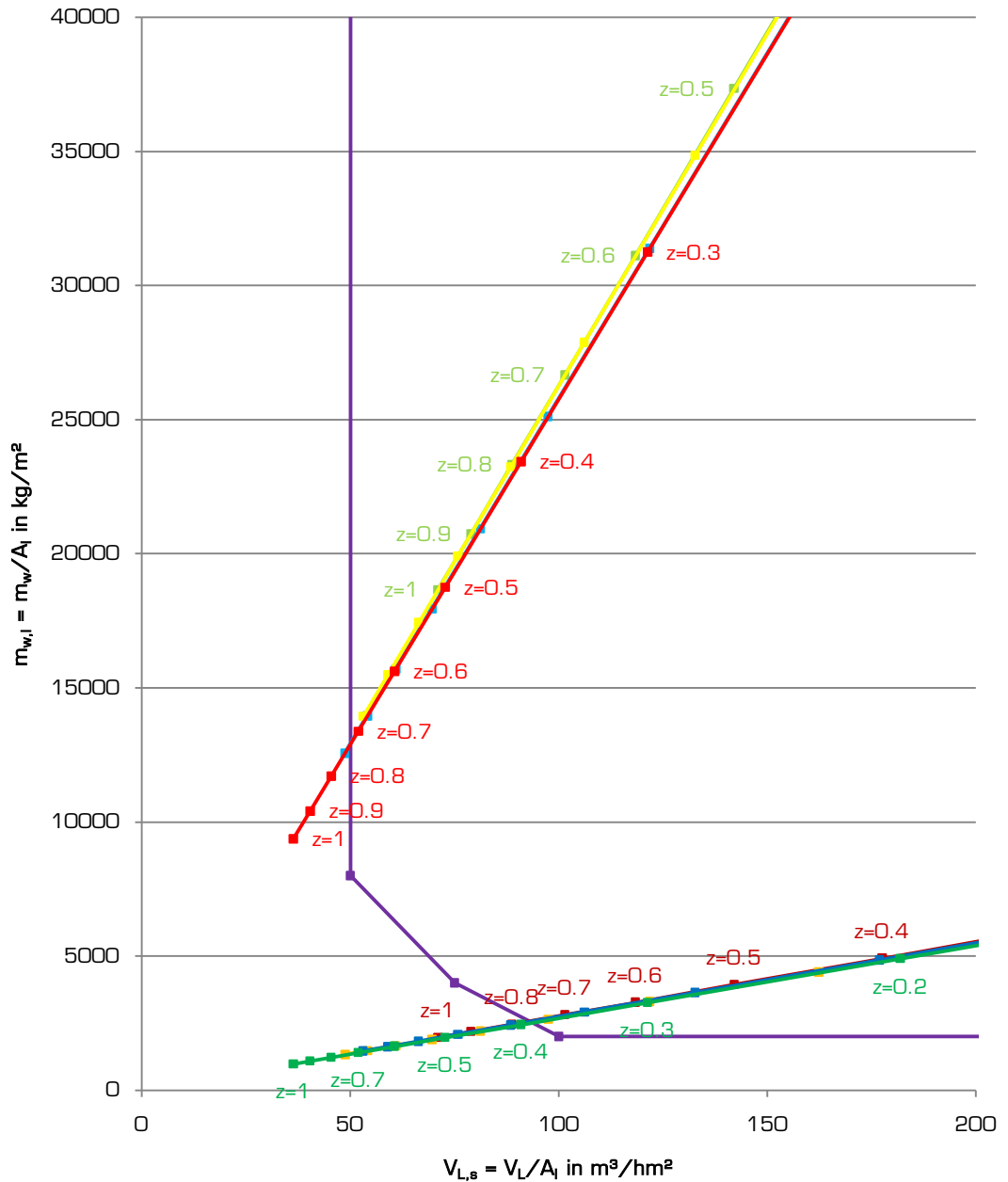
Trägt man nun die ermittelten Werte gemeinsam mit den mindestens erforderlichen Werten nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] in einem Diagramm auf, führt das zu Abbildung 11 bzw. 12. Für jede Bauweise und für jedes Modell entsteht eine Gerade, die von links unten ( $z=1$ ) nach rechts oben ( $z=0$ ) verläuft. Rechts vom Schnittpunkt mit der violetten Linie (Abbildung 11 bzw. 12) ist der vereinfachte Nachweis laut Norm erfüllt. Aus diesen Diagrammen kann nun jener  $z$ -Wert ermittelt werden, mit dem der vereinfachte Norm-Nachweis genau erfüllt wird (Tabelle 33 bzw. 35).

Zone 1 Wohnküche	$V_{L,s,vorh}$ (für $z=1$ )	$V_{L,s,erf}$	$m_{w,l,vorh}$ (für $z=1$ )	$m_{w,l,erf}$	$A_{l,vorh}$ (für $z=1$ )	$A_{l,erf}$	$z_{erf}$
	$m^3/hm^2$	$m^3/hm^2$	$kg/m^2$	$kg/m^2$	$m^2$	$m^2$	
1. Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster			1969.5	2574.8	1.64	1.25	0.76
2. Passivhausstandard, Leichtbau, große Fenster			1323.7	2536.1	2.39	1.25	0.52
3. Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster	71.0	50.0			1.64	2.33	1.42
4. Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster	48.7	50.0			2.39	2.33	0.97
5. 1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster			1457.3	2556.4	2.19	1.25	0.57
6. 1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster			980.5	2519.9	3.20	1.24	0.39
7. 1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster	53.0	50.0			2.19	2.33	1.06
8. 1990er-Standard, Massivbau, große Fenster	36.4	50.0			3.20	2.33	0.73

Tab. 33: Erforderlicher Abminderungsfaktor  $z$  (Westen)

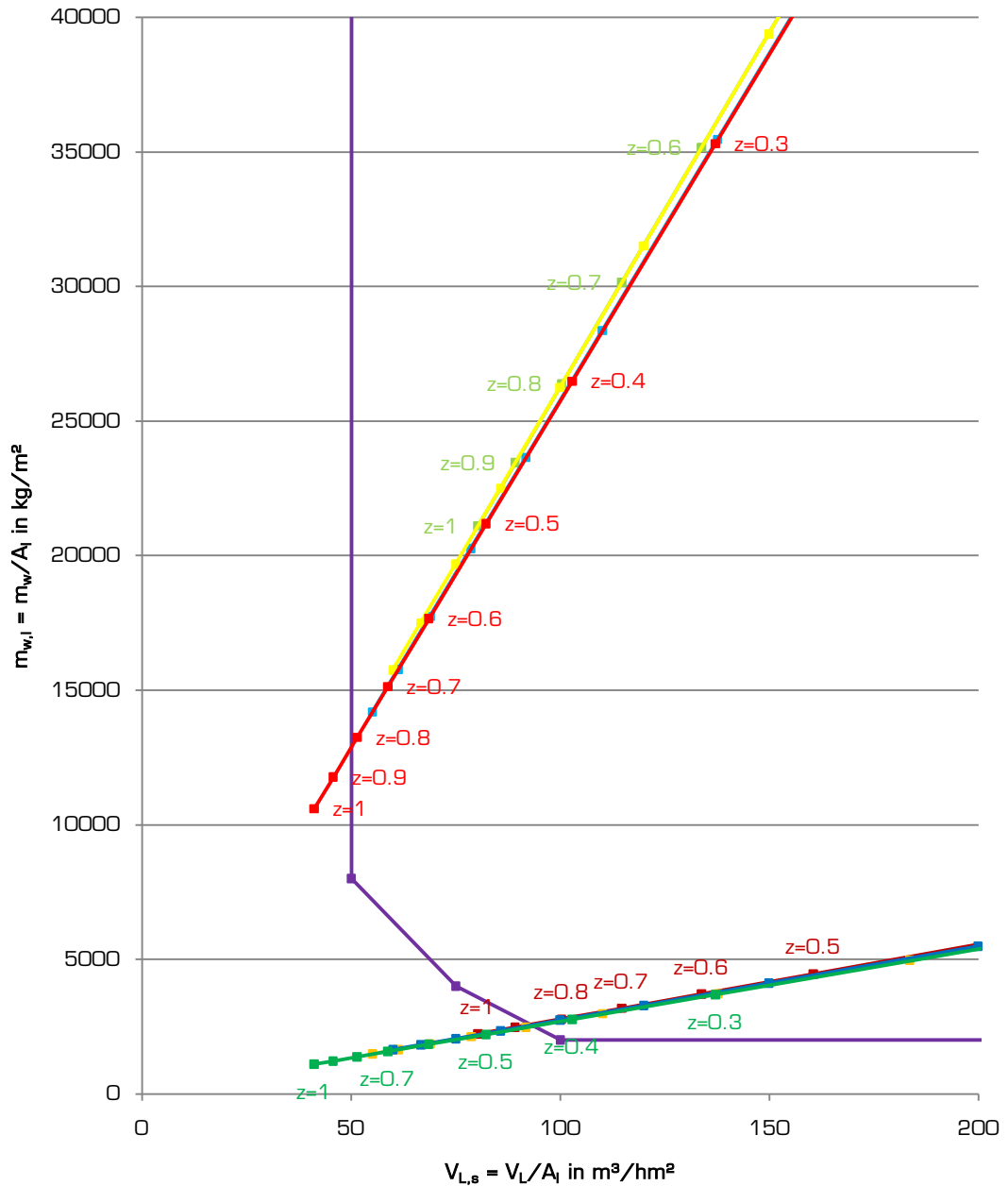
Die speicherwirksame Masse zwischen zwei gleichen Bauweisen mit unterschiedlicher Fenstergröße unterscheidet sich nur gering. Die Differenz ergibt sich aus der Tatsache, dass bei kleinerer Fensterfläche die speicherwirksame Masse aufgrund der größeren Außenwandfläche etwas größer ist, da die Außenwand eine höhere speicherwirksame Masse als die Fenster hat.

Zu beachten ist, dass auch die Massivbauten (zumindest jene mit großer Fensterfläche) eine Abschattung brauchen, um den in der Norm geforderten immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom von  $50m^3/hm^2$  einhalten zu können.



- Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (ÖNORM B 8110-3 [ON099])
- Modell 1: Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster
- Modell 2: Passivhausstandard, Leichtbau, große Fenster
- Modell 3: Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster
- Modell 4: Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster
- Modell 5: 1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster
- Modell 6: 1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster
- Modell 7: 1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster
- Modell 8: 1990er-Standard, Massivbau, große Fenster

Abb. 11: Vereinfachter Nachweis, Wohnküche (Westen)



- Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (ÖNORM B 8110-3 [ON099])
- Modell 1: Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster
- Modell 2: Passivhausstandard, Leichtbau, große Fenster
- Modell 3: Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster
- Modell 4: Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster
- Modell 5: 1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster
- Modell 6: 1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster
- Modell 7: 1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster
- Modell 8: 1990er-Standard, Massivbau, große Fenster

Abb. 12: Vereinfachter Nachweis, Wohnküche (Süden)

Zone 1 Wohnküche	Immissionsfläche	Fensterfläche	Glasflächenanteil	Gesamtenergiedurchlassgrad	Neigungs- und Orientierungsfaktor	Abminderungsfaktor für Abschattung	Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom	Stündlicher Luftvolumenstrom	Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse	Speicherwirksame Masse
	$A_I$	$A_{AL}$	$f_G$	$g$	$Z_{ON}$	$z$	$V_{L,s}$	$V_L$	$m_{w,I}$	$m_w$
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>					m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	kg/m <sup>2</sup>	kg
1. Passivhausstandard Leichtbau kleine Fenster	1.45	4.6	0.70	0.452	1	1	80.2	116.4	2 225	3 229
2. Passivhausstandard Leichtbau große Fenster	2.12	6.6	0.71	0.452	1	1	55.0	116.4	1 496	3 164
3. Passivhausstandard Massivbau kleine Fenster	1.45	4.6	0.70	0.452	1	1	80.2	116.4	21 108	30 626
4. Passivhausstandard Massivbau große Fenster	2.12	6.6	0.71	0.452	1	1	55.0	116.4	14 189	30 014
5. 1990er-Standard Leichtbau kleine Fenster	1.94	4.6	0.70	0.605	1	1	59.9	116.4	1 647	3 198
6. 1990er-Standard Leichtbau große Fenster	2.83	6.6	0.71	0.605	1	1	41.1	116.4	1 108	3 137
7. 1990er-Standard Massivbau kleine Fenster	1.94	4.6	0.70	0.605	1	1	59.9	116.4	15 760	30 606
8. 1990er-Standard Massivbau große Fenster	2.83	6.6	0.71	0.605	1	1	41.1	116.4	10 594	29 996

Tab. 34: Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (Süden)

Zone 1 Wohnküche	$V_{L,s,vorh}$ (für $z=1$ )	$V_{L,s,erf}$	$m_{w,I,vorh}$ (für $z=1$ )	$m_{w,I,erf}$	$A_{I,vorh}$ (für $z=1$ )	$A_{I,erf}$	$z_{erf}$
	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	
1. Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster			2225.5	2574.8	1.45	1.25	0.86
2. Passivhausstandard, Leichtbau, große Fenster			1495.7	2536.1	2.12	1.25	0.59
3. Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster	80.2	50.0			1.45	2.33	1.60
4. Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster	55.0	50.0			2.12	2.33	1.10
5. 1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster			1646.7	2556.4	1.94	1.25	0.64
6. 1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster			1107.9	2519.9	2.83	1.24	0.44
7. 1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster	59.9	50.0			1.94	2.33	1.20
8. 1990er-Standard, Massivbau, große Fenster	41.1	50.0			2.83	2.33	0.82

Tab. 35: Erforderlicher Abminderungsfaktor  $z$  (Süden)

Für die Zone 1 (Wohnküche) wurde nur die speicherwirksame Masse der Wohnküche herangezogen. Eine Interaktion mit der Zone 2 (Gang) wurde nicht berücksichtigt.



Im nächsten Schritt wurde derselbe Nachweis für die anderen beiden Räume geführt, die über Fenster verfügen (Zone 5, Zimmer hinten und Zone 6, Zimmer vorne). Je nach Orientierung und Raum ergeben sich verschiedene erforderliche z-Werte, die in der Tabelle 36 dargestellt sind.

Modell	Zone 1 Wohnküche	Zone 5 Zimmer hinten	Zone 6 Zimmer vorne
		mit Anteil aus Gang, Bad und WC	mit Anteil aus Gang, Bad und WC
Südorientierung der Fensterfassade			
1. Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster	0.86	1.37	1.44
2. Passivhausstandard, Leichtbau, große Fenster	0.59	0.34	0.35
3. Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster	1.60	2.21	2.35
4. Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster	1.10	0.57	0.58
5. 1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster	0.64	1.02	1.07
6. 1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster	0.44	0.26	0.26
7. 1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster	1.20	1.65	1.76
8. 1990er-Standard, Massivbau, große Fenster	0.82	0.43	0.44
Westorientierung der Fensterfassade			
1. Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster	0.76	1.21	1.27
2. Passivhausstandard, Leichtbau, große Fenster	0.52	0.31	0.31
3. Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster	1.42	1.96	2.08
4. Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster	0.97	0.50	0.52
5. 1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster	0.57	0.90	0.95
6. 1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster	0.39	0.23	0.23
7. 1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster	1.06	1.46	1.55
8. 1990er-Standard, Massivbau, große Fenster	0.73	0.38	0.39

Tab. 36: Mindest erforderliche z-Werte aller Zonen

In allen jenen Fällen, in denen sich rechnerisch z-Werte größer als 1 ergeben, wurde in den Simulationen  $z=1$  eingestellt.

Für die Zonen 5 und 6 wurde angenommen, dass die Zonen 2, 3 und 4 (Gang, Bad und WC) thermisch ankoppelbar sind. Die halben speicherwirksamen Massen von Bad und WC wurden dem Gang hinzugezählt. Anschließend wurde diese Summe halbiert und zur Hälfte der speicherwirksamen Masse der Zone 5 und zur anderen Hälfte der speicherwirksamen Masse der Zone 6 angerechnet.

## 5.2. Maximale Temperaturen bezogen auf z

Mit BuildOpt\_VIE wurden Temperaturen ermittelt, die sich in der Wohnküche der Modellwohnung tatsächlich einstellen, wenn die Fensterfassade nach Westen orientiert ist. Für jedes der acht Modellen wurde eine Simulation mit dem periodischen Zustand (Norm-Außentemperaturverlauf und Norm-Bestrahlungsstärke) und Jahressimulationen (sowohl mit dem IWEC- als auch mit dem 2007er-Wetterdatensatz) durchgeführt. Die Verschattung der Fenster wurde von  $z=1$  bis  $z=0$  in Zehntelschritten abgestuft. Die Abfuhr der Wärme erfolgte durch nächtliche Dauerlüftung. Das bedeutet im hier angenommenen Idealfall, dass die Fenster immer dann geöffnet sind, wenn die Außentemperatur über der operativen Temperatur im Innenraum liegt.

Im Falle der Jahressimulationen stellt sich für jeden z-Wert im Laufe des Jahres eine maximale Temperatur ein. Da in dieser Arbeit die sommerliche Überwärmung untersucht wird, wurden aus den Jahressimulationen die maximalen Temperaturen abgelesen, die sich in den Monaten Juli und August eingestellt haben. Diese Einschränkung ist notwendig, da die Grundeinstellungen in BuildOpt\_VIE so sind, dass keine intelligente Nachtlüftung in der kalten Jahreszeit stattfindet. Vor allem für hohe Abschattungswerte sind die Innentemperaturen im Winter dann höher als im Sommer.

Die Maximaltemperatur aus Juli und August in der Wohnküche (Zone 1) ist in den folgenden Diagrammen (Abbildungen 13 bis 28) in Abhängigkeit des z-Wertes aufgetragen.

Für den periodischen Zustand wurde mit BuildOpt\_VIE der 196. Tag mit Norm-Außentemperaturverlauf und Norm-Bestrahlungsstärke solange wiederholt simuliert, bis die Veränderung zum Vortag minimal wurde. In die Diagramme (Abbildungen 13 bis 28) wurde für jeden z-Wert die maximale Temperatur in der Wohnküche (Zone 1) aus dem letzten Simulationstag eingetragen.

Bei 27°C ist mit einer strichlierten horizontalen Linie die Grenztemperatur  $t^*$  eingetragen, die nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] im Sommer von der empfundenen Raumtemperatur am Tag nicht überschritten werden darf. Die vertikale strichlierte Linie markiert jenen z-Wert mit dem diese Bedingung nach dem vereinfachten Nachweis (Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse) in der Wohnküche (Zone 1) genau erfüllt wird.

### 5.2.1. Westorientierung der Fensterfassade

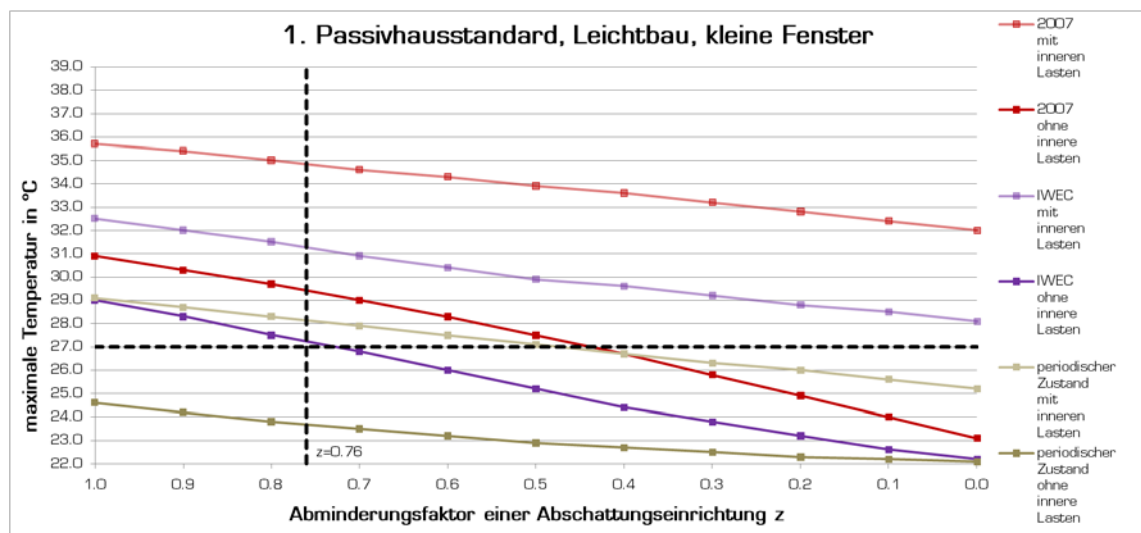


Abb. 13: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 1, Westen)

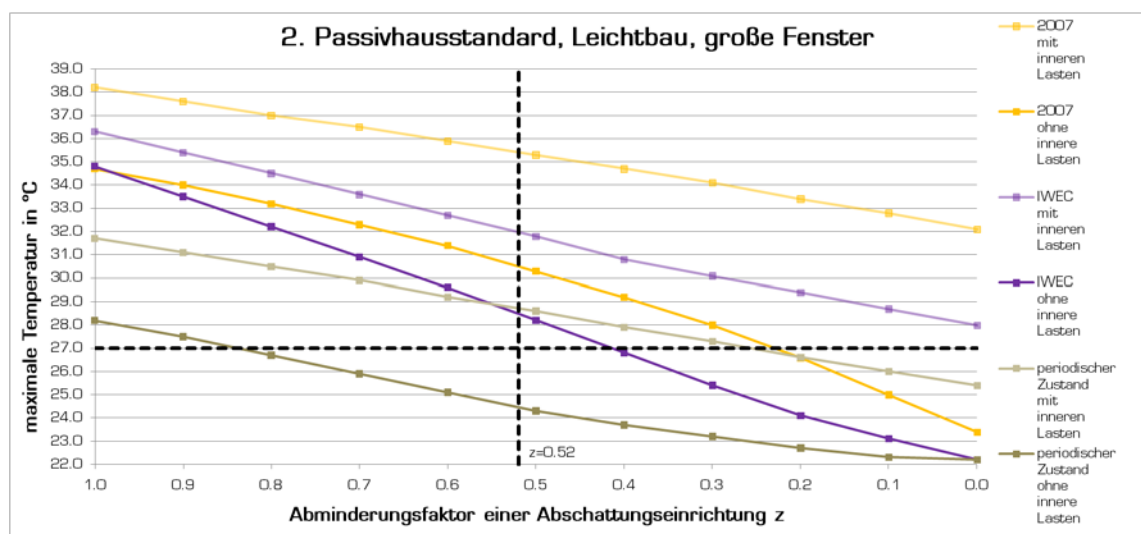


Abb. 14: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 2, Westen)

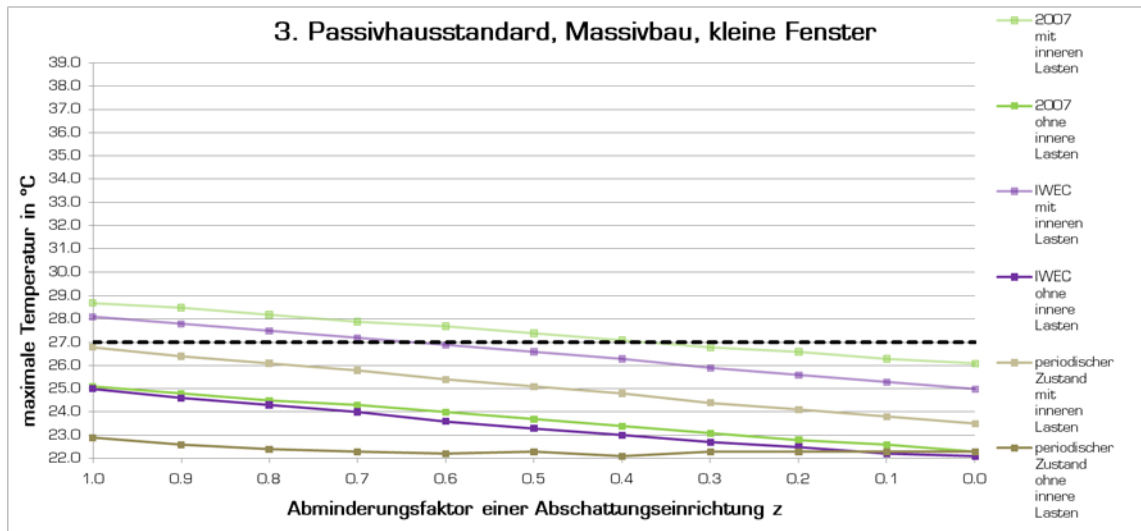


Abb. 15: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 3, Westen)

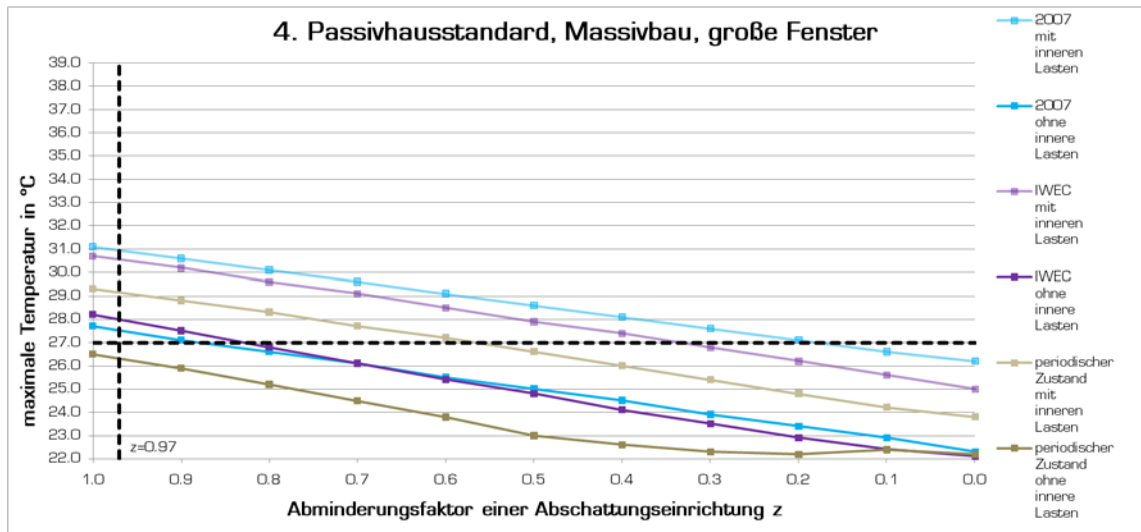


Abb. 16: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 4, Westen)

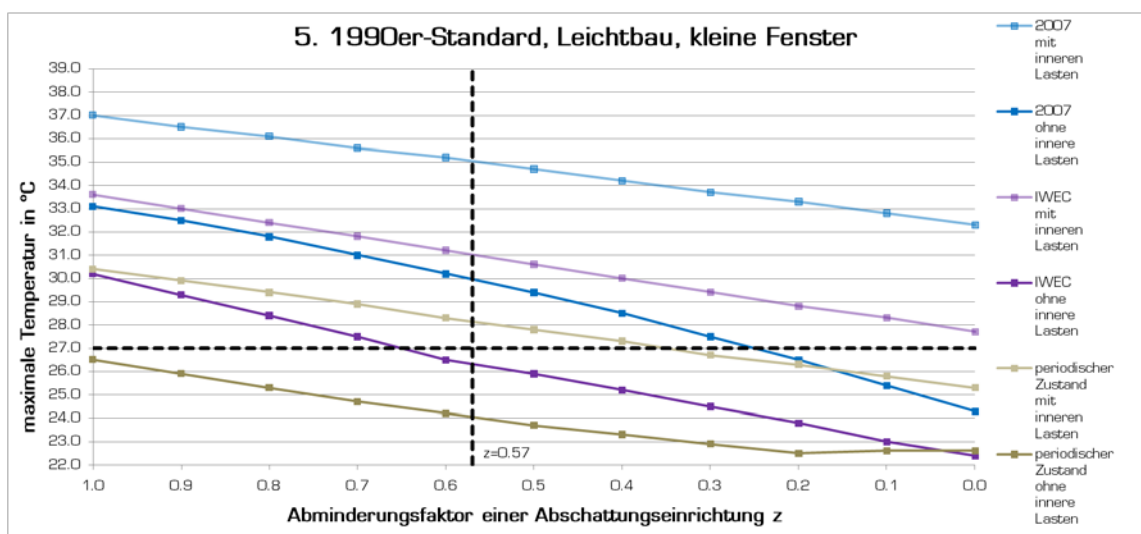


Abb. 17: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 5, Westen)

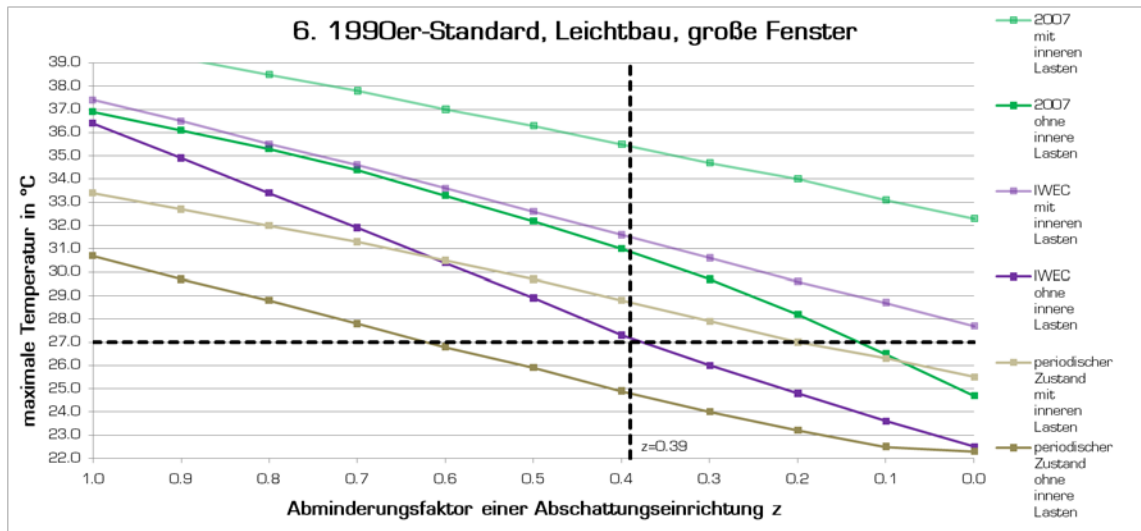


Abb. 18: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 6, Westen)

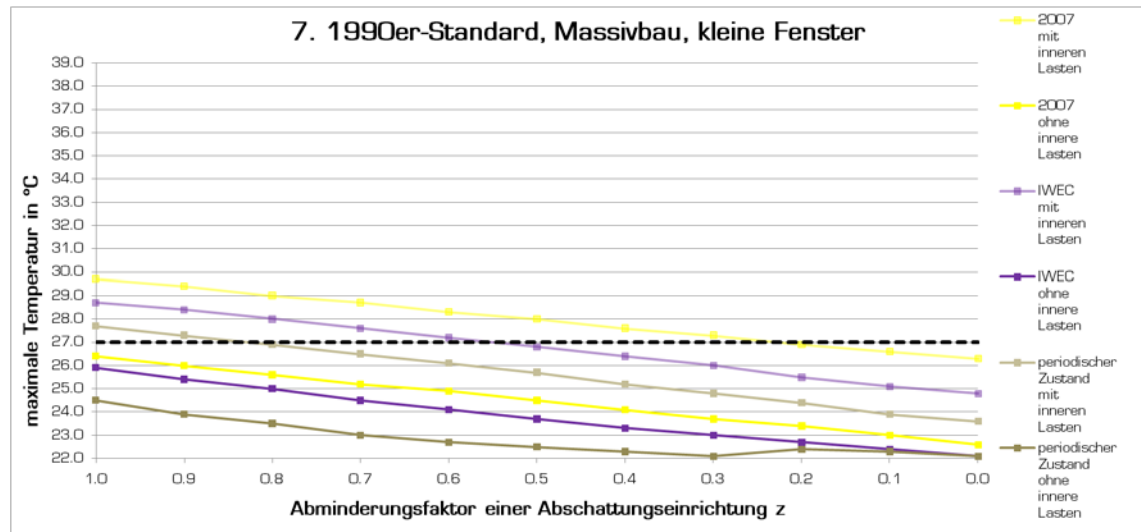


Abb. 19: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 7, Westen)

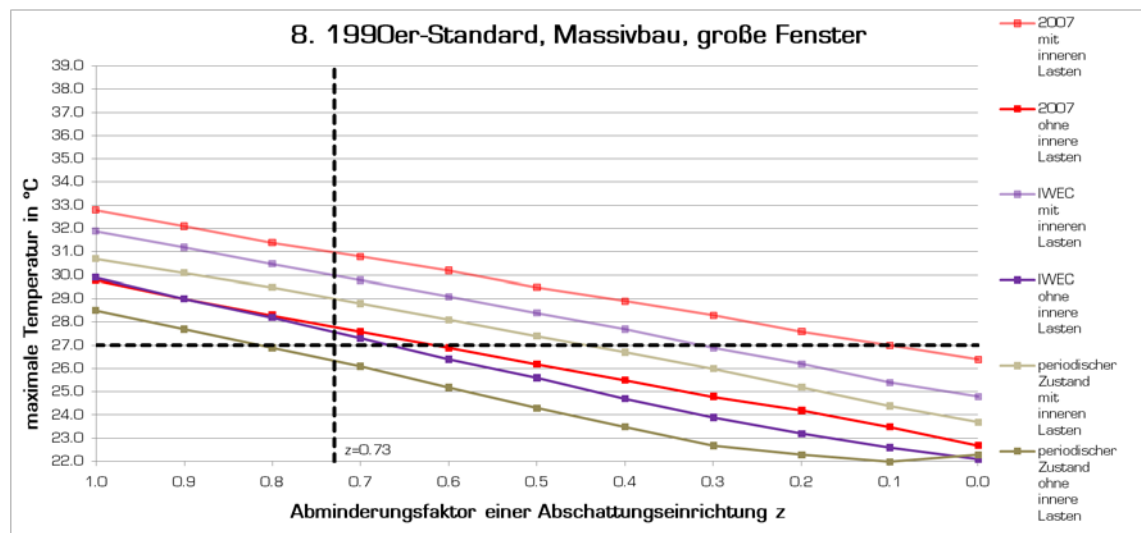


Abb. 20: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 8, Westen)

Für die periodische Simulation ohne innere Lasten bleibt die Temperatur für die mit dem vereinfachten Nachweis ermittelten z-Werte um bis zu 3K unter 27°C.

Mit den Wetterdaten des Hitzejahres 2007 (2007er-Wetterdatensatz) stellen sich in der Wohnküche (auch ohne Berücksichtigung der inneren Lasten) Maximaltemperaturen um bis zu 4K über 27°C ein.

Werden innere Lasten berücksichtigt, sind die 27°C nur mit sehr guten Abschattungseinrichtungen zu erreichen. In den Jahressimulationen sind die 27°C auch mit guten z-Werten nur für die schweren Bauweisen einzuhalten.

Generell liegen die maximalen Temperaturen bei den Massivbauten tiefer. Die maximalen Temperaturen liegen bei den Massivbauten für die unterschiedlichen Klimamodelle näher beisammen als bei den Leichtbauten. Das lässt den Schluss zu, dass die Massivbauten auf das Außenklima nicht so empfindlich reagieren wie die Leichtbauten.

### 5.2.2. Südorientierung der Fensterfassade

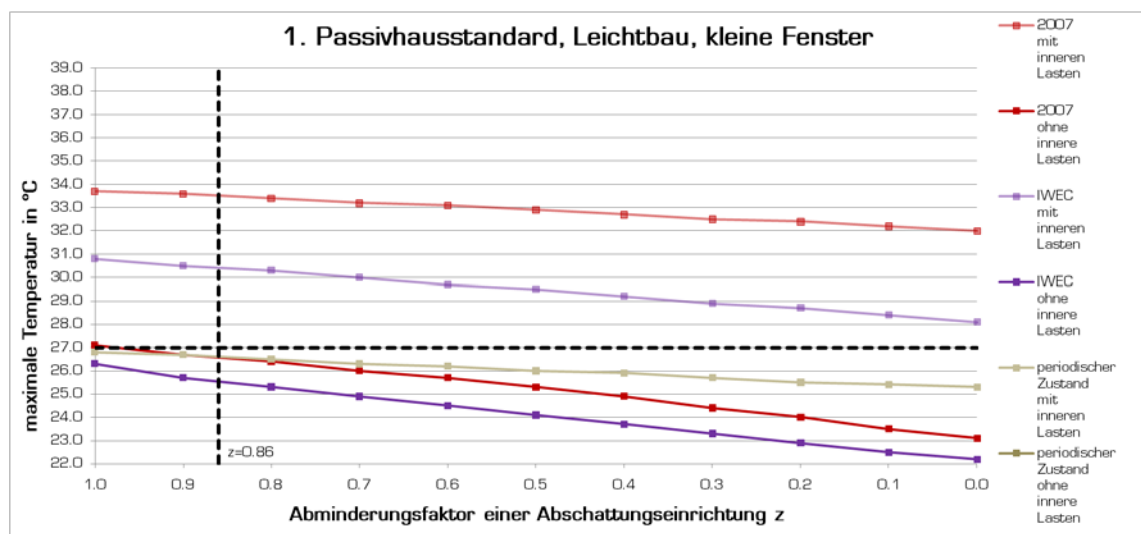


Abb. 21: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 1, Süden)

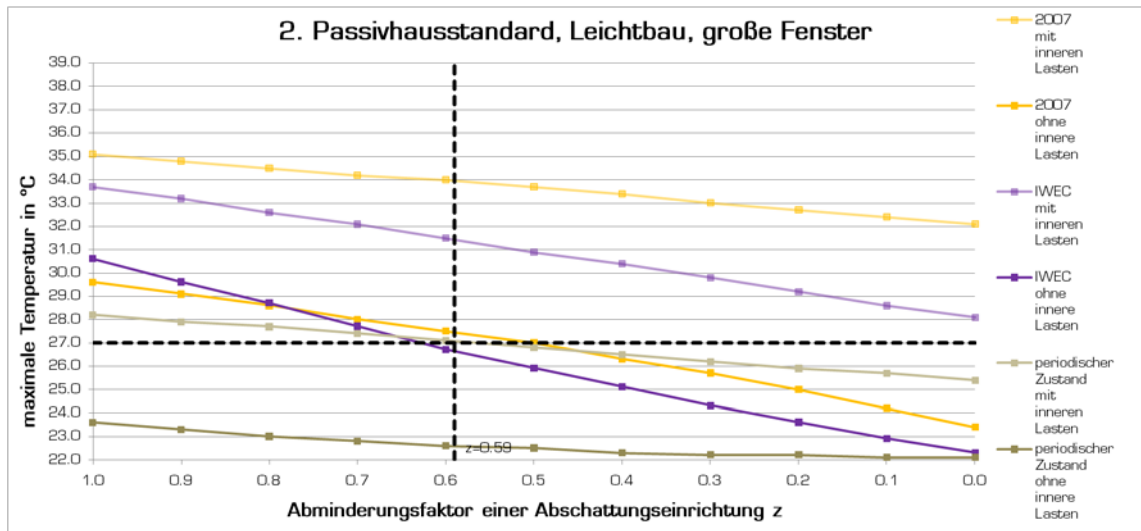


Abb. 22: Maximale Temperaturen bezogen auf  $z$  (Modell 2, Süden)

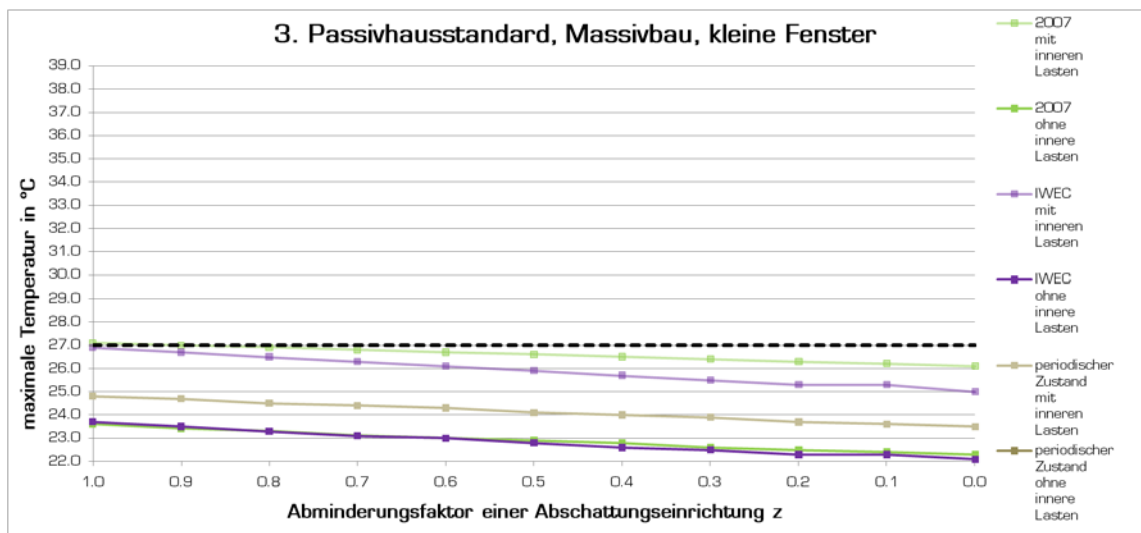


Abb. 23: Maximale Temperaturen bezogen auf  $z$  (Modell 3, Süden)

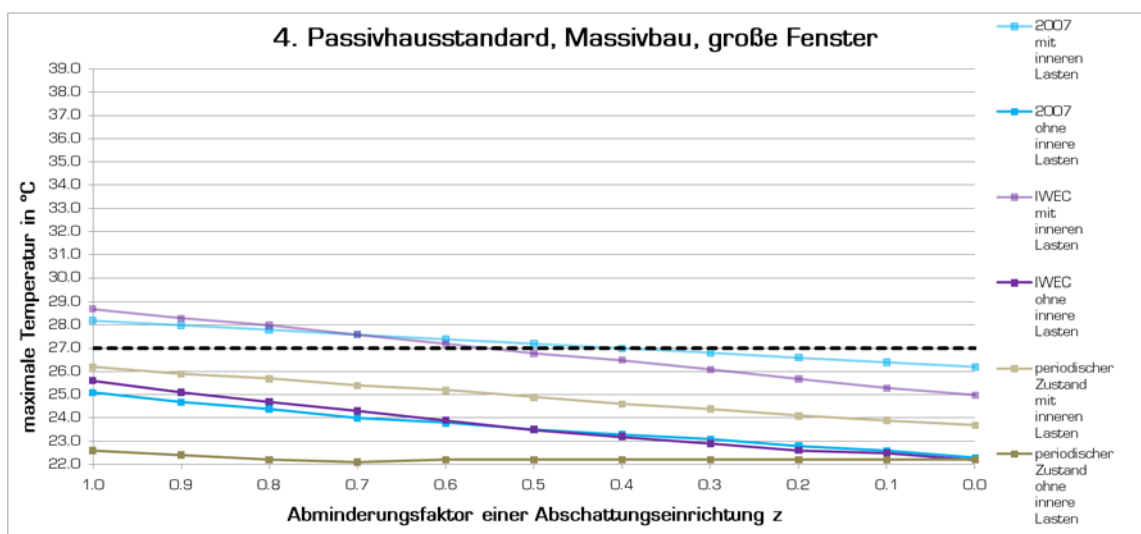


Abb. 24: Maximale Temperaturen bezogen auf  $z$  (Modell 4, Süden)

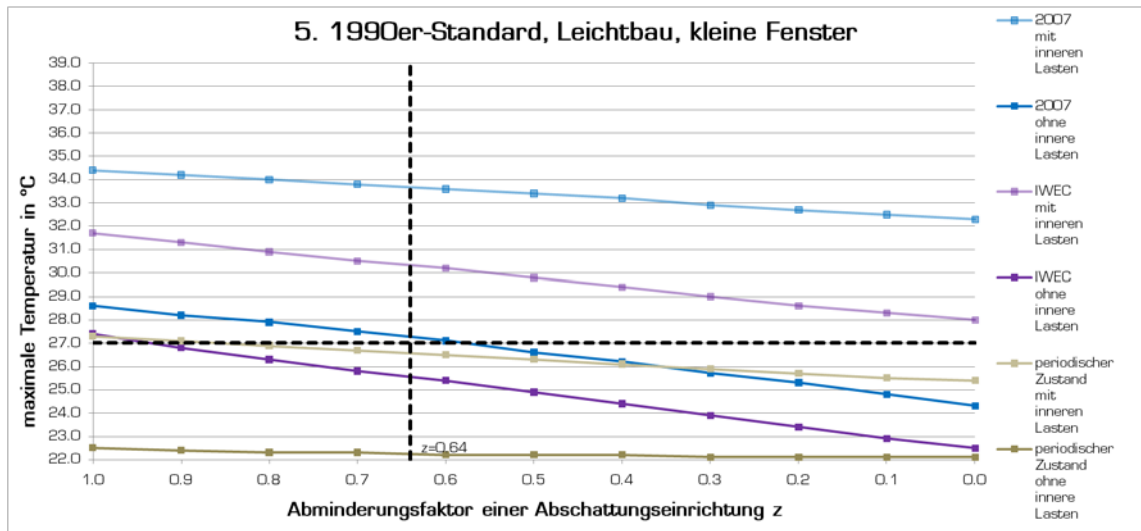


Abb. 25: Maximale Temperaturen bezogen auf  $z$  (Modell 5, Süden)

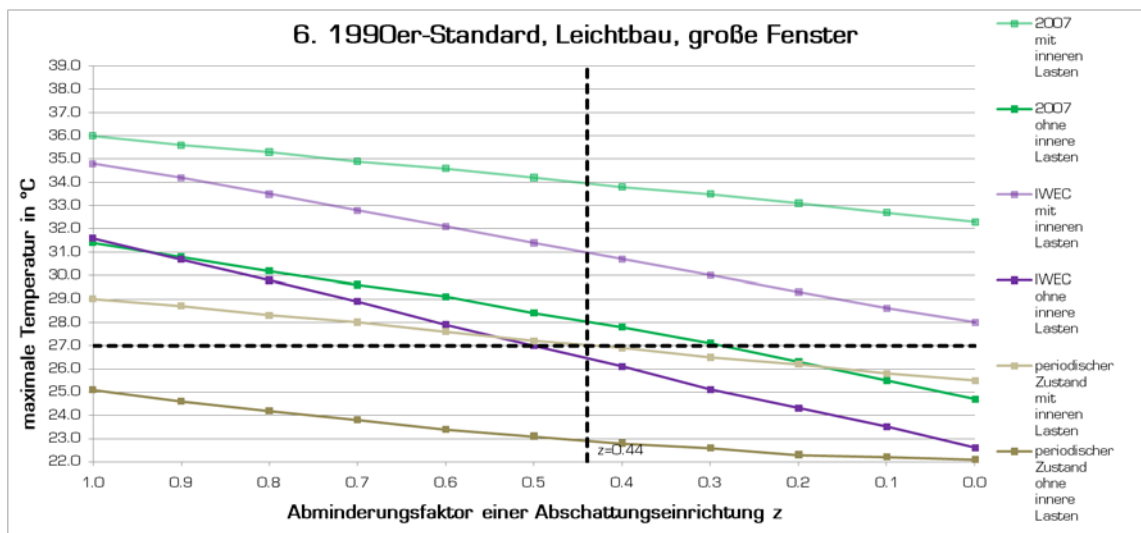


Abb. 26: Maximale Temperaturen bezogen auf  $z$  (Modell 6, Süden)

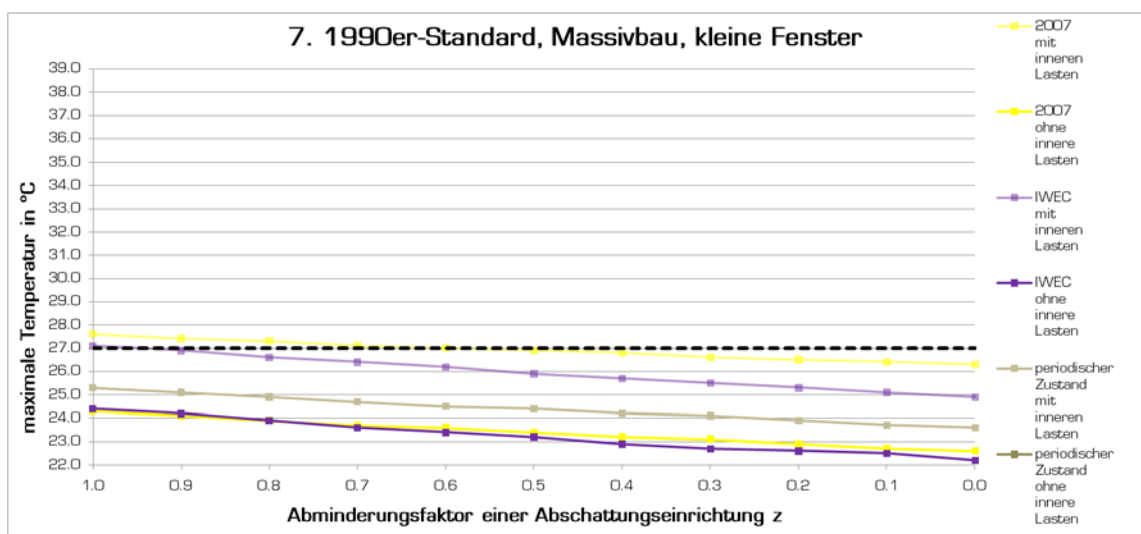


Abb. 27: Maximale Temperaturen bezogen auf  $z$  (Modell 7, Süden)



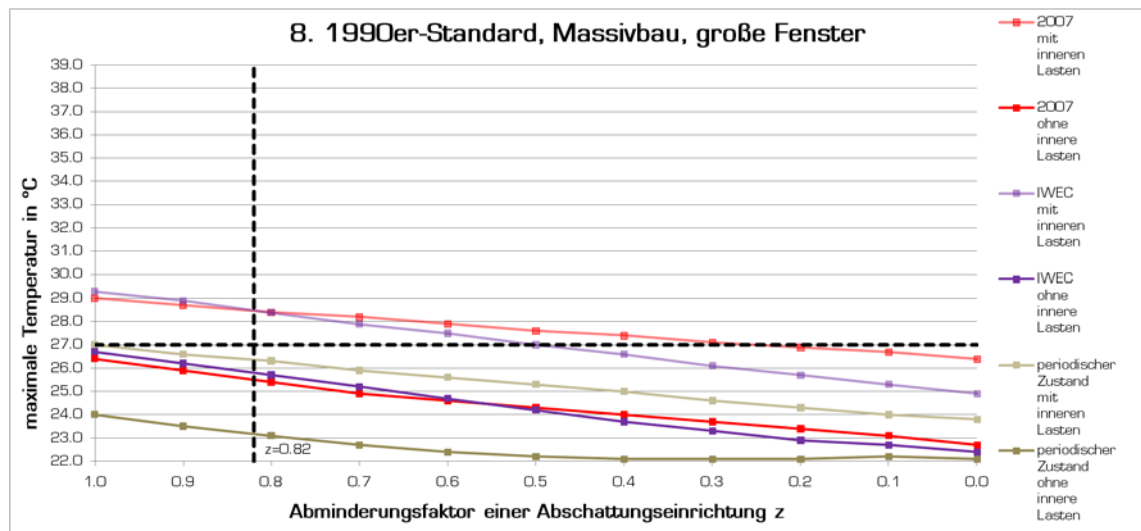


Abb. 28: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 8, Süden)

Für die Südorientierung bleibt die maximale Raumtemperatur ab dem erforderlichen z-Wert nach dem vereinfachten Nachweis für die Jahres-simulation ohne innere Lasten mit dem IWEC-Wetterdatensatz immer unter der Grenztemperatur von +27°C am Tag.

Unter Verwendung des periodisch anzusetzenden Norm-Außentempe-raturverlaufes ohne Berücksichtigung innerer Lasten bleiben die maxima-len Temperaturen weit unter 27°C. Bei Passivbauten mit kleinen Fenstern (Modell 1 und 3) sowie beim Modell 7 (1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster) bleiben die Temperaturen für alle z-Werte unter 22°C.

Wird die periodische Simulation mit inneren Lasten durchgeführt, so bleiben die maximalen Temperaturen (ab den erforderlichen z-Werten) für alle Modelle unter der Grenztemperatur.

Für Südorientierung der Fensterfassade wird ab dem mindestens erforderlichen z-Wert nach Norm auch für das Hitzejahr (2007er-Wetter-datensatz) ohne Berücksichtigung innerer Lasten die Grenztemperatur von 27°C für drei Leichtbauten (Modell 2, 5 und 6) um bis zu 1K über-schritten. Die Massivbauten bleiben unter der Grenztemperatur.

### 5.3. Jahressimulation, vereinfachtes Verfahren

#### 5.3.1. Ohne innere Lasten

Die folgenden beiden Abbildungen (Abbildungen 29 und 30) sind Zusammenfassungen des vorigen Kapitels und ein direkter Vergleich aller Modellvarianten. Die in den Diagrammen eingetragenen maximalen Temperaturen wurden unter der Voraussetzung der Normbedingungen (z-Wert laut vereinfachtem Nachweis) und unter Ansatz nächtlichen Dauerlüftens ermittelt. Der Unterschied zum vorigen Kapitel, in dem alle Fenster denselben z-Wert hatten, ist nur, dass in diesem direkten Vergleich alle Fenster genau jenen z-Wert haben, der nach vereinfachtem Nachweis für die jeweilige Zone erforderlich ist (siehe Tabelle 36).

Alle eingetragenen Temperaturwerte sind die Maxima aus den Monaten Juli und August.

#### Westen

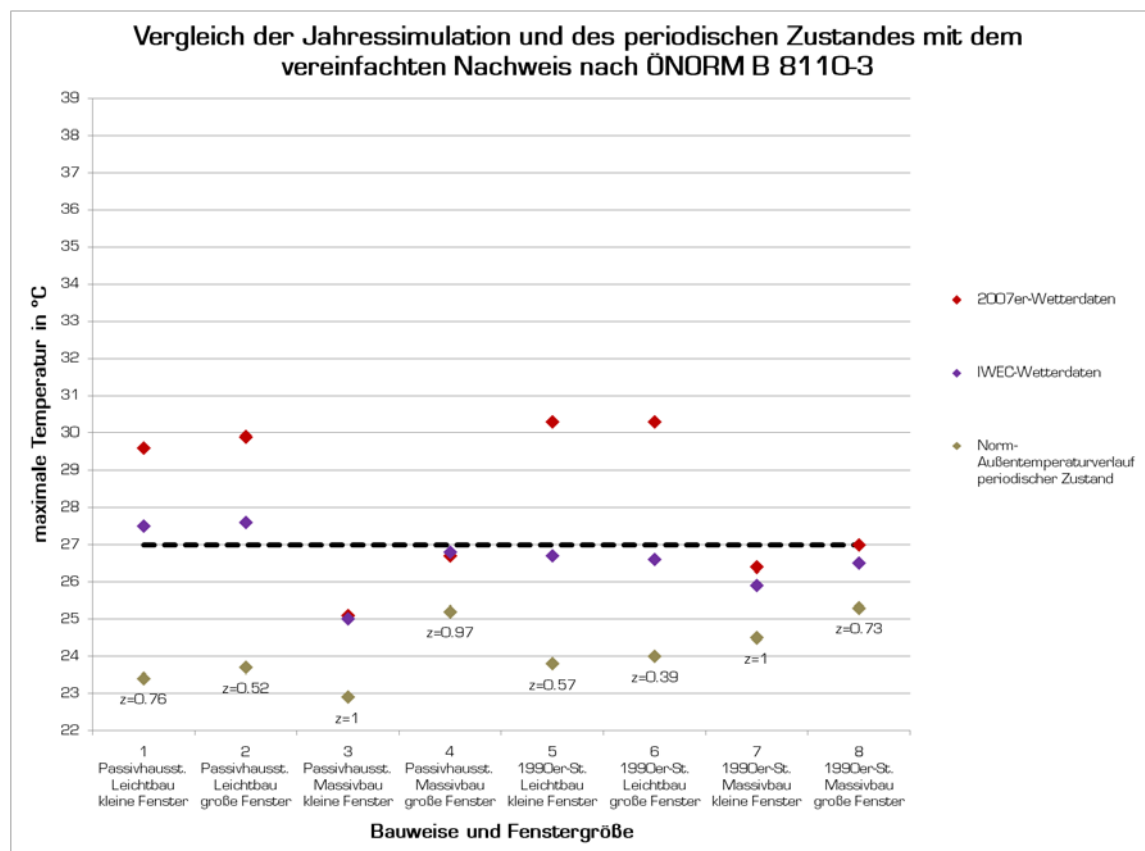


Abb. 29: Direkter Vergleich aller Varianten mit  $z_{\min}$  (oiL, Westen)

Die in der Grafik eingetragenen z-Werte beziehen sich auf die Zone 1 (Wohnküche). In den Zonen 5 und 6 waren in den Simulationen andere z-Werte eingestellt (siehe Tabelle 36).

In der Abbildung 29 ist zu erkennen, dass die Grenztemperatur unter Verwendung des IWEC-Wetterdatensatzes und für den periodischen Zustand zwar unterschiedlich weit, aber für fast alle Modelle (außer den Passivstandard-Leichtbauten) unterschritten wird.

Verwendet man in einer Jahressimulation den 2007er-Wetterdatensatz – das tatsächliche Klima aus dem relativ heißen Jahr 2007 – so kann die Grenztemperatur  $t^*$  nur in den Massivbauten eingehalten werden.

Für die beiden Modellvarianten 3 (Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster) und 7 (1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster) ist kein Sonnenschutz notwendig. Der vereinfachte Nachweis wäre also auch mit einem z-Wert größer als 1 erfüllt. Das erklärt die deutliche Unterschreitung der Grenztemperatur.

Die Modellvarianten 4 (Passivhausstandard, Massivbau, große Fenster) und 8 (1990er-Standard, Massivbau, große Fenster) würden die mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse auch mit größeren z-Werten erreichen, aber der erforderliche immissionsflächenbezogene stündliche Luftvolumenstrom von  $50\text{m}^3/\text{hm}^2$  wäre dann nicht mehr gewährleistet.

### Süden

Für die Südorientierung der Fensterfassade sind die Ergebnisse (Abbildung 30) ähnlich wie für die Westorientierung. Sowohl im periodischen Zustand als auch in der Jahressimulation mit dem IWEC-Wetterdatensatz werden die  $27^\circ\text{C}$  für alle Modelle ganz deutlich unterschritten.

Die maximalen Temperaturen liegen bei Südorientierung der Fensterfassade generell niedriger als bei Westorientierung der Fensterfassade.

In der periodischen Simulation bleiben alle Modelle (außer die Massivbauten mit großen Fenstern) unter 22°C.

Mit Verwendung des 2007er-Wetterdatensatzes überschreiten nur die 1990er-Leichtbauten die Grenztemperatur von 27°C.

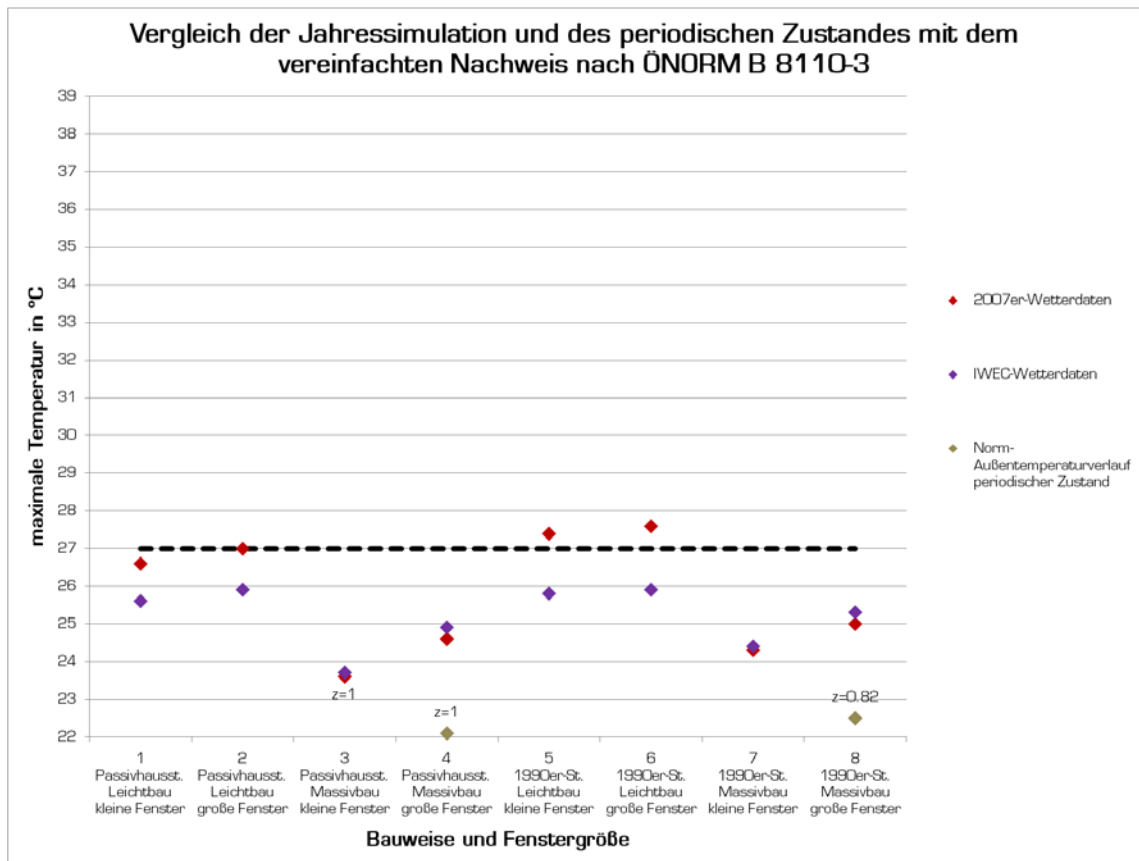


Abb. 30: Direkter Vergleich aller Varianten mit  $z_{\min}$  (oiL, Süden)

### Zusammenfassung

Der vereinfachte Nachweis nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] liefert z-Werte, mit denen die Grenztemperatur für verschiedene Modelle unterschiedlich weit unterschritten wird.

In den Leichtbauten kann in einem Hitzejahr mit den z-Werten aus dem vereinfachten Nachweis die Grenztemperatur nicht eingehalten werden.

### 5.3.2. Mit inneren Lasten

Im Folgenden (Abbildungen 31 und 32) wurden alle acht Modelle unter Berücksichtigung innerer Lasten verglichen. Die z-Werte sind auch wie in den vorigen beiden Abbildungen die mindestens erforderlichen z-Werte nach dem vereinfachten Verfahren nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] und für jede Zone unterschiedlich.

#### Westen

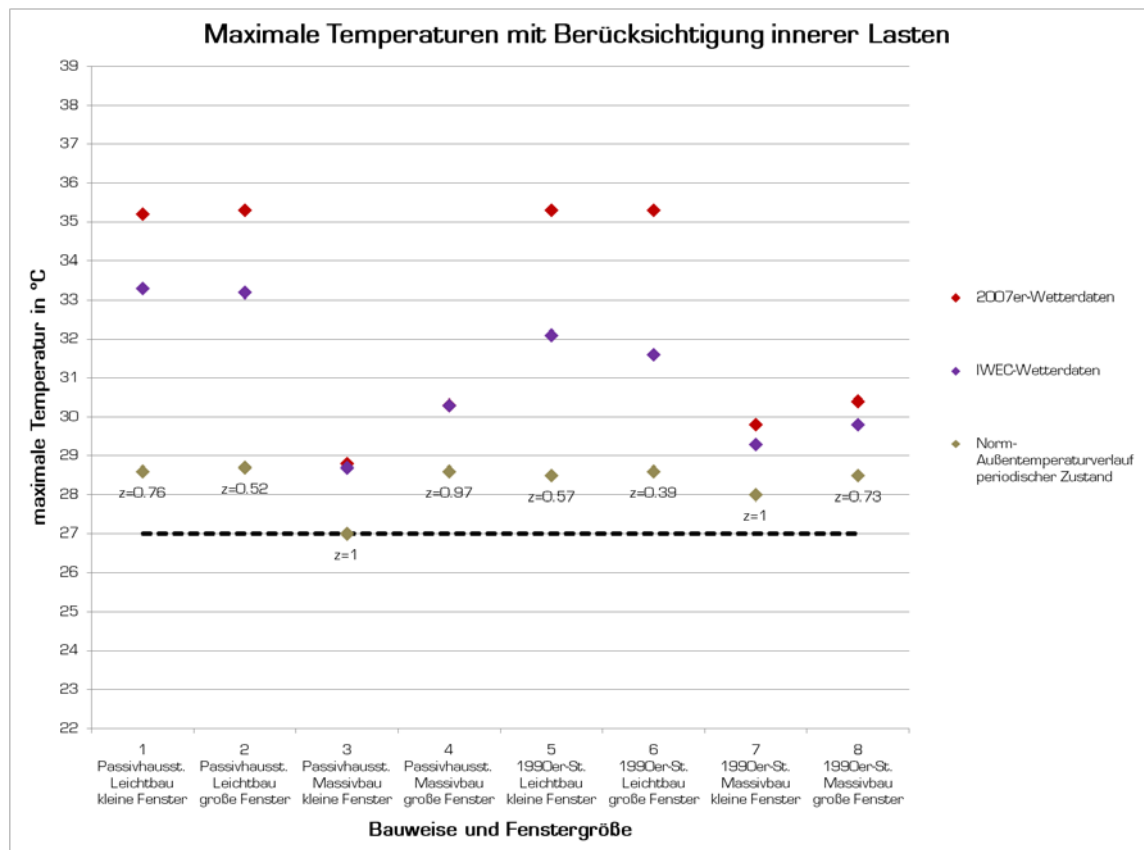


Abb. 31: Direkter Vergleich aller Varianten mit  $z_{\min}$  (miL, Westen)

Mit inneren Lasten ist für beide Orientierungen der Fensterfassaden die Grenztemperatur in den Jahressimulationen nicht einzuhalten. Unter 27°C bleibt bei Westorientierung der Fensterfassade nur der Passivhausstandard, Massivbau mit kleinen Fenstern in der periodischen Simulation. Bei Südorientierung liegen für die periodischen Simulationen alle Modelle unter 27°C.

Werden die Jahressimulationen mit dem 2007er-Wetterdatensatz gemacht, stellen sich für die Leichtbauten Temperaturen über 35°C im Westen und über 33°C im Süden ein.

## Süden

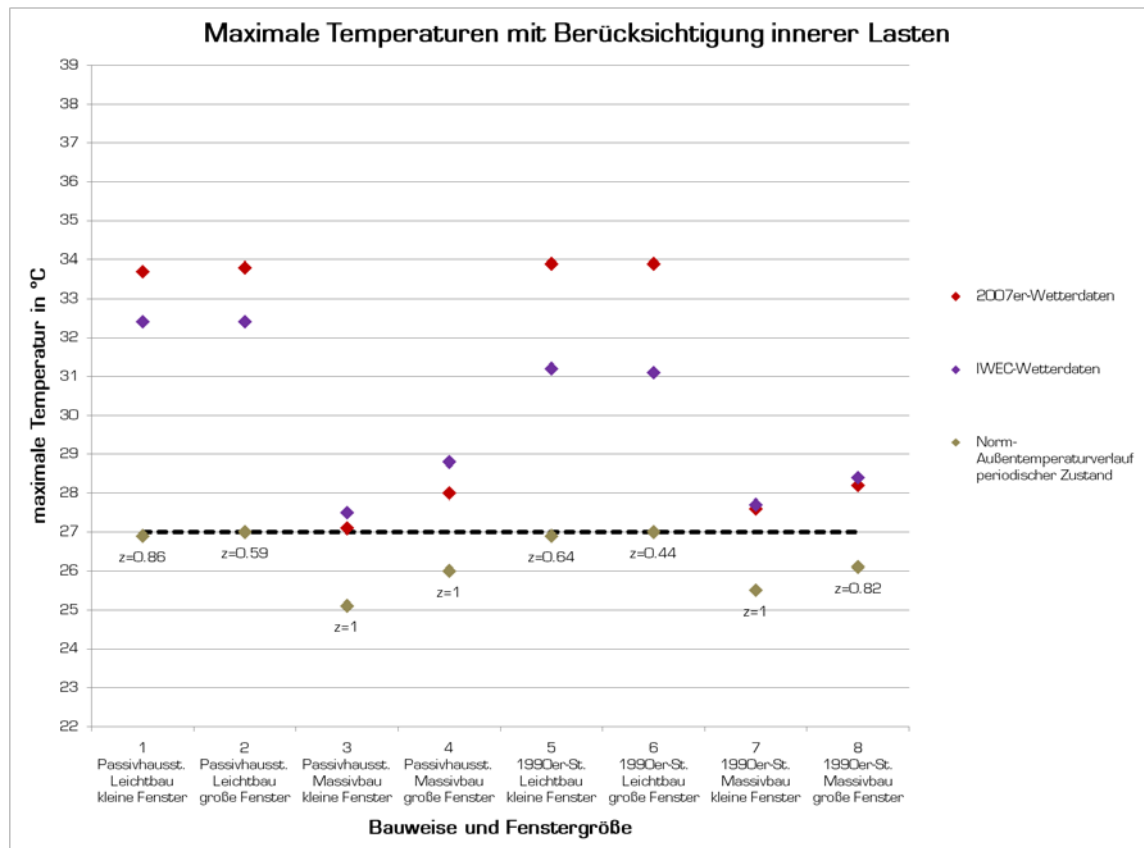


Abb. 32: Direkter Vergleich aller Varianten mit  $z_{\min}$  (miL, Süden)

### 5.3.3. Zusammenfassung

Der Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] berücksichtigt nur bautechnische Eigenschaften des Raumes wie Fensterflächen, Art der Fenster, Orientierung und Neigung der Fenster, Abschattungsvorrichtungen, Konstruktion der Umschließungsbauteile, Speichermasse der Einrichtung, Volumen des Raumes und Anzahl der Fassaden mit Lüftungsöffnungen. Ob der Nachweis der mindesterforderlichen speicherwirksamen Masse mit dem Nachweis über den Tagesverlauf der Raumtemperatur übereinstimmt, hängt vom Außentemperaturverlauf und von der solaren Bestrahlungsstärke ab, die dem Rechenprogramm zugrundegelegt werden.

Bei der Anwendung des vereinfachten Nachweises wird jener Abminderungsfaktor für Abschattungsvorrichtungen  $z$  ermittelt, mit dem der

Nachweis genau erfüllt wird. Der vereinfachte Nachweis ist daher ein Ja/Nein-Kriterium.

Wird die Simulation mit dem ermittelten z-Wert aus dem Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse und mit dem Norm-Außentemperaturverlauf durchgeführt, so wird die Grenztemperatur von 27°C von den verschiedenen Modellen unterschiedlich weit unterschritten. Voraussetzung ist aber, dass in den thermischen Simulationen keine zusätzlichen inneren Wärmequellen berücksichtigt werden. Der vereinfachte Nachweis liefert also für verschiedene konstruktive Kriterien z-Werte, die unterschiedlich weit auf der sicheren Seite liegen. Hier ist festzustellen, dass der Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse keineswegs den genauen z-Wert liefert, mit dem die 27°C im betrachteten Raum exakt erreicht werden.

Auch unter Verwendung des IWEC-Wetterdatensatzes in der Jahressimulation und ohne Berücksichtigung innerer Wärmequellen kann die Grenztemperatur von +27°C am Tage ab dem erforderlichen Abminderungsfaktor einer Abschattungseinrichtung (laut Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse) außer für die Passivstandard-Leichtbauten bei Westorientierung der Fensterfassade immer unterschritten werden.

Wird der Simulation aber das reale Klima des Jahres 2007 (2007er-Wetterdatensatz), also eines überdurchschnittlich heißen Jahres, zugrundegelegt, kann die Grenztemperatur mit dem ermittelten Abminderungsfaktor für eine Abschattungseinrichtung z (aus dem Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse) auch ohne Berücksichtigung innerer Lasten bei Westorientierung in allen Leichtbauten und bei Südorientierung in der 1990er-Leichtbauten nicht eingehalten werden.

In der Abbildung 31 (Westorientierung der Fensterfassaden, mit inneren Lasten) ist zu erkennen, dass in der periodischen Simulation alle Modelle für den erforderlichen z-Wert nach ÖNORM gleiche maximale

Temperaturen von etwa 28.5°C liefern. Unterschritten werden die 28.5°C nur von jenen Modellen, die auch mit einem höheren z-Wert die ÖNORM noch erfüllen würden. Die Verteilung dieser maximalen Temperaturen (Abbildung 31) lässt den Rückschluss zu, dass beim Verfassen der ÖNORM B 8110-3 [ON099] und bei der Auslegung des Nachweises über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse zwar innere Lasten berücksichtigt wurden, dass diese aber geringer angesetzt waren als in dieser Arbeit.



#### 5.4. Vergleich Fensterlüftung mit Anlagenlüftung

Der Fensterluftwechsel erfolgte (wie schon in den Versuchen davor) mit nächtlicher Dauerlüftung. Die Luftwechselzahl ist in diesem Fall von der Differenz zwischen der operativen Temperatur im Innenraum und der Außentemperatur abhängig. Je höher also die Innentemperatur (etwa bei Auftreten innerer Lasten) desto größer wird der Luftwechsel, weil die Temperaturdifferenz zur Außenluft steigt.

Die Wohnküche wurde mit Anlagenluftwechselraten von 0.8/h, 1.2/h, 1.6/h und 2.3/h untersucht. Jeder dieser Luftwechsel wurde einmal nur nachts (Anlage läuft 8 Stunden von 22 bis 6 Uhr = „nachtlüften“) und einmal ganztags (24 Stunden am Tag = „dauerlüften“) angesetzt. Weiters wurde jede dieser acht Variationen mit und ohne Wärmrückgewinnungsanlage (=WRG) simuliert.

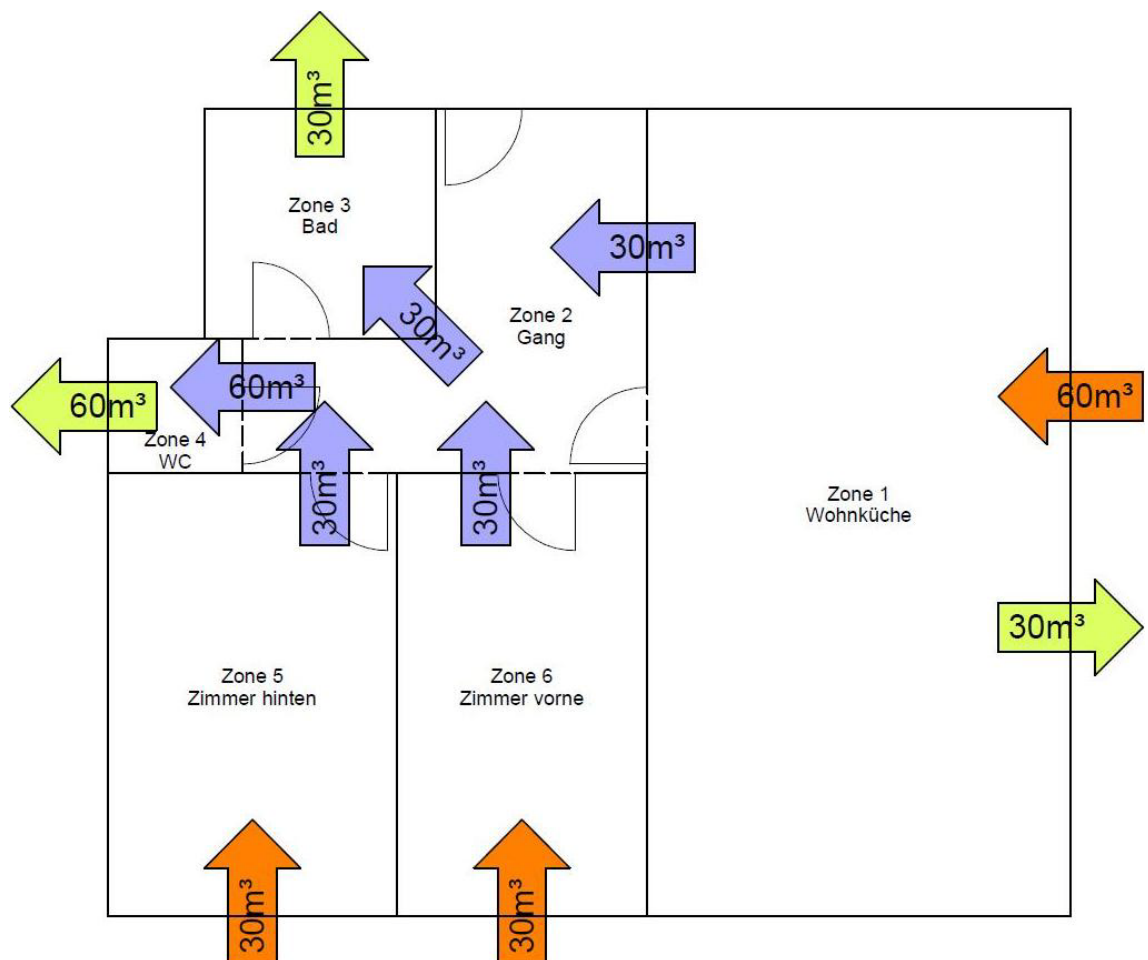


Abb. 33: Lüftungsanlage

Im Fall der Lüftungsanlage mit einem 0.8-fachen Luftwechsel verteilen sich die Volumenströme wie in Abbildung 33 dargestellt. Von der Lüftungsanlage werden  $60\text{m}^3$  Zuluft in die Wohnküche und je  $30\text{m}^3$  in beide Zimmer eingebracht (orange Pfeile). Für die Wohnküche mit einem Nettovolumen von  $77.6\text{m}^3$  entspricht das einer Luftwechselzahl von 0.8/h. Die Abluft ( $30\text{m}^3$  aus der Wohnküche,  $30\text{m}^3$  aus dem Bad und  $60\text{m}^3$  aus dem WC) wird von der Lüftungsanlage aus der Wohnung abgesaugt und strömt durch den Wärmetauscher ins Freie (grüne Pfeile). Um die Kontinuitätsgleichung einzuhalten müssen in BuildOpt\_VIE auch jene Luftvolumenströme definiert werden die in der Wohnung stattfinden (blaue Pfeile). Die höheren Luftwechselraten (1.2/h, 1.6/h und 2.3/h) sind Vielfache der in Abbildung 33 eingetragenen Luftvolumenströme.

In den Fällen in denen innere Wärmequellen berücksichtigt wurden, wurde der hygienische Luftwechsel am Tag sichergestellt.

Die in den folgenden Diagrammen eingetragenen Temperaturen, sind die Maxima, die sich im Juli bzw. August in der Wohnküche einstellen.

Die in den Abbildungen eingetragenen z-Werte sind jene, die laut vereinfachtem Nachweis aus der ÖNORM B 8110-3 [ON099] für die Wohnküche erforderlich sind. Für die Zonen 5 und 6 wurden andere z-Werte im Simulationsprogramm eingegeben (siehe Tabelle 36).

#### 5.4.1. 2007er-Wetterdatensatz

Die Abbildungen 34 bis 37 stammen aus Jahressimulationen mit den Wetterdaten des Hitzejahres 2007.

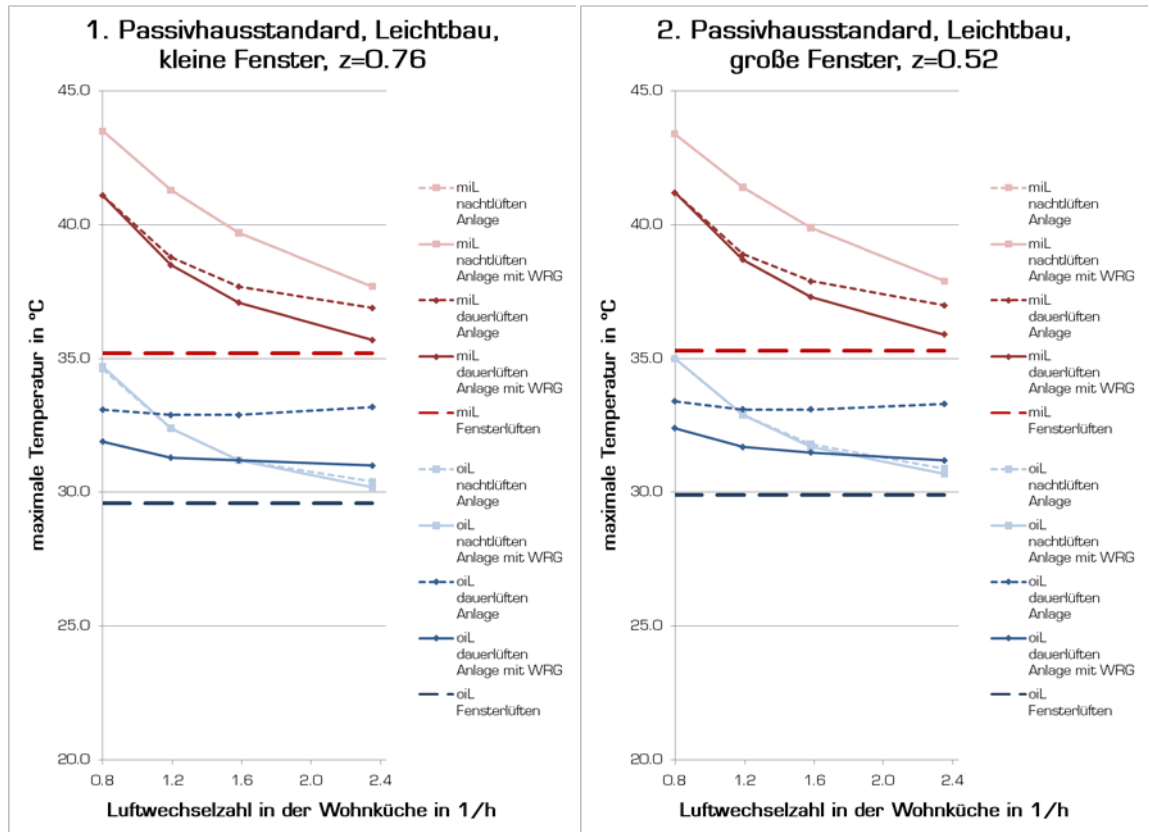


Abb. 34: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, z<sub>min</sub>, 2007, Westen)

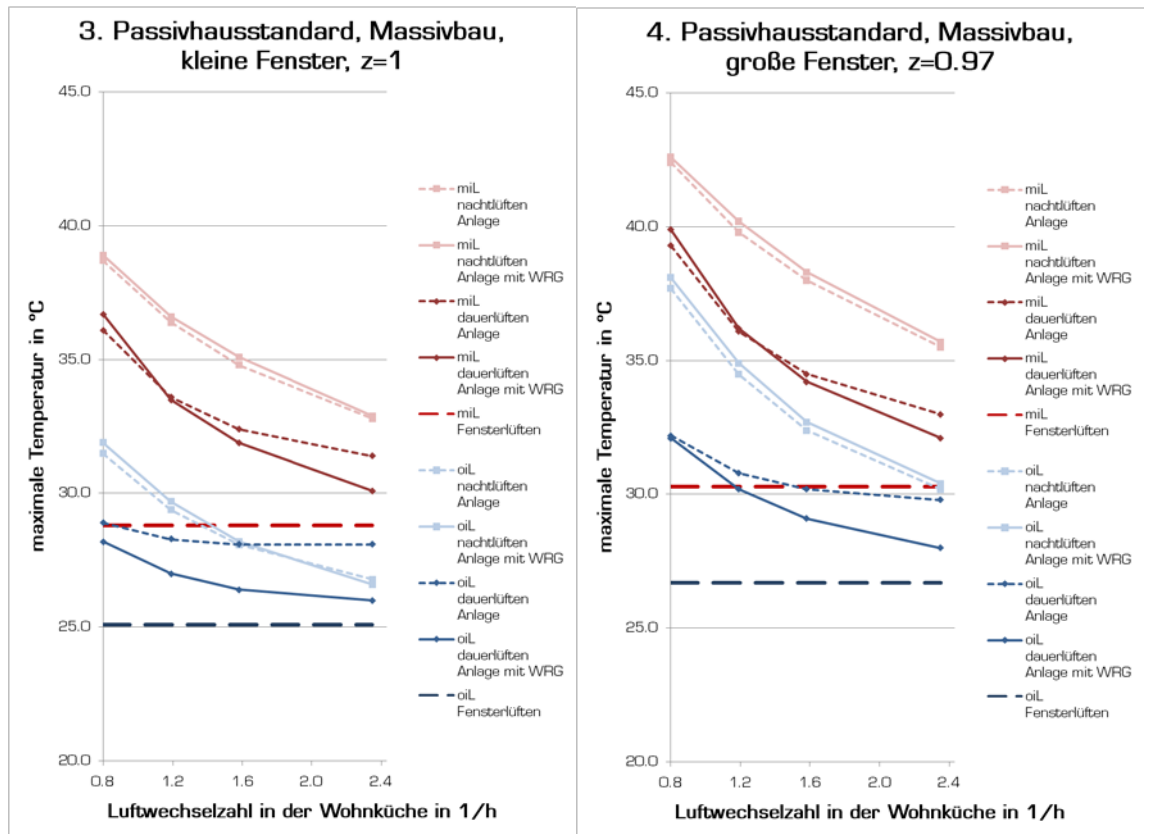


Abb. 35: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z<sub>min</sub>, 2007, Westen)

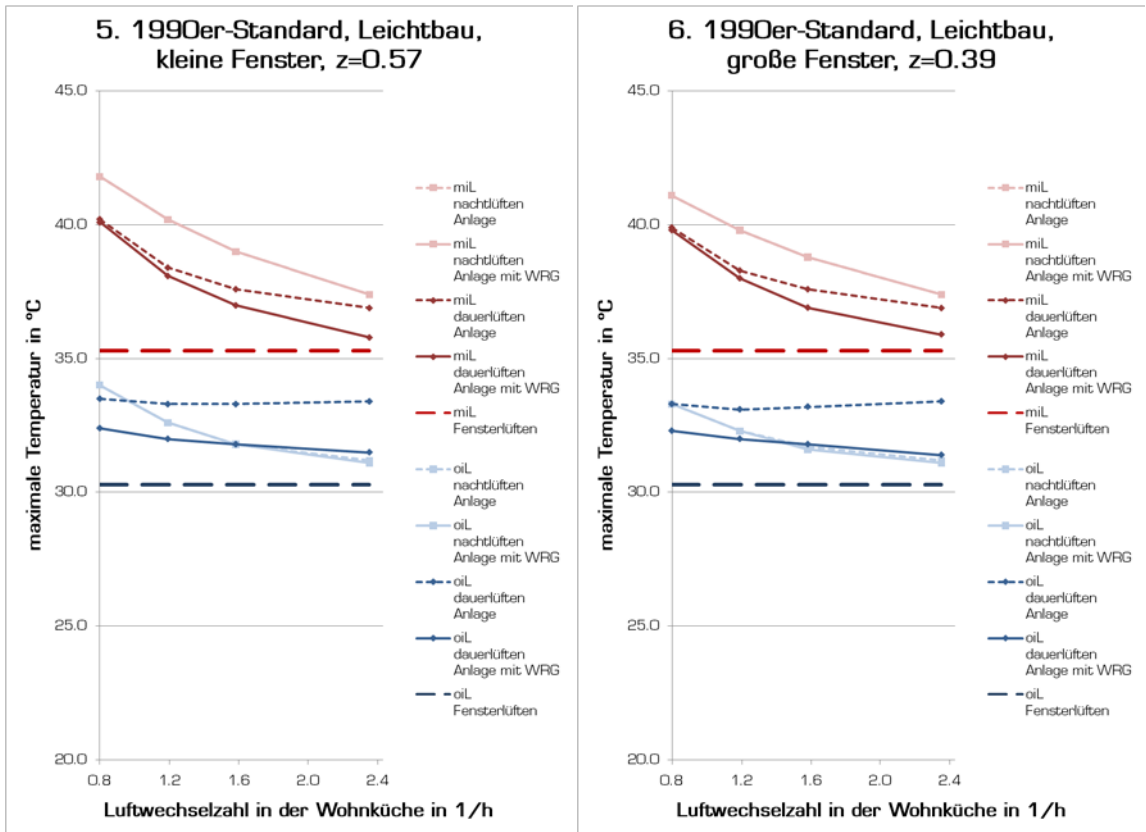


Abb. 36: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6,  $z_{min}$ , 2007, Westen)

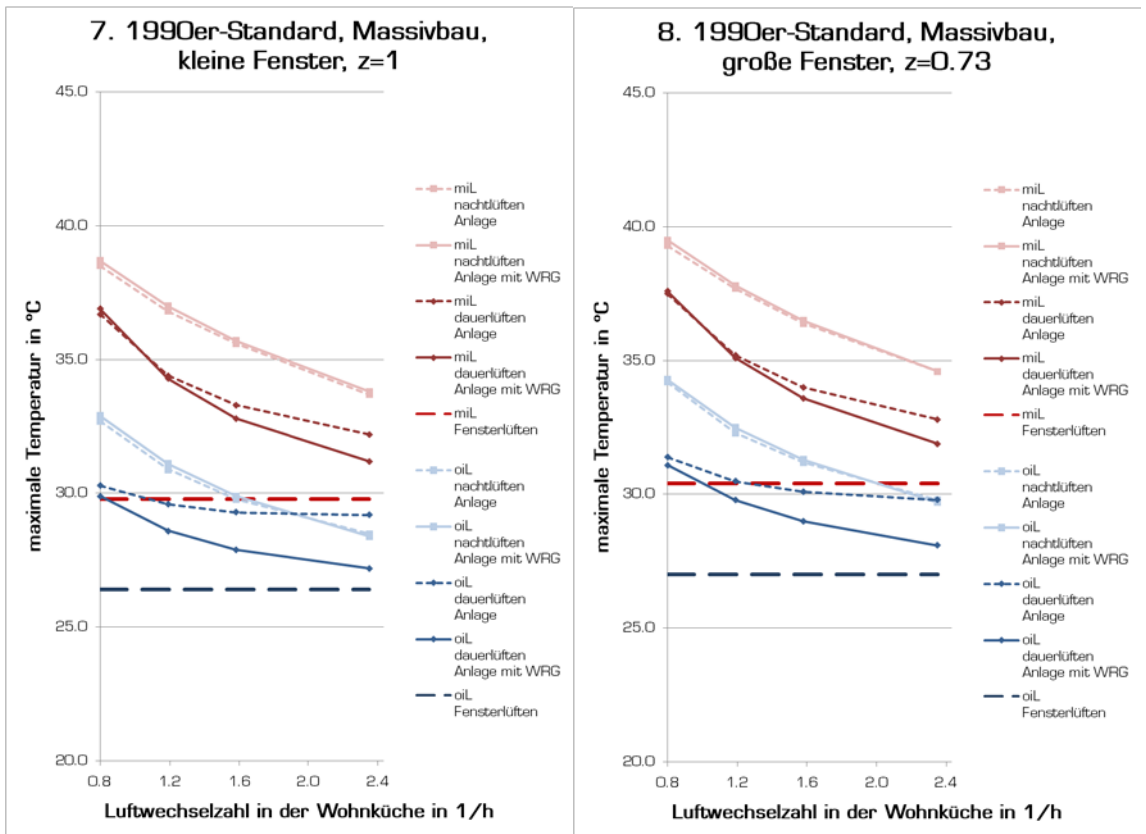


Abb. 37: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8,  $z_{min}$ , 2007, Westen)

Die geringste maximale Innentemperatur in der Wohnküche wurde für alle Modelle mit der nächtlichen Dauerlüftung durch die offenen Fenster erreicht. Ohne Kühlregister in der Anlage wären Luftwechselzahlen über 2.3/h notwendig um dieselbe kühle Innentemperatur zu erhalten wie mit der nächtlichen Dauerlüftung durch die Fenster. Die Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage kann die maximale Innentemperatur zwar in vielen untersuchten Bauweisen verringern, aber die Innentemperaturen bei nächtlicher Dauerlüftung durch die Fenster werden immer überschritten.

Die Einführung einer Wärmerückgewinnung (= WRG) bringt vor allem bei Dauerlüftung über die Anlage geringere Temperaturen. Bei Nachtlüftung mit der Anlage bewirkt die Wärmerückgewinnung meist keine Temperaturminderung.

In den folgenden beiden Diagrammen (Abbildungen 38 und 39) ist der Temperaturverlauf für das Modell 1 (Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster) für vier verschiedene Luftwechselarten und die dazugehörige Luftwechselzahl dargestellt. Die Datumsachse reicht von 17. Juli zu Mittag bis 19. Juli zu Mittag, weil sich am 18. Juli um 20.00 Uhr für den 2007er-Wetterdatensatz unter Berücksichtigung der inneren Lasten und bei nächtlicher Dauerlüftung durch die Fenster die maximale Temperatur einstellt.

An den gleichfarbigen Linien in den Abbildungen 38 und 39 kann der Einfluss der Luftwechselart und -zahl auf die Innentemperatur verglichen werden.

Zum rot-strichlierten Temperaturverlauf in Abbildung 38 gehört der rot-strichlierte Verlauf der Luftwechselzahl (nächtliches Dauerlüften durch die Fenster) in Abbildung 39. Aufgrund der hohen Innentemperatur und der daraus resultierenden großen Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur in der Nacht stellt sich nachts ein sehr hoher Luftwechsel ein.

Tagsüber ist der hygienische notwendige Luftwechsel von 0.4/h zu erkennen.

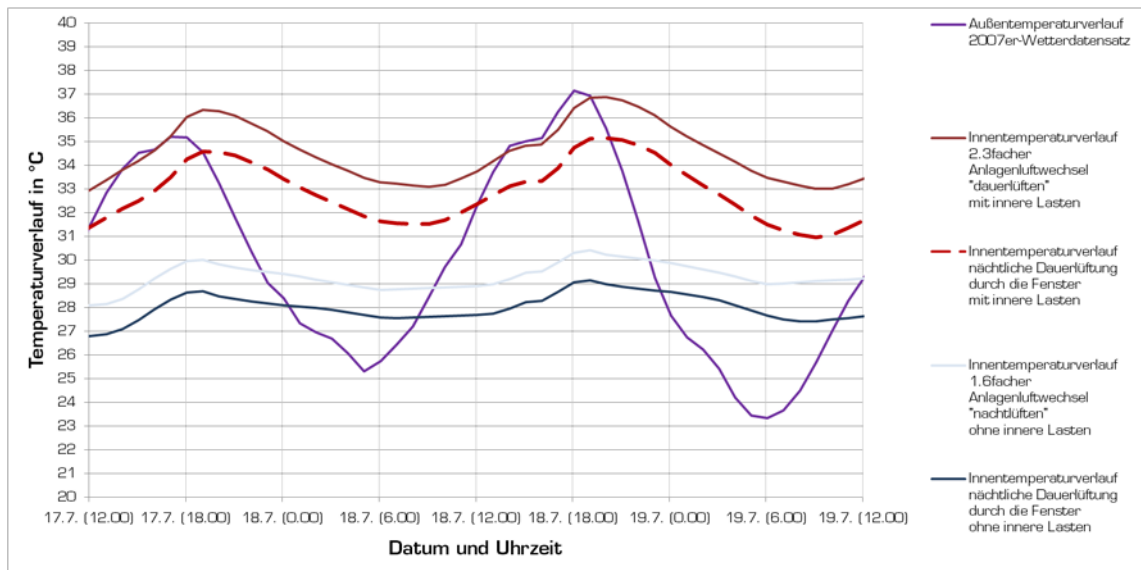


Abb. 38: Temperaturverläufe im Juli (Modell 1, 2007er-Wetter, Westen)

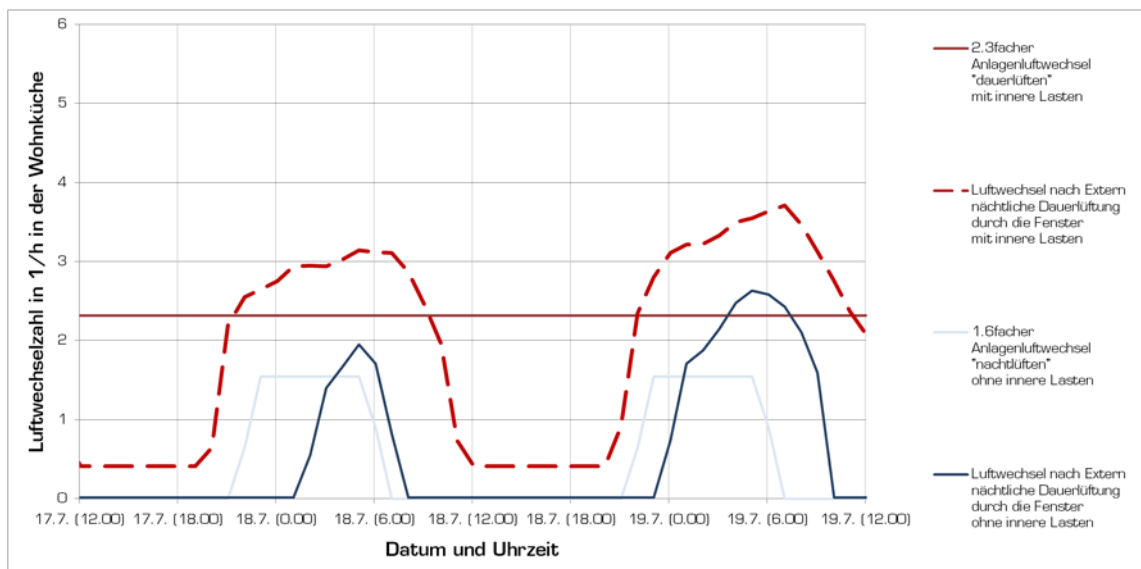


Abb. 39: Luftwechselzahlen im Juli (Modell 1, Westen)

#### 5.4.2. IWEC-Wetterdatensatz

Für die Abbildungen 40 bis 43 wurden mit den IWEC-Wetterdaten Jahressimulationen durchgeführt.

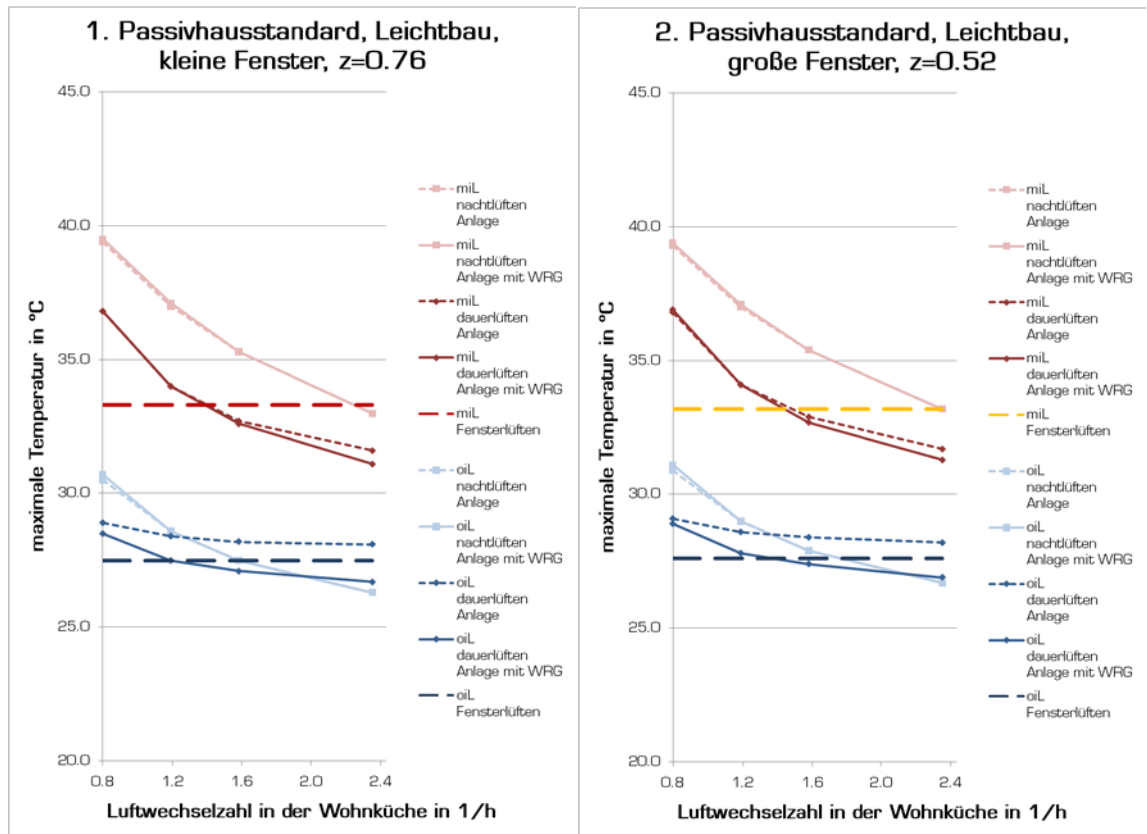


Abb. 40: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, z<sub>min</sub>, IWEK, Westen)

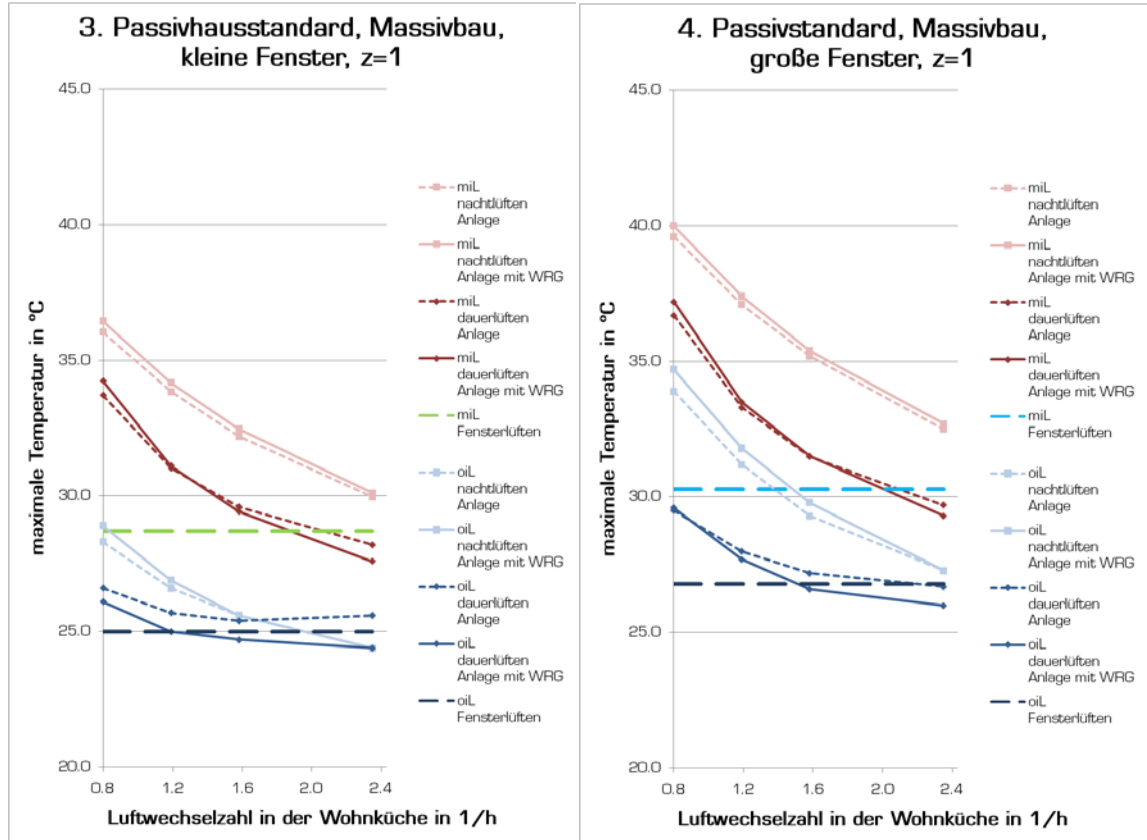


Abb. 41: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z<sub>min</sub>, IWEK, Westen)

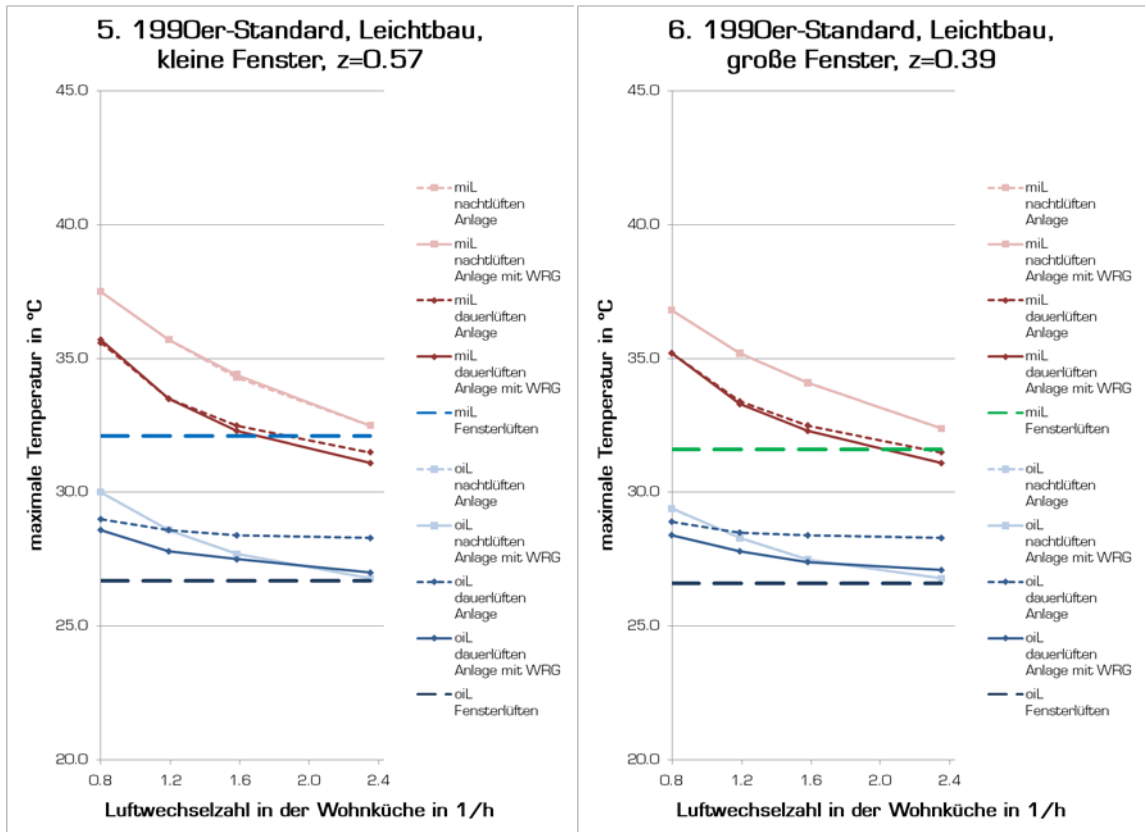


Abb. 42: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 5 und 6,  $z_{min}$ , IWEC, Westen)

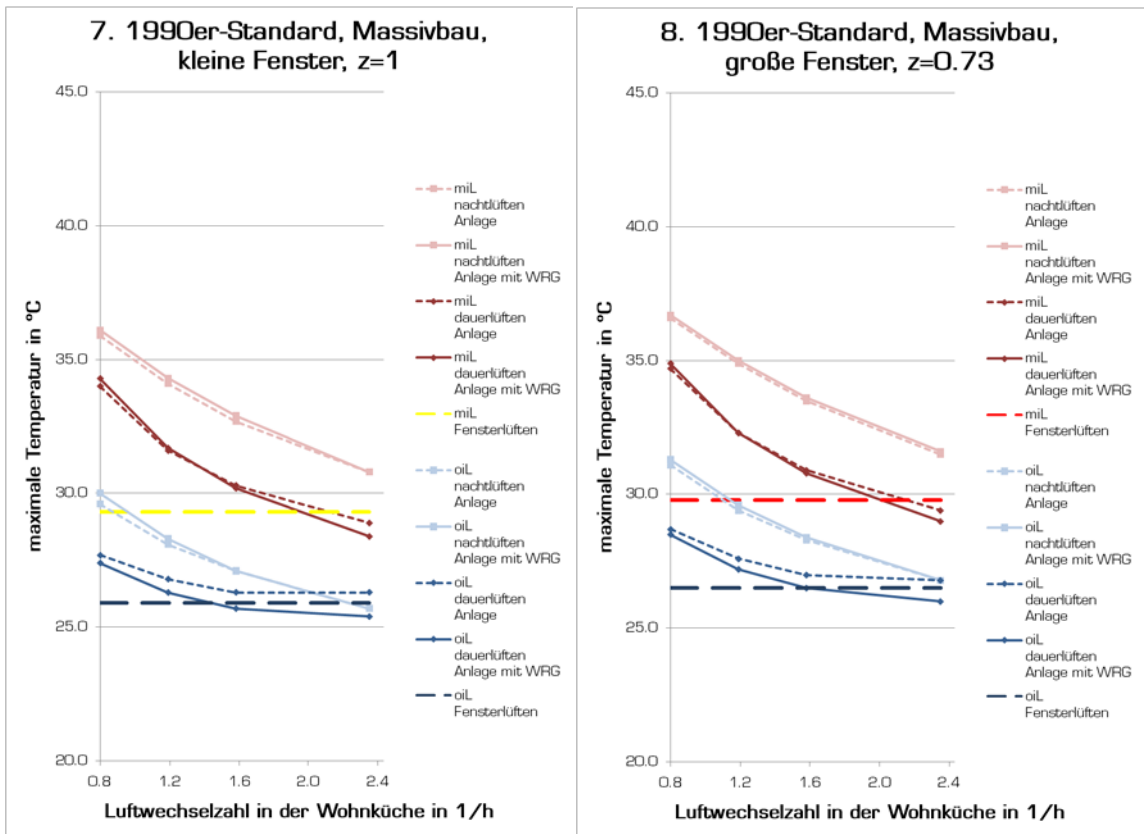


Abb. 43: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 7 und 8,  $z_{min}$ , IWEC, Westen)



Für kleine Luftwechselraten (bis 1.5/h) erreicht die Lüftung über die Anlage in einigen Fällen dieselben tiefen Innentemperaturen wie die nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster. Für höhere Luftwechselraten (ab etwa 2/h) kann die Lüftungsanlage in fast allen Fällen die Innenräume besser kühlen als die nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster. Vor allem für die dauernde Anlagenlüftung mit Wärmerückgewinnung werden die maximalen Innentemperaturen im Vergleich zum Fensterlüften fast immer unterschritten.

Die Wärmerückgewinnung ist nur bei dauernder Anlagenlüftung und ohne Berücksichtigung innerer Lasten sinnvoll.

### 5.4.3. Periodischer Zustand

Für die Abbildungen 44 bis 47 wurden periodische Simulationen am 196. Tag im Jahr mit dem Norm-Außentemperaturverlauf und mit der Norm-Bestrahlungsstärke durchgeführt.

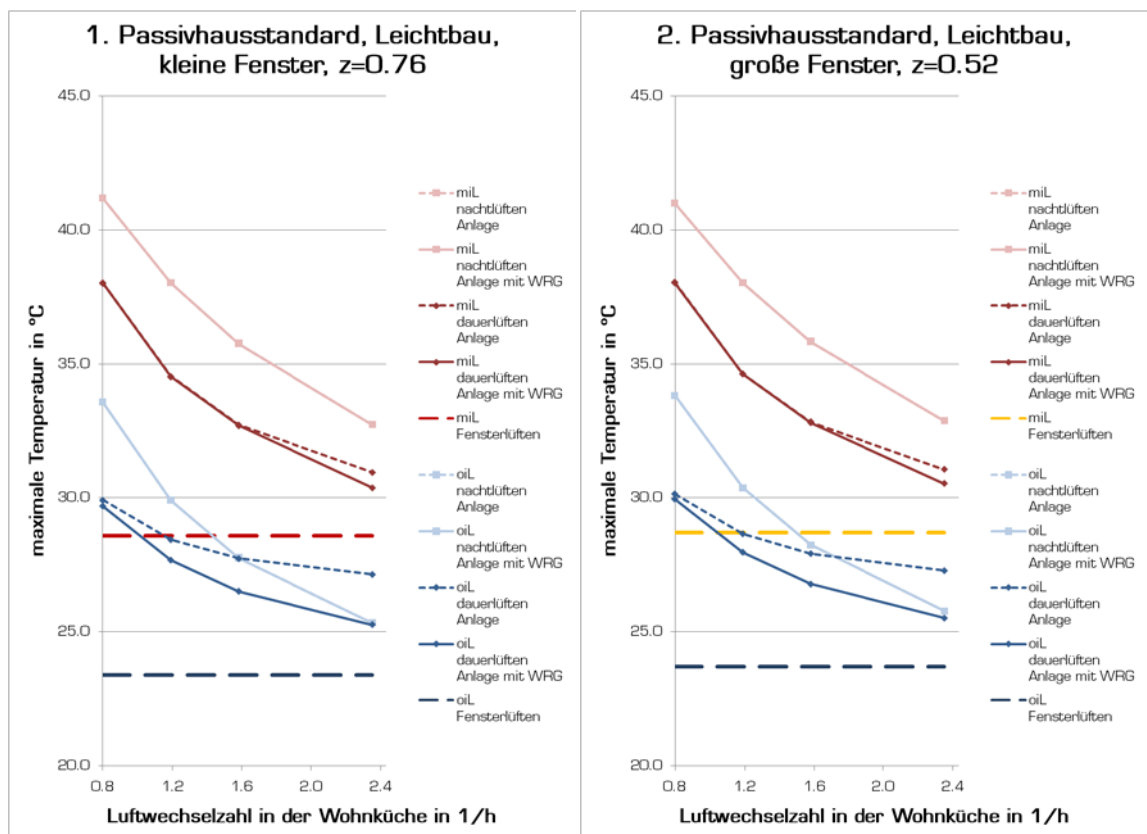


Abb. 44: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 1 und 2,  $z_{\min}$ , period. Zust., Westen)

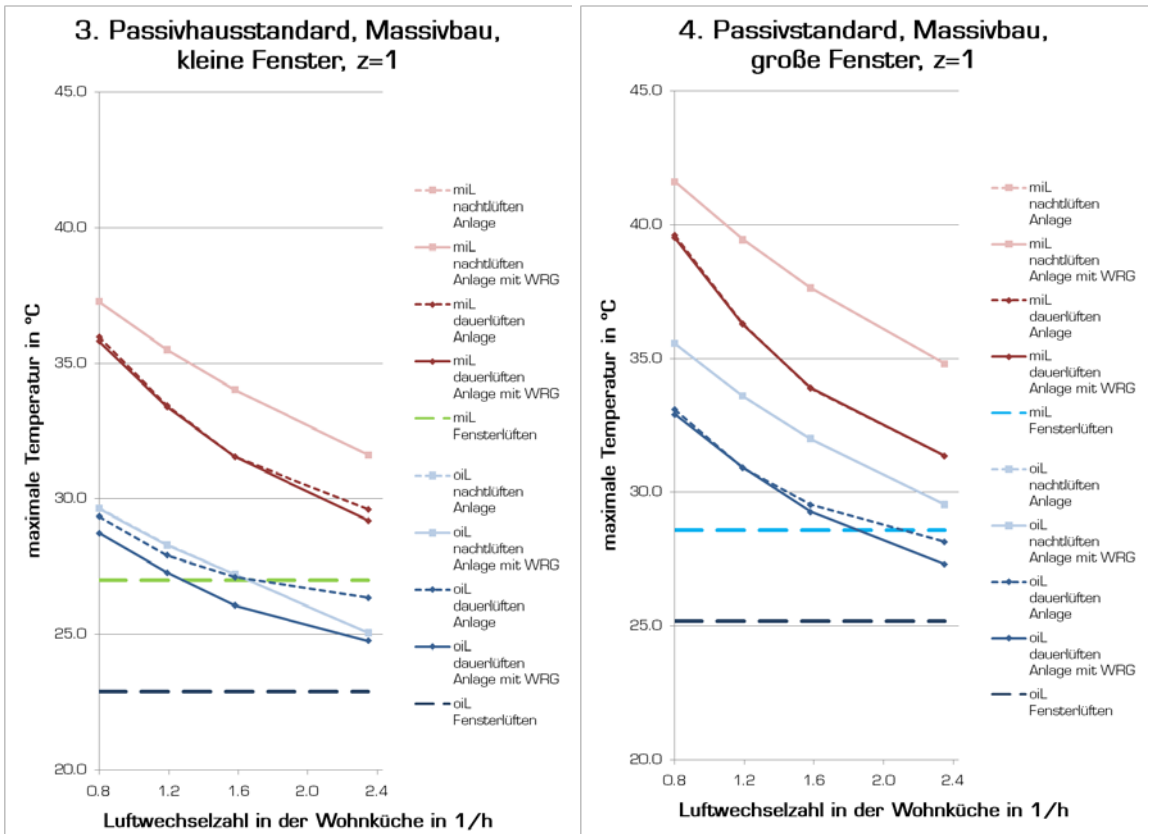


Abb. 45: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z<sub>min</sub>, period. Zust., Westen)

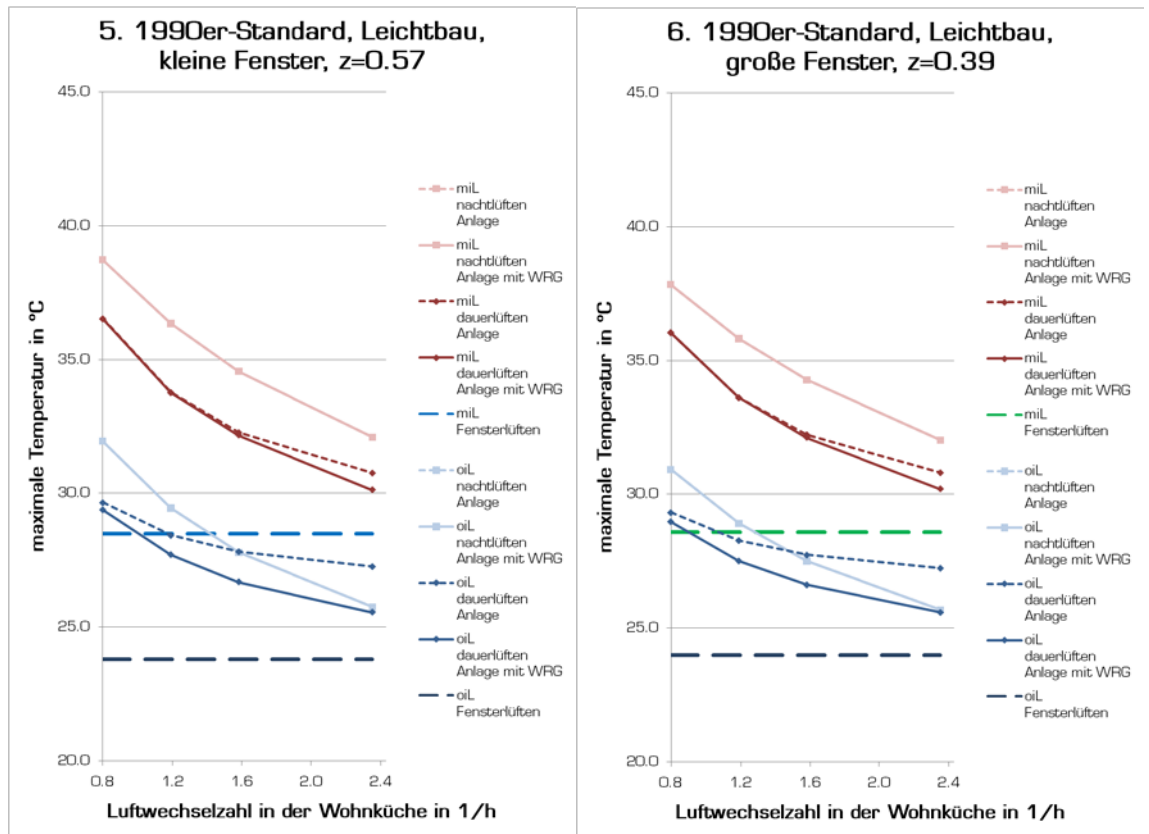


Abb. 46: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, z<sub>min</sub>, period. Zust., Westen)

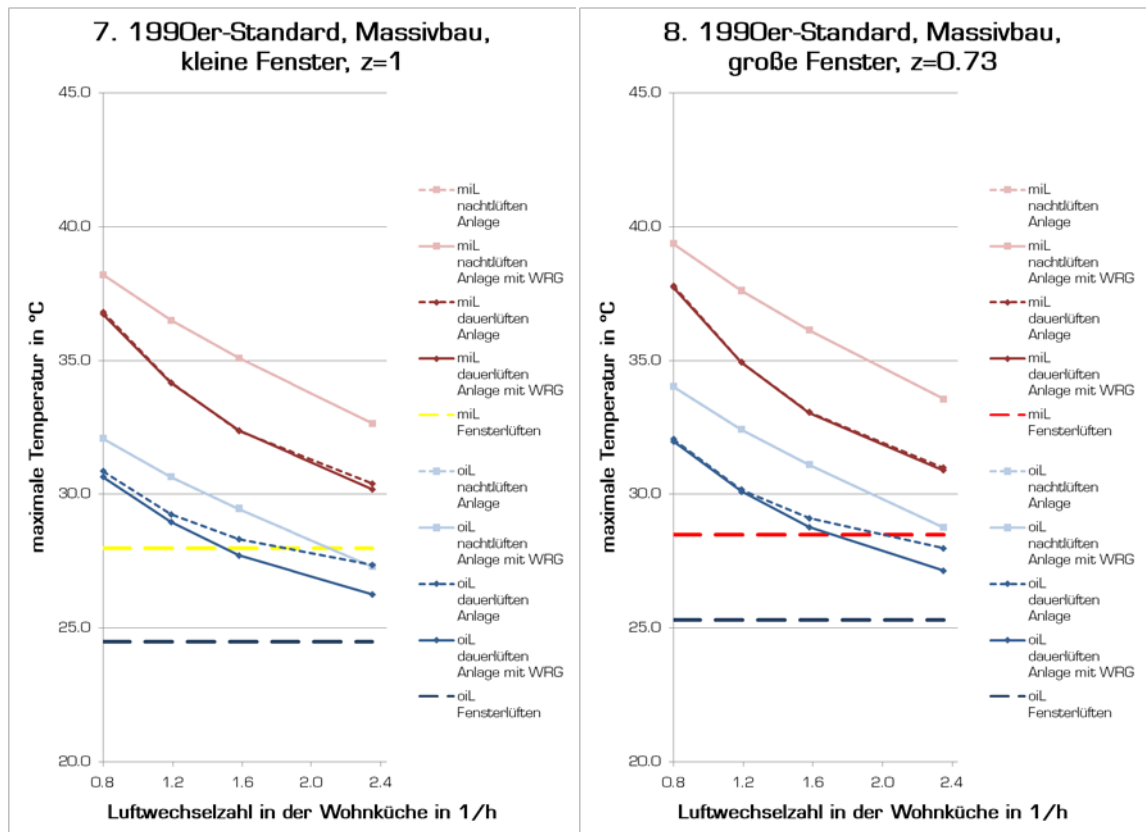


Abb. 47: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 7 und 8,  $z_{\min}$ , period. Zust., Westen)

Im periodischen Zustand erreicht die Anlagenlüftung mit Luftwechselzahlen bis 2.3/h in keinem Modell die gleichen kühlen Innentemperaturen wie die nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster.

Eine WRG verringert die Innentemperaturen nur bei dauerlüften ohne innere Lasten. Werden innere Lasten berücksichtigt, so ist eine Wärmerückgewinnung nur bei den Leichtbauten ab einer dauernden Luftwechselzahl von 2/h sinnvoll.

#### 5.4.4. Zusammenfassung

Die ÖNORM B 8110-3 [ON099] gibt eine Luftwechselzahl von 1.5/h an, wenn die Fenster des untersuchten Raumes in einer Fassadenebene sind.

Für alle Versuchsanordnungen mit dem 2007er-Wetterdatensatz und dem periodischen Klimazustand schafft die nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster kühlere maximale Innentemperaturen als eine Lüftung über eine Lüftungsanlage mit 1.5-fachem Luftwechsel.

Unter Berücksichtigung innerer Lasten, genügt ein 1.5-facher ständiger Luftwechsel über eine Lüftungsanlage in keinem Modell um die Grenztemperatur von +27°C einzuhalten.

In den Simulationen wurde unter anderem ideale nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster mit nächtlicher Anlagenlüftung zu fixen Zeiten verglichen. Die Anlagenlüftung könnte vermutlich kühlere Innentemperaturen erzielen, wenn die Steuerung genauso intelligent wäre wie beim nächtlichen Dauerlüften durch die Fenster. Gleich wie beim Fensterluftwechsel müsste die Anlage so gesteuert werden, dass diese immer dann lüftet, wenn die Außentemperaturen unter den operativen Innentemperaturen liegen. Nur dann wäre nächtliche Anlagenlüftung und nächtliche Fensterlüftung direkt vergleichbar.

### 5.5. Vergleich Fensterlüftung mit Anlagenlüftung, $z=0.17$

Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster der Modelle 1 bis 4 (Passivhausstandard) ist  $g=0.452$ . Nach ÖNORM B 8110-6 [ON007] liegt der  $z$ -Wert für eine Außenjalousie in diesem Fall bei  $z=0.17$ . Mit diesem  $z$ -Wert (für alle Fenster) wurden die Passivhausstandardmodelle mit Westorientierung der Fensterfassade in diesem Kapitel untersucht. Die Abbildungen 48 bis 53 vergleichen nächtliches Dauerlüften durch die Fenster mit Anlagenlüftung in verschiedenen Variationen. In den Diagrammen wurden die maximalen Temperaturen, die sich für eine Jahressimulation im Juli und August bzw. für die periodische Simulation im Maximum in der Wohnküche einstellen, eingetragen. Untersucht wurde jedes Modell mit inneren Lasten (miL) und ohne innere Lasten (oiL).

#### 5.5.1. 2007er-Wetterdatensatz

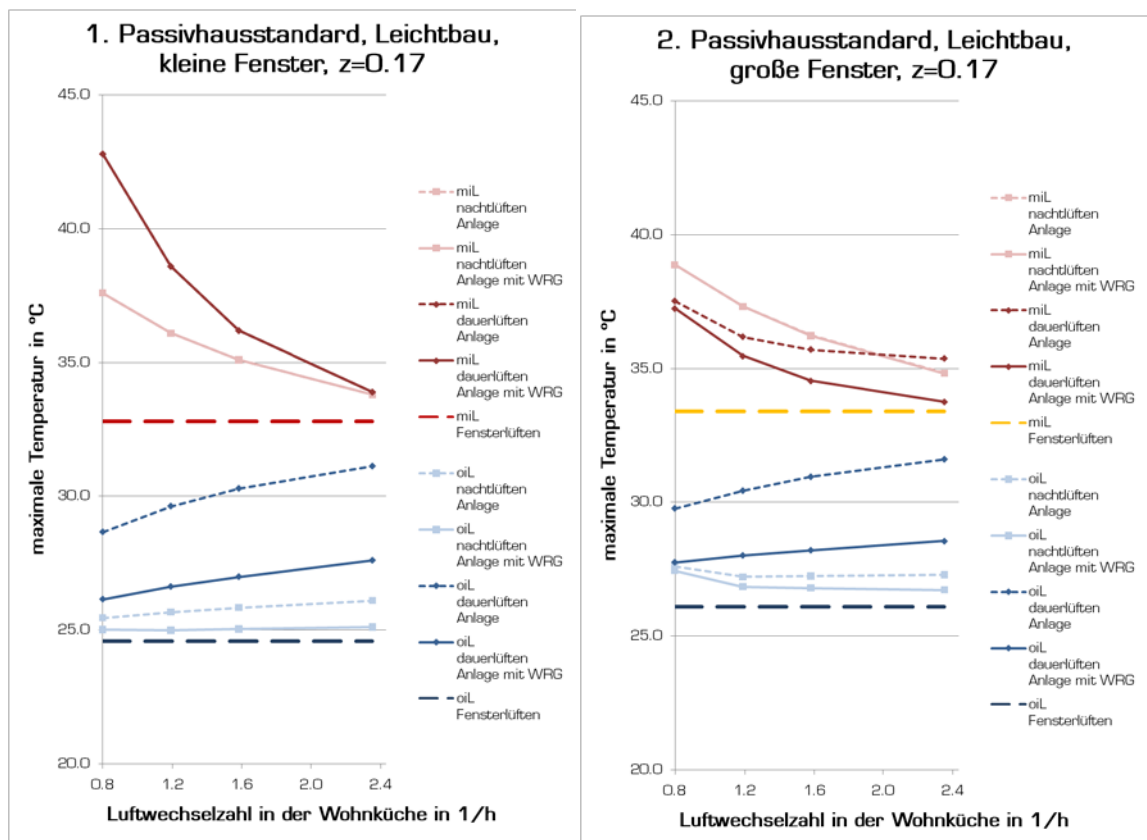


Abb. 48: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 1 und 2,  $z=0.17$ , 2007, Westen)

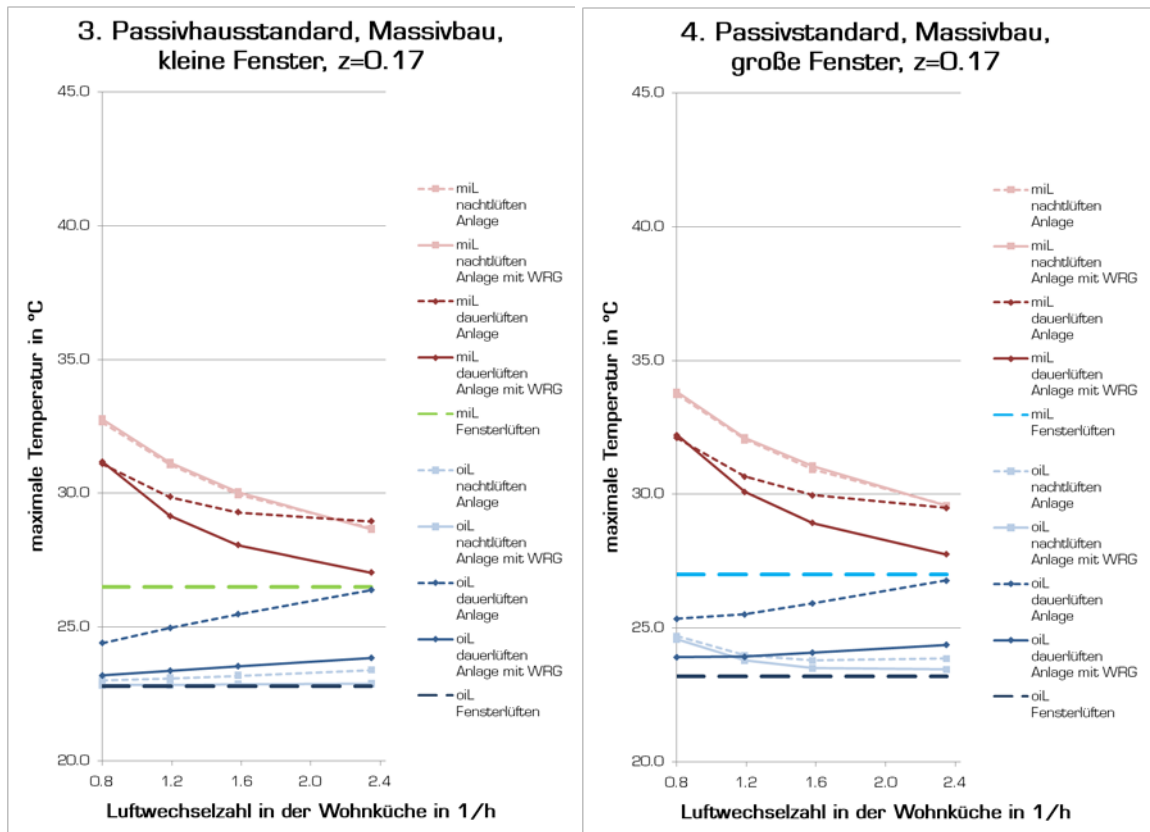


Abb. 49: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 3 und 4,  $z=0.17$ , 2007, Westen)

In der Jahressimulation mit dem 2007er-Wetterdatensatz (Abbildungen 48 und 49) erreicht die nächtliche Anlagenlüftung in keiner untersuchten Situation kühlere Innentemperaturen als die nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster. Die nächtliche Dauerlüftung durch die Fenster ist hier die geeignetste Methode zum Kühlen der Wohnküche.

### 5.5.2. IWEC-Wetterdatensatz

In der Auswertung der IWEC-Jahressimulation (Abbildungen 50 und 51) ist ein Unterschied zwischen den Modellen mit inneren Lasten und jenen ohne innere Lasten zu erkennen. Sind innere Wärmequellen berücksichtigt, so ist ein „dauerlüften“ mit der Lüftungsanlage mit hohen Luftwechselzahlen und mit Verwendung einer Wärmerückgewinnungsanlage in drei von vier untersuchten Modellen effektiver als nächtliches Dauerlüften durch die Fenster. Werden keine inneren Lasten berücksichtigt, ist nächtliches Anlagenlüften besser als dauerndes Anlagenlüften.

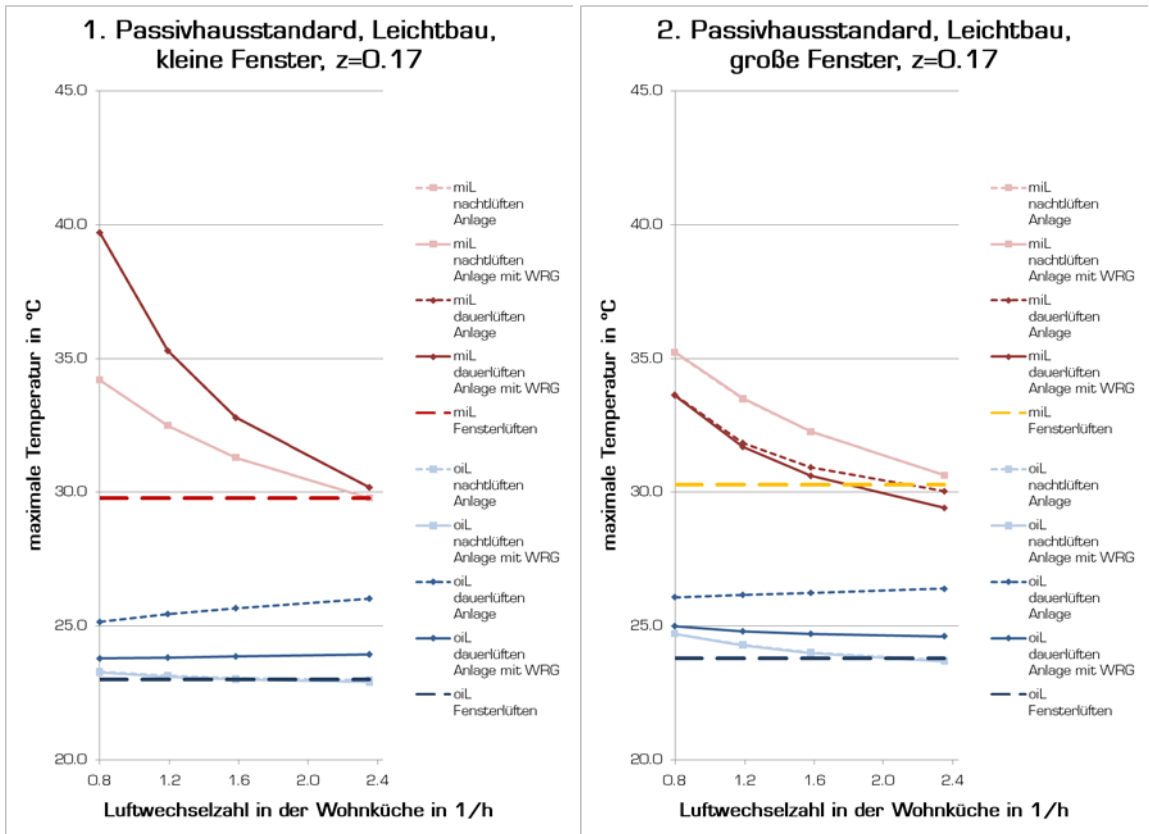


Abb. 50: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, z=0.17, IWECC, Westen)

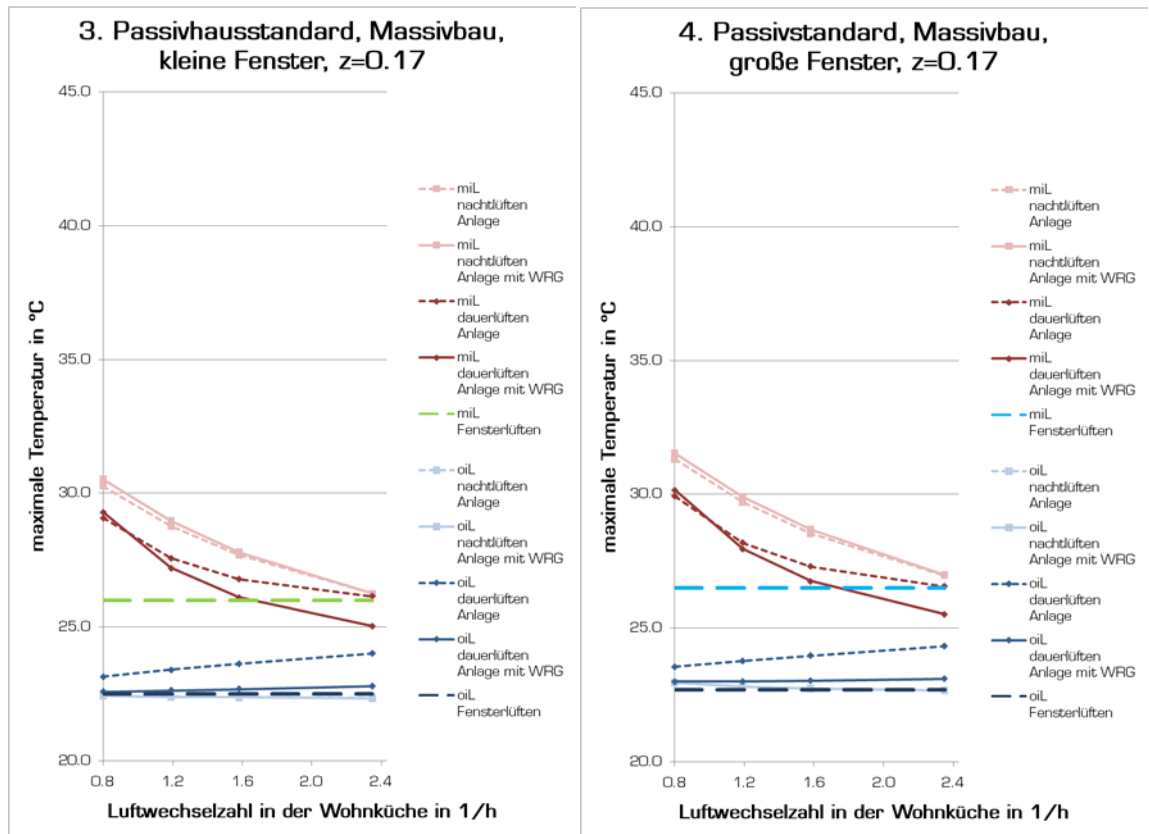


Abb. 51: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z=0.17, IWECC, Westen)

5.5.3. Periodischer Zustand

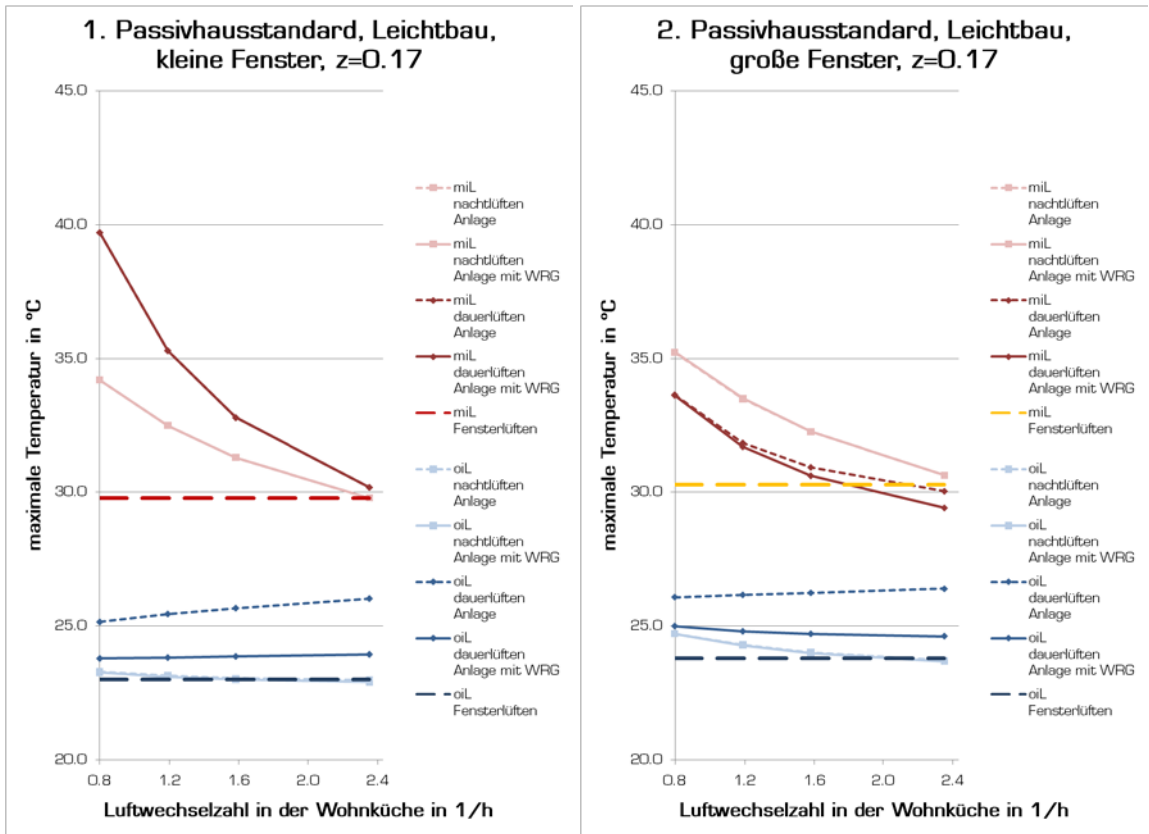


Abb. 52: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, z=0.17, period. Zust., Westen)

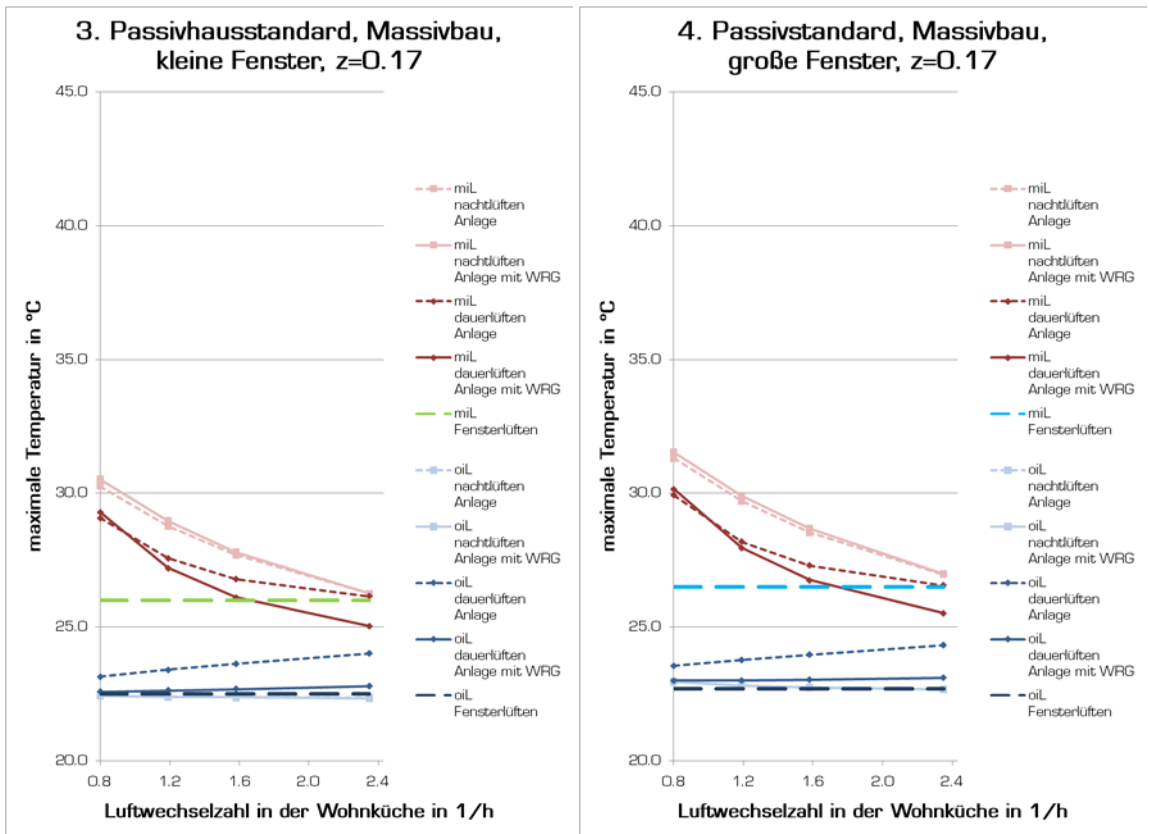


Abb. 53: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z=0.17, period. Zust., Westen)



In der Auswertung des periodischen Zustandes (Abbildungen 52 und 53) erkennt man, dass unter Berücksichtigung innerer Lasten hohe Luftwechselzahlen notwendig sind um kühlere Innentemperaturen zu schaffen als mit nächtlichem Dauerlüften durch die Fenster.

#### 5.5.4. Vergleich aller Modelle

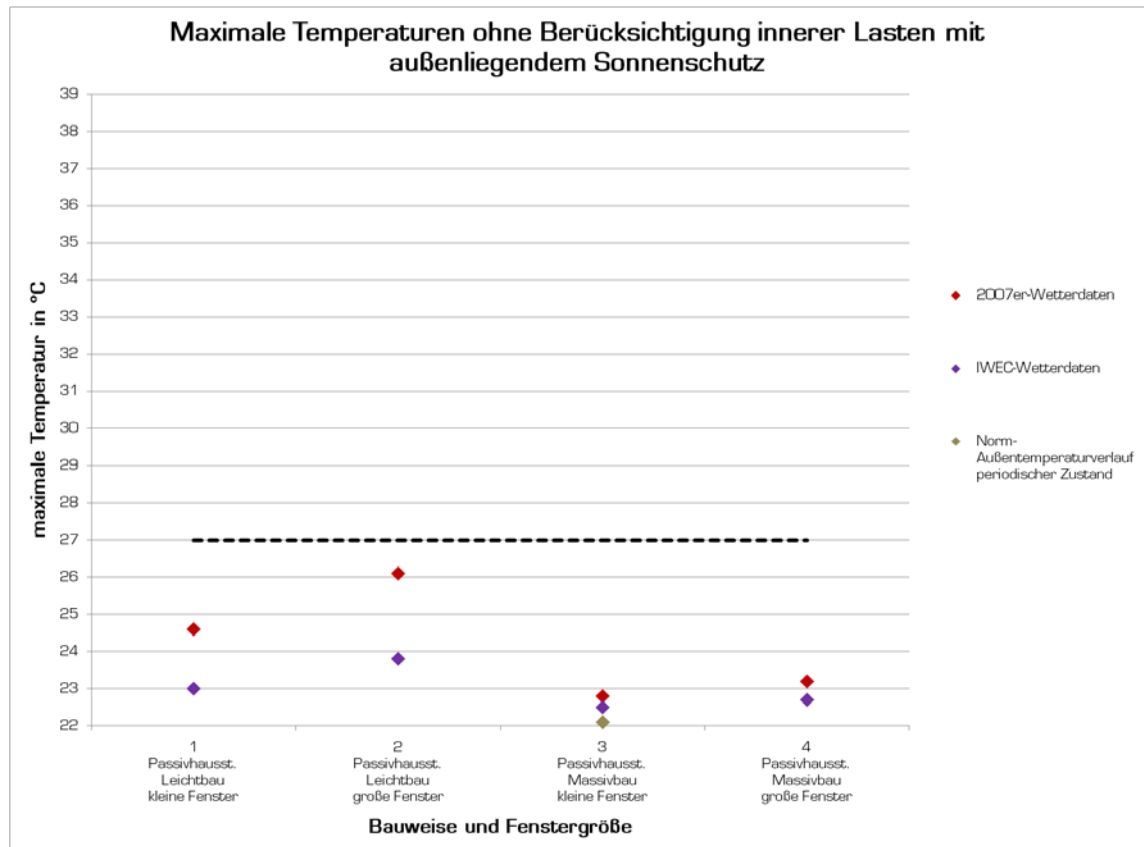


Abb. 54: Vergleich aller Modelle mit außenliegendem Sonnenschutz (oiL, Westen)

Vergleicht man alle untersuchten Varianten mit nächtlicher Dauerlüftung durch die Fenster direkt (Abbildung 54), so ist zu erkennen, dass alle Modelle deutlich unter 27°C bleiben. Die Modelle 1, 2 und 4 (Passivhausstandard, Leichtbauten und Massivbau mit großen Fenstern) bleiben für die periodische Simulation sogar unter 22°C.

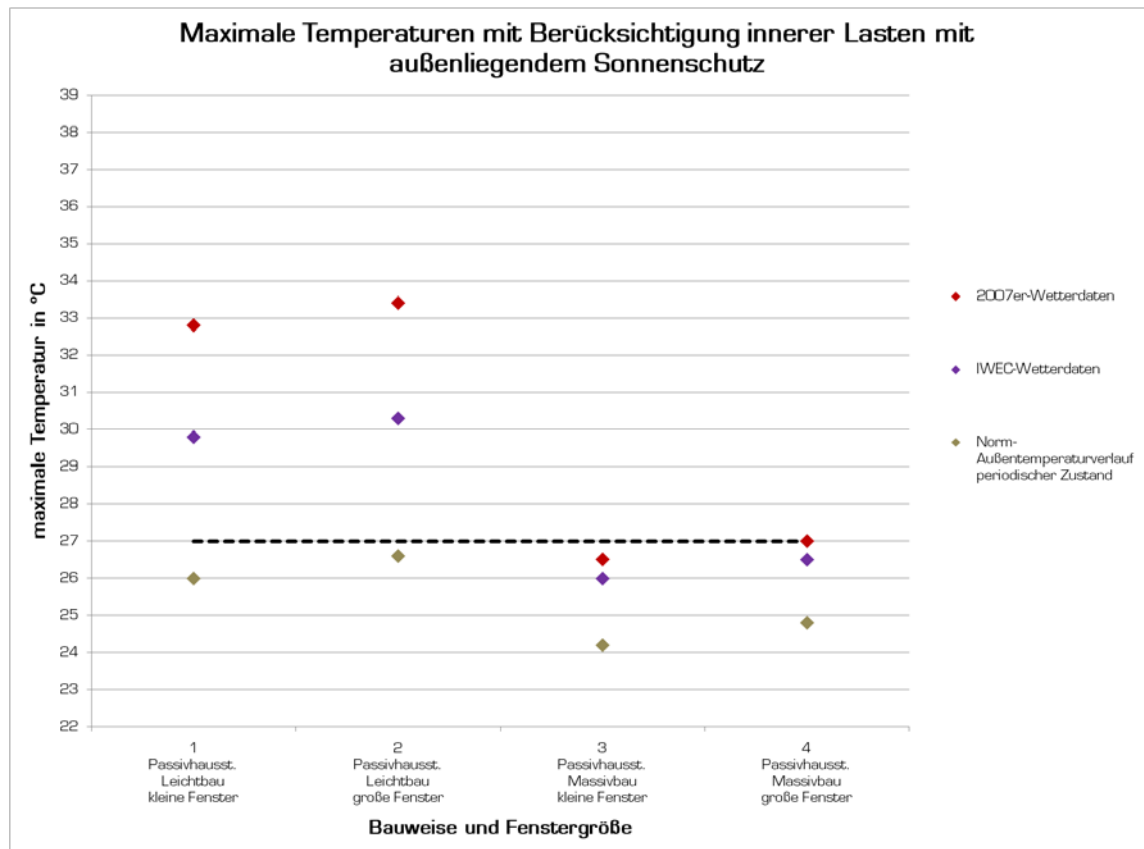


Abb. 55: Vergleich aller Modelle mit außenliegendem Sonnenschutz (miL, Westen)

Werden innere Lasten berücksichtigt (Abbildung 55), so ist auch mit sehr gutem Sonnenschutz eine sommerliche Überwärmung der Leichtbauten nur mit dem periodischen Zustand (Norm-Außentemperaturverlauf und Norm-Bestrahlungsstärke) zu vermeiden.

Die Passivhausstandard-Massivbauten bleiben für alle drei Klimamodelle unter der Grenztemperatur von 27°C.

Die Daten für Südorientierung finden sich im Anhang.

## 5.6. Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$

Im Folgenden (Abbildungen 56 bis 63) wurden für die Wohnküche die Temperaturverläufe aus Kapitel 5.2. auf  $\Delta m_{w,l}$  (Differenz zur nach Norm erforderlichen immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse) bezogen. Alle aufgetragenen Temperaturen wurden mit der Simulationsanordnung „nächtliches Dauerlüften durch die Fenster“ ermittelt.

Bei jenem Abminderungsfaktor  $z$ , bei dem der Nachweis über die mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse genau erfüllt ist, ist  $\Delta m_{w,l}$  gleich Null. Weist  $z$  einen höheren Wert auf, ist die Abschattung geringer und nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] nicht mehr ausreichend um die Grenztemperatur  $t^*$  einzuhalten. In diesem Fall wird  $\Delta m_{w,l}$  negativ. Es ist also zu wenig speicherwirksame Masse vorhanden um den Nachweis zu erfüllen. Ist umgekehrt  $z$  kleiner, die Verschattung also mehr als ausreichend, so hat der Raum einen Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamen Masse und  $\Delta m_{w,l}$  ist positiv.

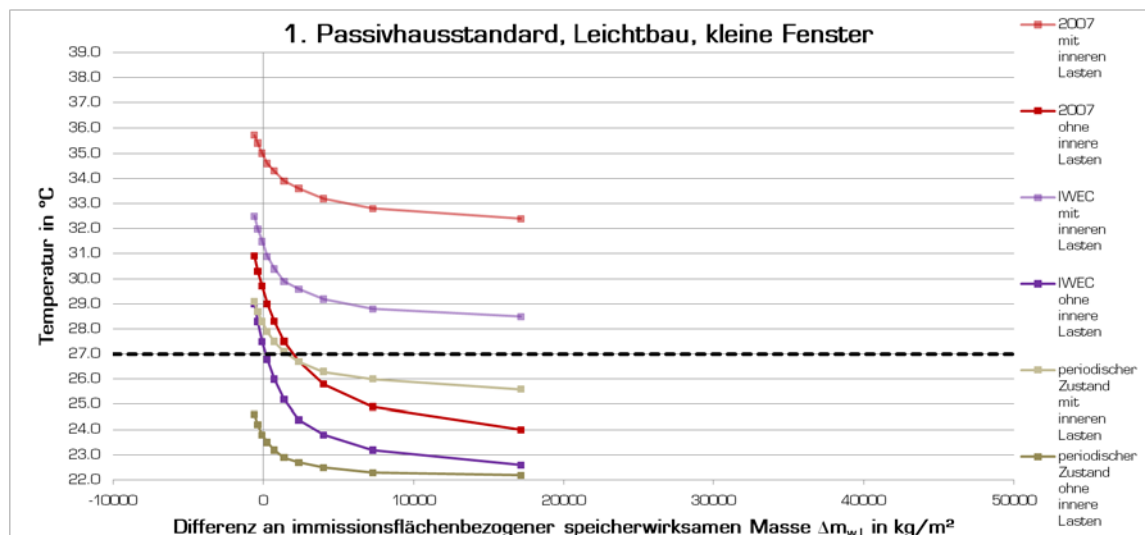


Abb. 56: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 1, Westen)

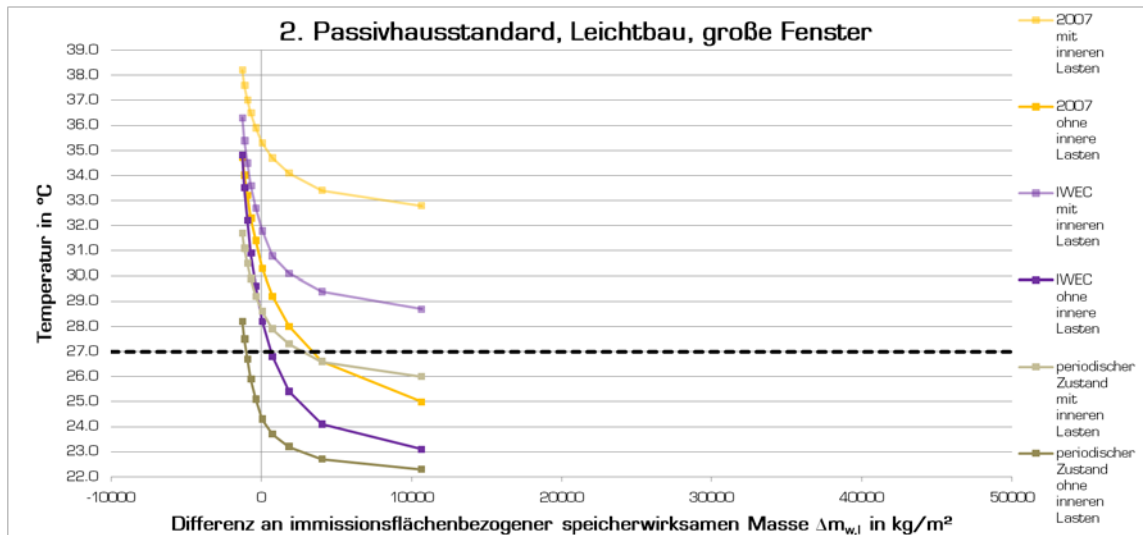


Abb. 57: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 2, Westen)

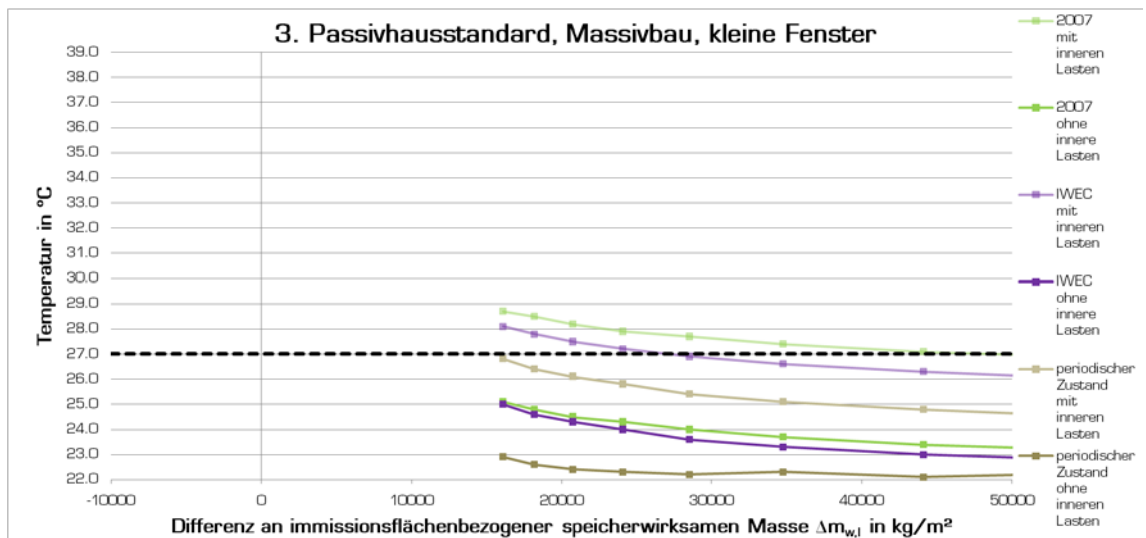


Abb. 58: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 3, Westen)

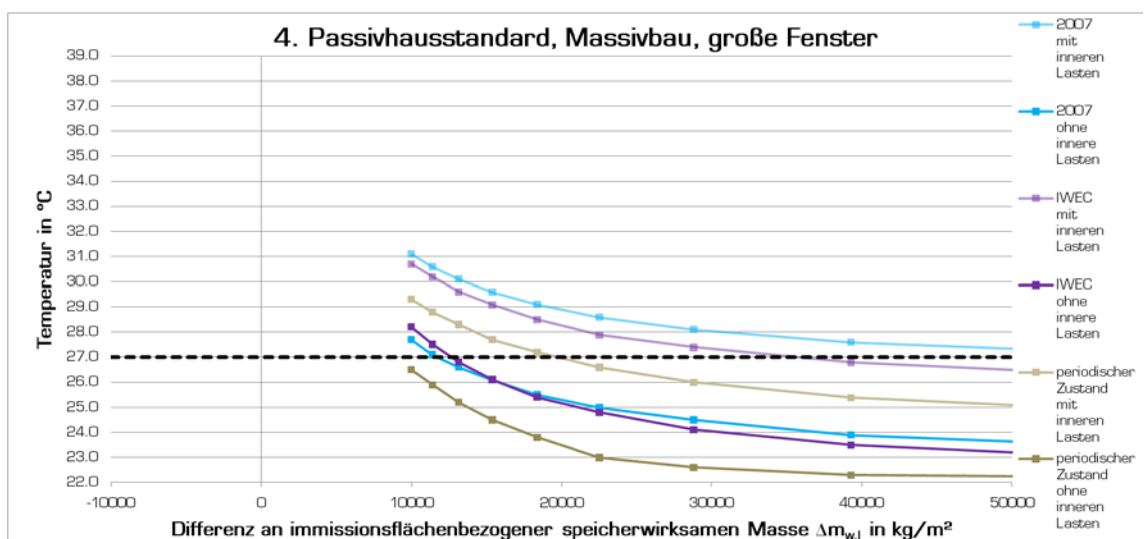


Abb. 59: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 4, Westen)

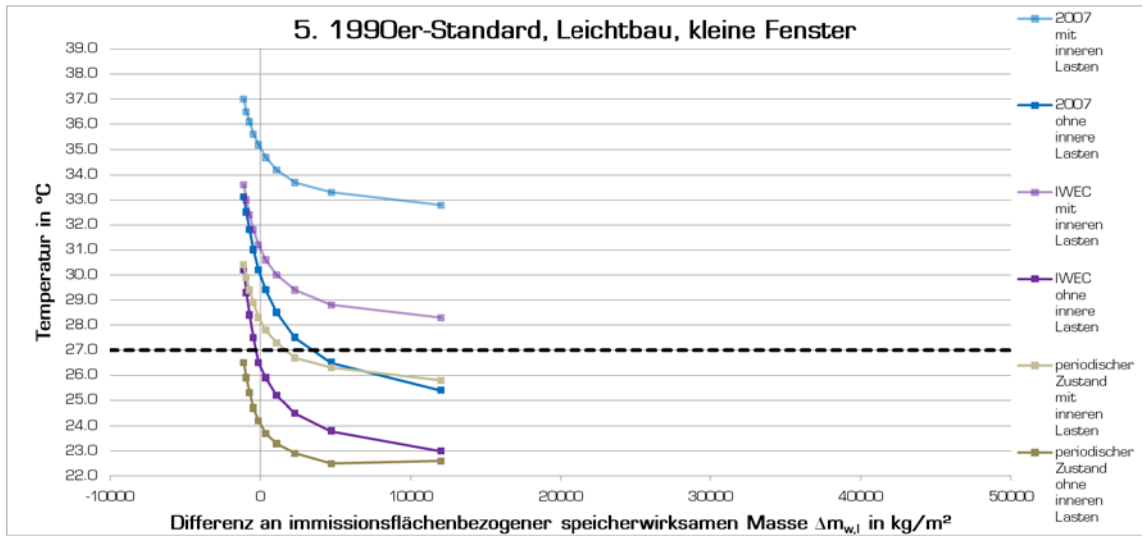


Abb. 60: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 5, Westen)

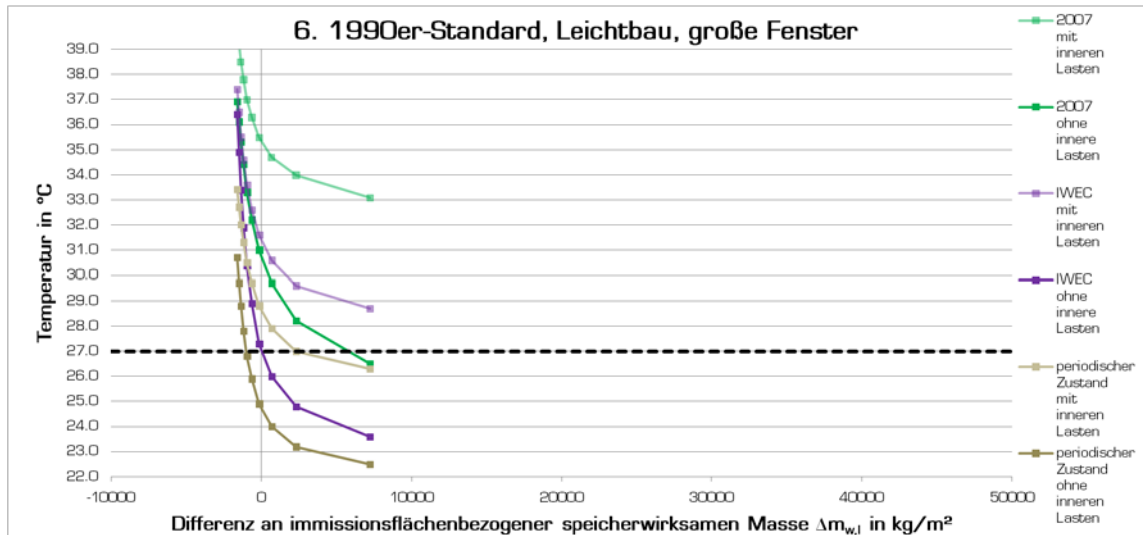


Abb. 61: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 6, Westen)

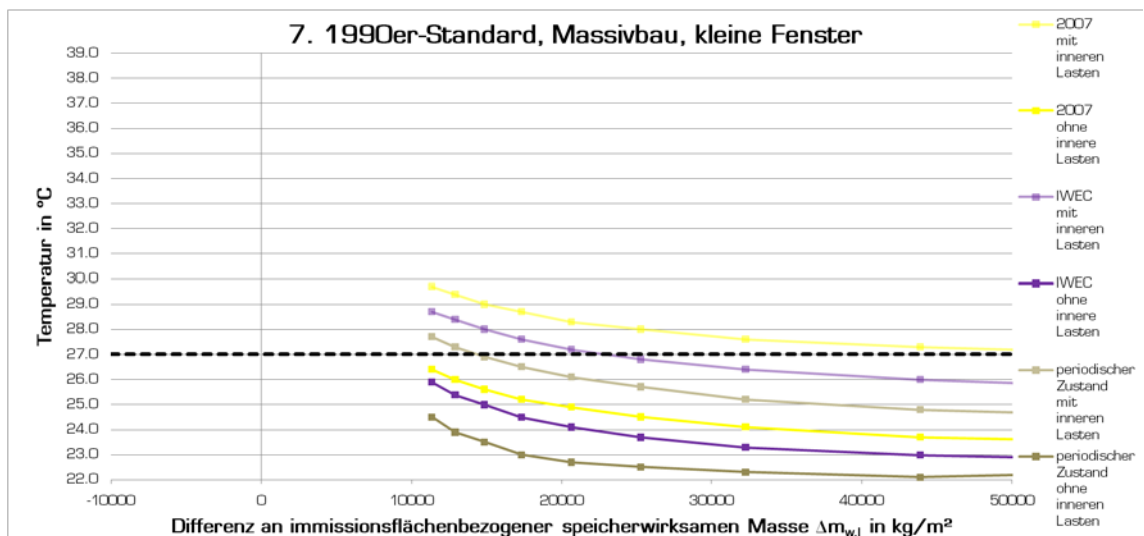


Abb. 62: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 7, Westen)

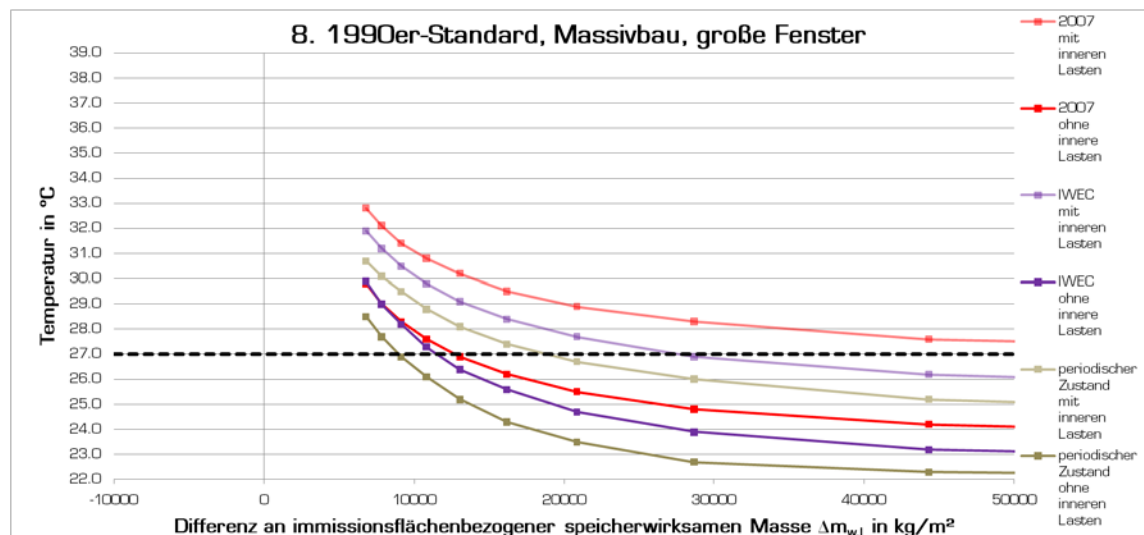


Abb. 63: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,i}$  (Modell 8, Westen)

Für die Modelle 1 und 2 (Passivhausstandard, Leichtbau) in der periodischen Simulation (sowohl mit als auch ohne innere Lasten) sinkt die maximale Raumtemperatur zwischen  $\Delta m_{w,i}=0\text{kg/m}^2$  und  $\Delta m_{w,i}=11000\text{kg/m}^2$  um rund 2K.  $\Delta m_{w,i}=0\text{kg/m}^2$  wird für den mindest-erforderlichen z-Wert aus dem Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse erhalten. Um auf ein  $\Delta m_{w,i}=11000\text{kg/m}^2$  zu kommen sind wesentlich bessere Abschattungsvorrichtungen notwendig ( $z=0.15$  bzw.  $z=0.1$ ).

Für die IWEC- und 2007er-Wetterdatensätze sinkt die Raumtemperatur zwischen  $\Delta m_{w,i}=0\text{kg/m}^2$  und  $\Delta m_{w,i}=11000\text{kg/m}^2$  unter Berücksichtigung innerer Lasten um etwa 2.5K. Werden innere Lasten in den Jahressimulationen vernachlässigt, so sinken die maximalen Temperaturen zwischen diesen beiden Speichermasseüberschüssen um 4K bis 5K.

Kreč [KRE06] schlägt Güteklassen für die Bewertung der Sommertauglichkeit vor. Nach diesem Vorschlag, sollen drei Güteklassen (Klasse A: sommertauglich, Klasse B: gut sommertauglich und Klasse C: sehr gut sommertauglich) eingeführt werden. Güteklasse A erfüllt die ÖNORM B 8110-3 [ON099] gerade, soll also die Grenztemperatur von 27°C gerade einhalten. Wird die Grenztemperatur um 1.5K unterschritten, so fällt der

Raum in die Güteklasse B. Die Güteklasse C kann erreicht werden, wenn der Raum die Grenztemperatur um mindestens 3K unterschreitet. Um diese Klassifizierung einfach bewerkstelligen zu können, soll sie im Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse abgebildet werden können. Kreč [KRE06] schlägt vor, die Klassifizierung mit dem Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse durchzuführen. Hat ein Raum nur eine Lüftungsebene, so fällt dieser Raum mit einem Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse zwischen  $\Delta m_{w,i}=0\text{kg/m}^2$  und  $\Delta m_{w,i}=11000\text{kg/m}^2$  in die Güteklasse A. Hat der Raum einen Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse zwischen  $\Delta m_{w,i}=11000\text{kg/m}^2$  und  $\Delta m_{w,i}=19000\text{kg/m}^2$  so fällt der Raum in die Klasse B. Ist mehr als  $19000\text{kg/m}^2$  immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse überschüssig, so ist der Raum der Klasse C zuzuweisen (Tabelle 37).

Güteklassen		Temperaturintervalle	Intervall für $\Delta m_{w,i}$
			eine Ebene mit Lüftungsöffnungen
Klasse A	sommertauglich	$23.0^\circ\text{C} \leq \theta_{e,\text{max}} < 24.5^\circ\text{C}$	$0\text{kg/m}^2 \leq \Delta m_{w,i} < 11000\text{kg/m}^2$
Klasse B	gut sommertauglich	$24.5^\circ\text{C} \leq \theta_{e,\text{max}} < 26^\circ\text{C}$	$11000\text{kg/m}^2 \leq \Delta m_{w,i} < 19000\text{kg/m}^2$
Klasse C	sehr gut sommertauglich	$\theta_{e,\text{max}} \geq 26^\circ\text{C}$	$\Delta m_{w,i} \geq 19000\text{kg/m}^2$

Tab. 37: Güteklassen nach Kreč [KRE06]

In der Tabelle 38 werden die acht untersuchten Grundmodelle nach Kreč [KRE06] klassifiziert.

Ohne Verschattung erfüllt keines der Leichtbaumodelle den vereinfachten Nachweis nach ÖNORM B 8110-3 [ON099]. Es gibt keinen Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse, die Modelle sind nicht sommertauglich.

Die Massivbauten haben auch mit  $z=1$  alle mehr immissionsflächenbezogene Masse als nach dem vereinfachten Norm-Nachweis erforderlich wäre. Jene Massivbauten mit  $\Delta m_{w,i} < 11000\text{kg/m}^2$  fallen in die Klasse A, und jene mit  $\Delta m_{w,i} \geq 11000\text{kg/m}^2$  fallen in die Klasse B. Einige dieser

Massivbauten würden aber nach dem Nachweis über die mindest-erforderliche speicherwirksame Masse trotzdem eine Verschattung benötigen, um den mindesterforderlichen immissionsflächenbezogenen Luftvolumenstrom von  $50\text{m}^3/\text{hm}^2$  gewährleisten zu können.

Modell		Westen		Süden	
		z=1			
		$\Delta m_{w,l}$	Güteklasse	$\Delta m_{w,l}$	Güteklasse
1	Passivstandard, Leichtbau, kleine Fenster	-605		-362	
2	Passivstandard, Leichtbau, große Fenster	-1251		-1092	
3	Passivstandard, Massivbau, kleine Fenster	16105	B	18520	B
4	Passivstandard, Massivbau, große Fenster	9982	A	11601	B
5	1990er-Standard, Leichtbau, kleine Fenster	-1117		-941	
6	1990er-Standard, Leichtbau, große Fenster	-1594		-1480	
7	1990er-Standard, Massivbau, kleine Fenster	13372	B	13172	B
8	1990er-Standard, Massivbau, große Fenster	6801	A	8006	A

Tab. 38: Zuweisungen der Grundmodelle in die Güteklassen nach Kreč [KRE06]

Für das Modell 3 (Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster) würde die Zuweisung zu Klasse B nach der Klassifizierung mit  $\Delta m_{w,l}$  beispielsweise bedeuten, dass die sommerlichen Temperaturen zwischen  $25.5^\circ\text{C}$  und  $24^\circ\text{C}$  liegen. Für die Jahressimulationen ohne innere Lasten fallen die maximalen Temperaturen bei Westorientierung genau in diesen Bereich. Die maximale Temperatur in der periodischen Simulation liegt mit  $22.9^\circ\text{C}$  deutlich darunter. Für alle Simulationen mit Berücksichtigung innerer Wärmequellen werden  $25.5^\circ\text{C}$  überschritten.

Im Modell 4 sollten die sommerlichen Maximaltemperaturen zwischen  $27^\circ\text{C}$  und  $25.5^\circ\text{C}$  liegen. Dieses Intervall wird für Westorientierung bei einem Überschuss an immissionsflächenbezogener speicherwirksamer Masse von  $\Delta m_{w,l}=9982\text{kg}/\text{m}^2$  nur von der periodischen Simulation ohne innere Lasten erreicht. Die maximalen Temperaturen für alle anderen Simulationen liegen über  $27^\circ\text{C}$ .

Die Diagramme für Südorientierung finden sich im Anhang.



## 5.7. Globale Behaglichkeit

BuildOpt\_VIE kann für jede Stunde der Simulation den mittleren PMV- sowie den mittleren PPD-Index ausgeben. Am Beispiel der Jahres-simulation mit dem 2007er-Wetterdatensatz für das Modell 1 (Passivstandard, Leichtbau, kleine Fenster) soll der Zusammenhang zwischen Temperatur, Bekleidungsisolation, PMV- sowie PPD-Index dargestellt werden (Abbildungen 64 bis 67).

BuildOpt\_VIE variiert die Bekleidungsisolation in Abhängigkeit des zu erwartenden PMV-Wertes. PMV ist idealerweise 0 (neutral). Errechnet BuildOpt\_VIE in Abhängigkeit der anderen Parameter (Energieumsatz, Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Wasserdampfpartialdruck) einen negativen PMV-Wert, so wird die Bekleidungs-isolation auf bis zu 0.95clo (1clo = 0.155m<sup>2</sup>K/W) gesteigert und PMV erneut berechnet. Umgekehrt ist es ebenso. Errechnet BuildOpt\_VIE einen positiven Wert für PMV, so wird die Bekleidungsisolation auf bis zu 0.5clo gesenkt. Ziel ist es, durch diese Variation der Bekleidungsisolation mit dem PMV-Index möglichst nahe an Null zu kommen. Auf diese Weise kann BuildOpt\_VIE das Verhalten von Menschen simulieren, die sich bei Kälteempfinden anziehen bzw. bei Hitzeempfinden ausziehen.

In der Abbildung 64 ist der Temperaturverlauf vom 18. Juli bis zum 22. Juli dargestellt. Für das Modell 1 (Passivhausstandard, Leichtbau, kleine Fenster) unter Verwendung des 2007er-Wetterdatensatzes (Westorientierung der Fensterfassade, ohne innere Lasten, z=0.76) ermittelt BuildOpt\_VIE am 20. Juli eine Temperatur von 29.6°C. Für diese Innentemperatur errechnet BuildOpt\_VIE eine Bekleidungsisolation von 0.5clo (Abbildung 65), um auf einen PMV-Wert möglichst nahe bei Null (hier 1.36) zu kommen. Unter Verwendung der Formel aus Kapitel 3.2.1. ermittelt BuildOpt\_VIE aus dem PMV-Wert einen PPD-Wert von 43.2%. Es würden 43.2% aller betroffenen Personen das Innenklima mit einem PMV-Wert von -3 (heiß), -2 (warm), 2 (kühl) oder 3 (kalt) beurteilen.

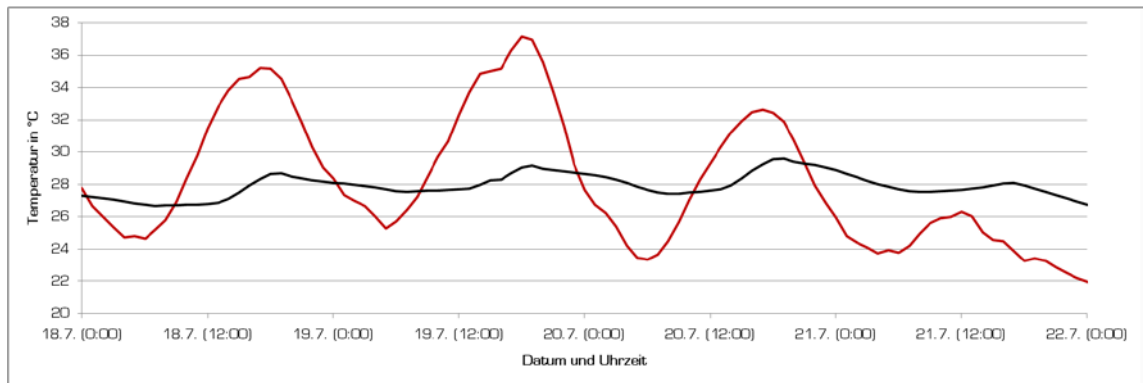


Abb. 64: Temperaturverlauf im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen)

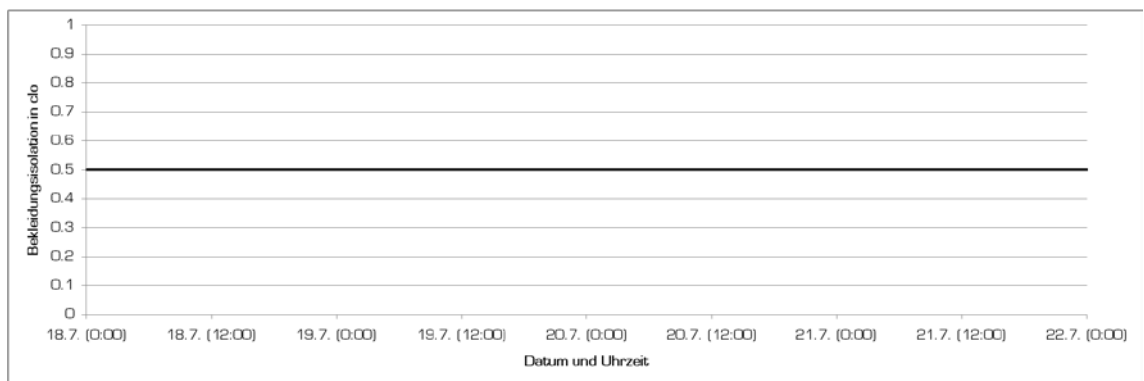


Abb. 65: Bekleidungsisolierung im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen)

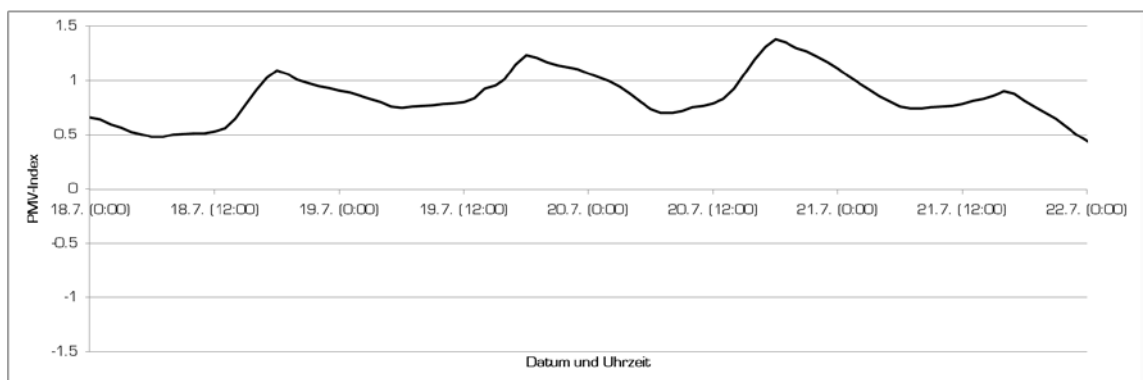


Abb. 66: PMV-Index im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen)

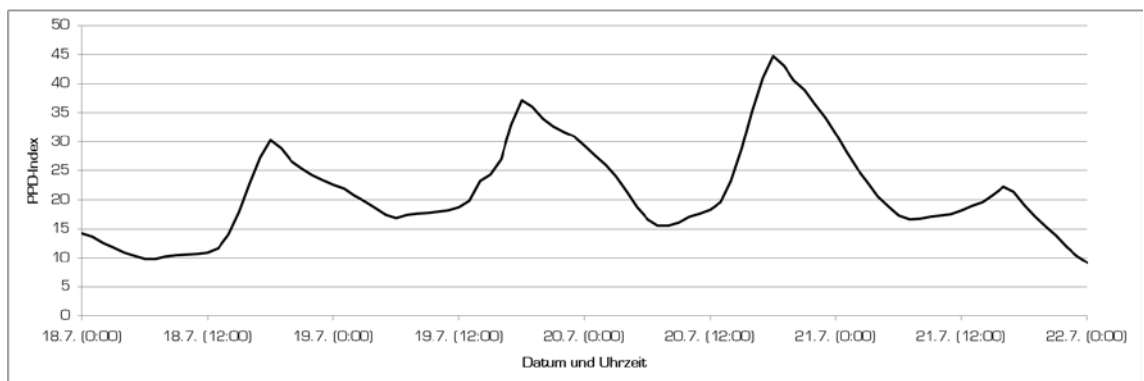


Abb. 67: PPD-Index im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen)

In der Abbildung 29 (Kapitel 5.3.1.) ist für jedes der acht Modelle unter Verwendung des 2007er-Wetterdatensatzes und des jeweils erforderlichen z-Wertes laut Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse und ohne Berücksichtigung innerer Lasten die maximale Temperatur aufgetragen, die sich in der Jahressimulation im Juli und August einstellt. Im folgenden Diagramm (Abbildung 68) ist für genau diese Temperaturen der PMV-Wert eingetragen. Die Bekleidungsisolationswert ist für alle acht Fälle 0.5clo.

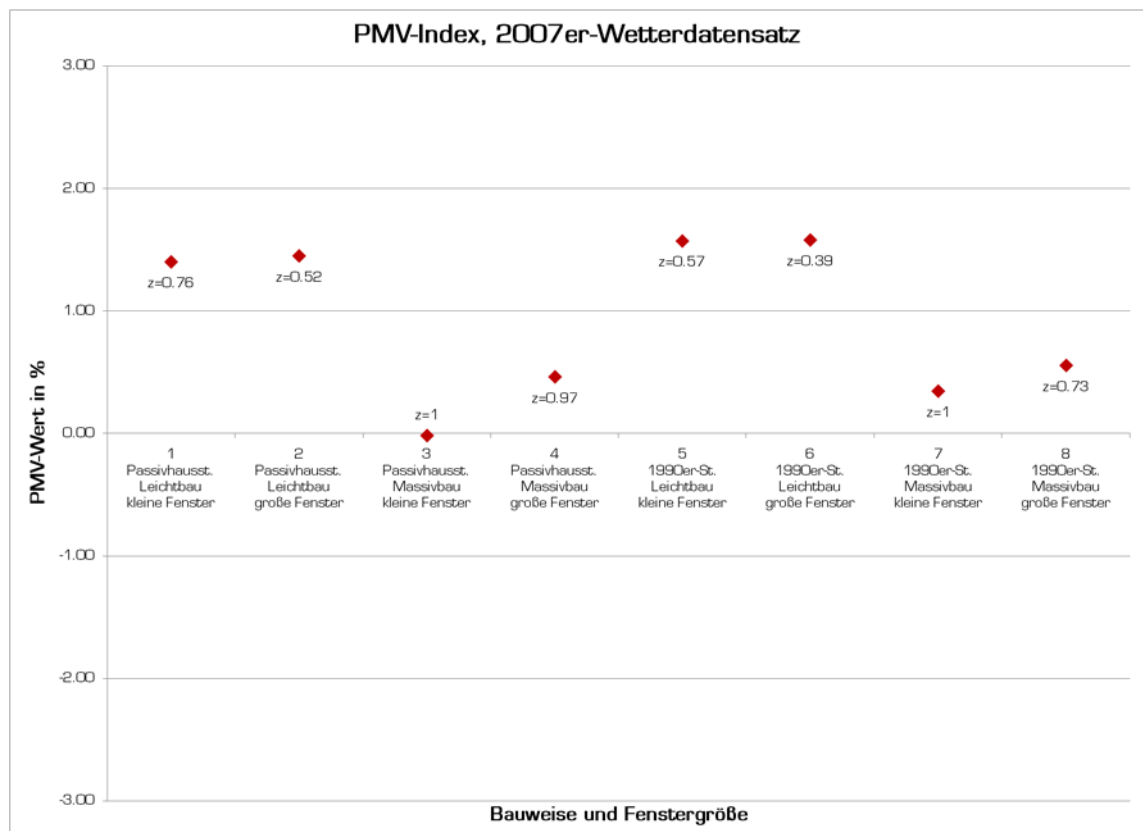


Abb. 68: PMV-Indices für Maximaltemperaturen (2007er-Wetter, oil, Westen)

Laut ÖNORM EN ISO 7730 [ON006] sollte diese Klassifizierung nur angewendet werden, wenn der PMV-Index zwischen +2 und -2 liegt. Außerdem sollte der Index nur angewendet werden, wenn die Lufttemperatur zwischen 10°C und 30°C liegt. Für die Modelle 5 und 6 ist der PPD-Index aufgrund der maximalen Temperaturen von über 30°C also nicht anwendbar.

In der Abbildung 69 sind die zu den PMV-Werten aus Abbildung 68 gehörenden PPD-Werte aufgetragen. Das Modell 3 (Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster) erreicht einen PPD-Wert von 5%. Es würden also bei der operativen Temperatur von 25°C nur 5% der Befragten mit der thermischen Umgebung unzufrieden sein.

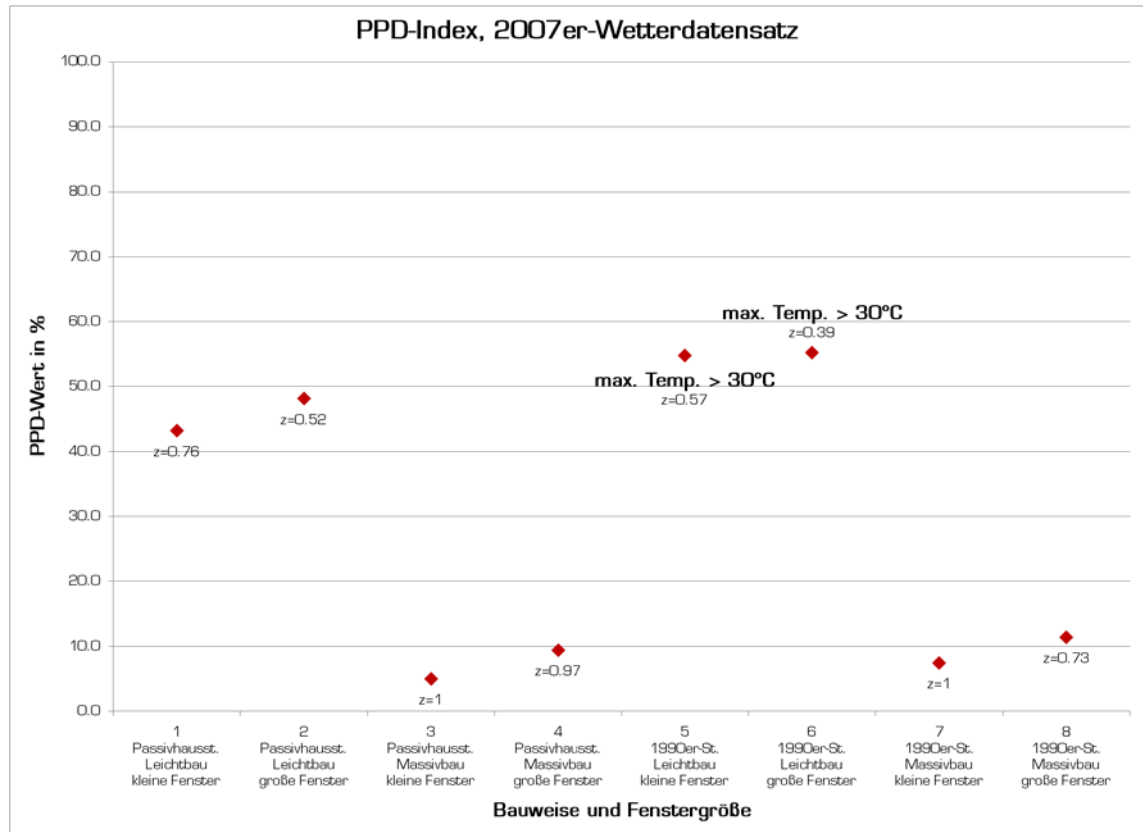


Abb. 69: PPD-Indices für Maximaltemperaturen (2007er-Wetter, oiL, Westen)

Für die Südorientierung der Fensterfassaden stellen sich grundsätzlich niedrigere maximale Temperaturen als für Westorientierung ein (Abbildung 30). Werden aber innere Lasten berücksichtigt (Abbildung 32), so liegen die PPD-Werte so hoch, dass diese Klassifizierung für die Leichtbauten nicht angewendet werden darf (Abbildung 70).

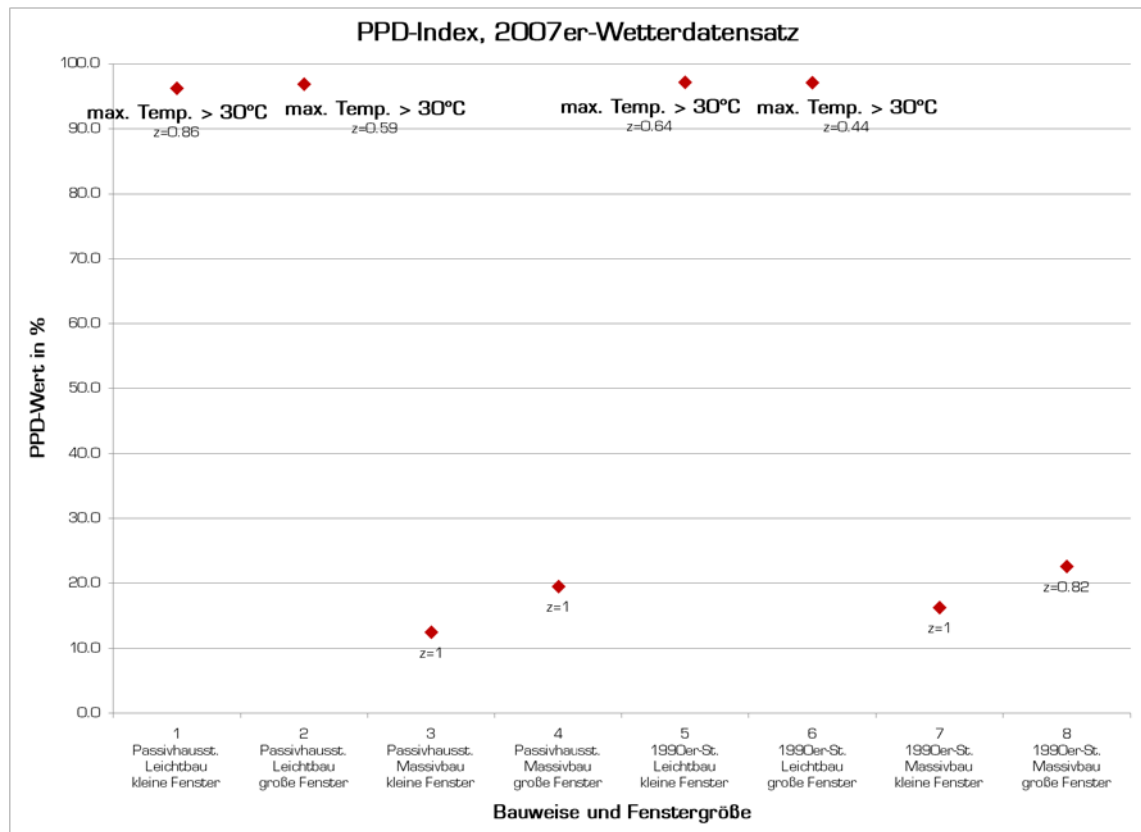


Abb. 70: PPD-Indices für Maximaltemperaturen (2007er-Wetter, miL, Süden)

### Zusammenfassung

Die Klassifizierung mittels PMV- und PPD-Index ist für die Bewertung sommerlicher thermischer Verhältnisse meist ungeeignet, weil die auftretenden operativen Raumtemperaturen über dem Anwendungsbereich dieses Verfahrens liegen.

## 5.8. Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251

Trägt man die maximalen operativen Innentemperaturen in Abhängigkeit der Außentemperaturen für die Jahressimulation mit dem 2007er-Wetterdatensatz ohne Berücksichtigung der inneren Wärmequellen und für die Westorientierung der Fensterfassade in einem Diagramm auf, so gelangt man zur Abbildung 71. Die Abbildung 71 (EN 15251-Klassifizierung) kann direkt mit der Abbildung 69 (PPD-Index) verglichen werden.

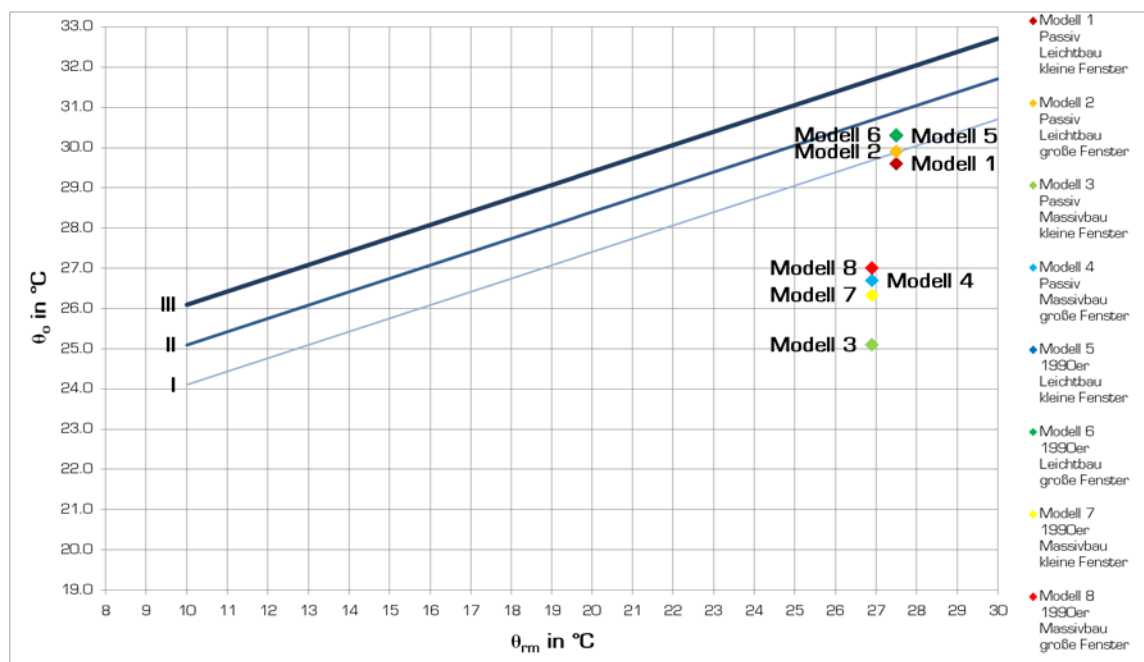


Abb. 71: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] (2007, oiL, Westen)

Die Modelle 3, 4, 7 und 8 (= alle Massivbauten) sowie die beiden Passivstandard-Leichtbauten liegen in der Kategorie 1. Das Modell 3 (Passivhausstandard, Massivbau, kleine Fenster) liegt unter dem unteren Limit für die Kategorie 1, die operative Innentemperatur ist zu kalt, weil BuildOpt\_VIE die Fenster immer dann öffnet, wenn es draußen kühler als drinnen ist. Ein realer Bewohner würde in dieser Situation die Fenster nachts nicht mehr öffnen. Daraus folgt, dass während des Sommers das untere Limit nicht maßgeblich ist.

Die beiden 1990er-Standard-Leichtbauten liegen aufgrund zu hoher Raumtemperaturen in der Kategorie 2.

Auch in der Klassifizierung für Südorientierung der Fensterfassade nach einer Simulation mit dem 2007er-Wetterdatensatz und mit Berücksichtigung der inneren Lasten liegen alle Massivbauten in der Kategorie 1.

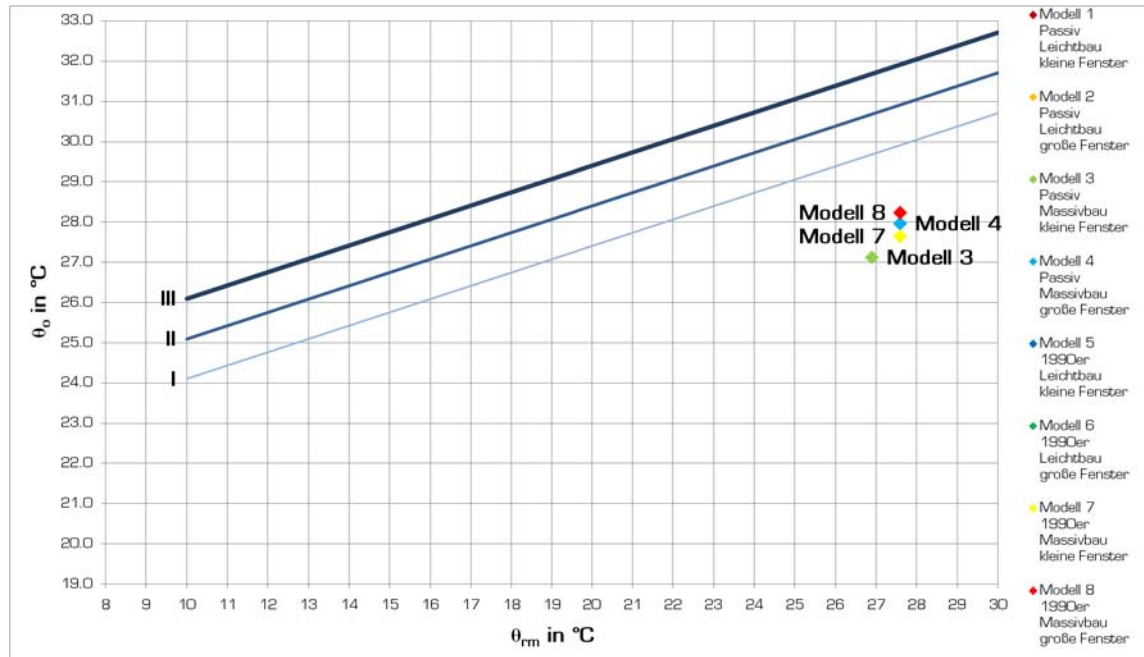


Abb. 72: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] (2007, miL, Süden)

Die Leichtbauten erreichen die maximale operative Raumtemperatur immer am 19. Juli. Der gleitende Mittelwert der Außentemperatur  $\theta_{rm}$  ist an diesem Tag 26,6°C. Alle Leichtbauten haben an diesem Tag maximale operative Raumtemperaturen von über 34°C und liegen daher alle in der Kategorie 4. Kein Leichtbaumodell kann in der Abbildung 72 erfasst werden.

Die Abbildung 73 stellt die Klassifizierung unter Verwendung des IWEC-Wetterdatensatzes dar. Unter diesen Bedingungen schafft es kein untersuchtes Modell in die Kategorie 1, und nur eines in die Kategorie 2. Alle vier Leichtbauten liegen in der Kategorie 4, sind aber im Diagramm zu erfassen.

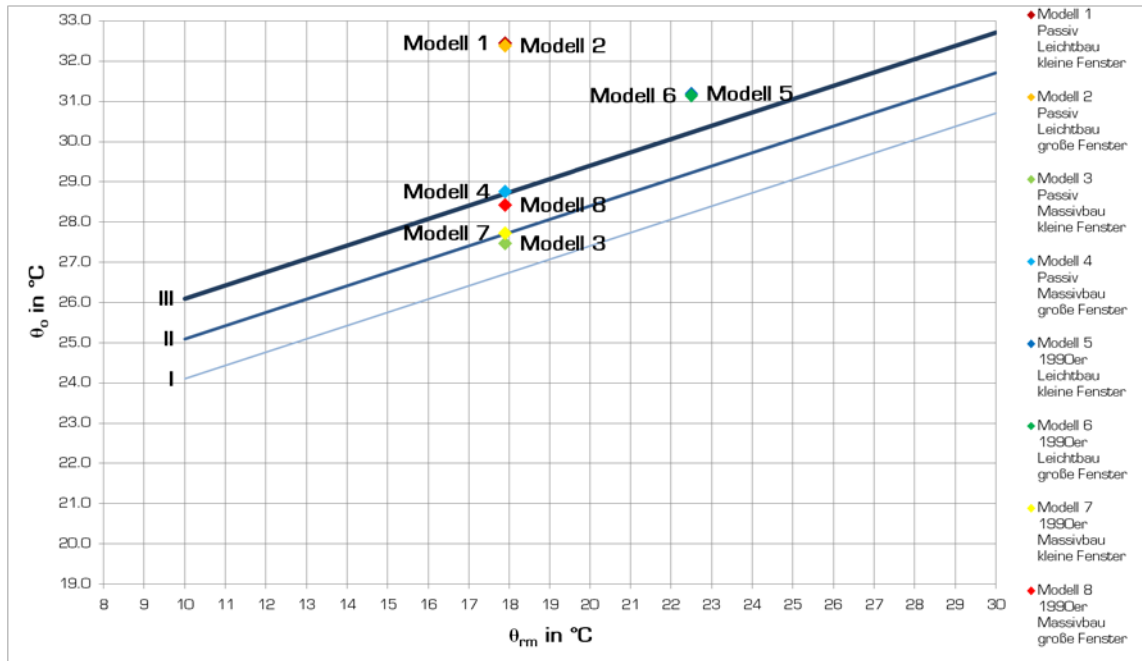


Abb. 73: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] (IWEC, miL, Süden)

Unter Verwendung der Norm-Klimadaten in der periodischen Simulation liegen alle 8 Modelle in der Kategorie 1 (Abbildung 74).

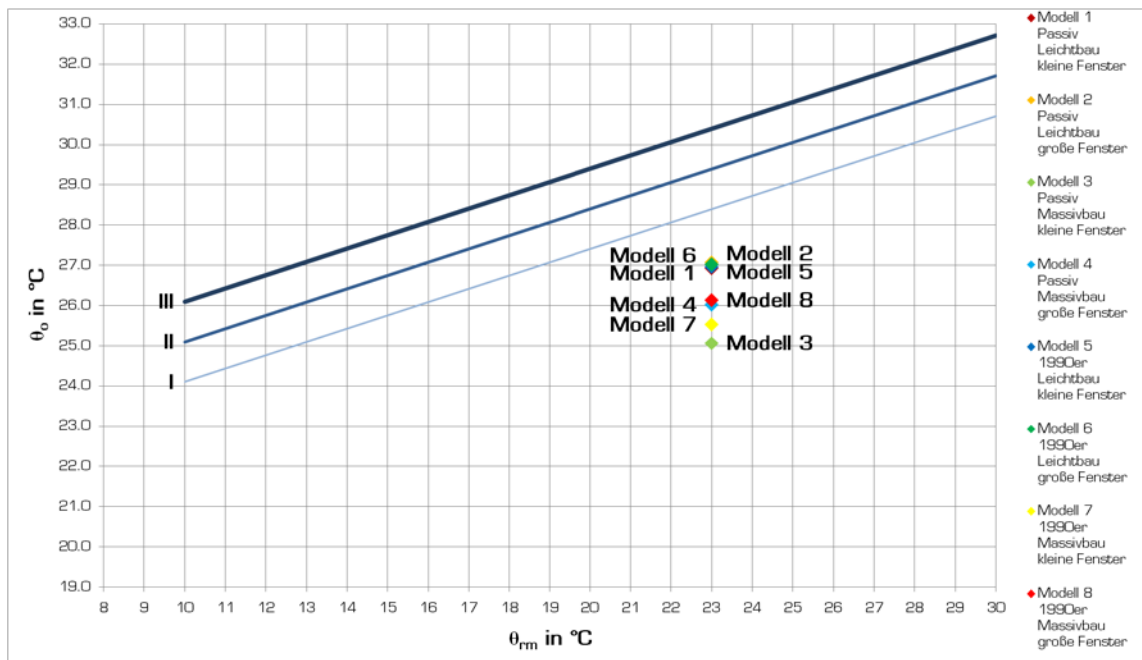


Abb. 74: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 (period. Zustand, miL, Süden)



Die ÖNORM EN 15251 liefert eine Kategorisierung, die mit höheren Innentemperaturen als die PMV- und PPD-Klassifizierung noch angewendet werden darf. In Hitzeperioden liegen die auftretenden operativen Raumtemperaturen aber so hoch, dass auch die ÖNORM EN 15251-Kategorisierung keine brauchbare Beurteilung mehr liefert.

## 6. Zusammenfassung

Nach derzeit gültiger ÖNORM B 8110-3 [ON099] werden im Nachweis über die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (= vereinfachter Sommertauglichkeitsnachweis) für den Wohnbau nur jene inneren Wärmequellen berücksichtigt, die bei der Erstellung der Norm in dieses Berechnungsverfahren einbezogen wurden. Im Sinne der Normierung kann dieser Ansatz vertreten werden. Wenn der Bewertung der Sommertauglichkeit aber thermische Simulationen zugrundegelegt werden, sind innere Wärmequellen unbedingt zu berücksichtigen. Werden innere Lasten nicht in der Simulationsrechnung erfasst, werden die tatsächlich auftretenden Raumtemperaturen unterschätzt und es kann zu falschen Rückschlüssen auf das optimale Lüftungsverhalten kommen.

Der vereinfachte Nachweis nach ÖNORM B 8110-3 [ON099] und die Simulation mit dem derzeitigen periodisch anzusetzendem Norm-Klima korrelieren gut, wenn innere Lasten in der Simulation berücksichtigt werden. Beim Vergleich des vereinfachten Nachweises mit den Ergebnissen aus Simulationen, denen der IWEC-Wetterdatensatz (= Testreferenzjahr) zugrundegelegt wurde, konnte keine Übereinstimmung festgestellt werden. Das Norm-Klima für die periodische Simulation ist also nicht repräsentativ für tatsächlich auftretende Temperaturverläufe. Um eine Vergleichbarkeit zwischen dem vereinfachten Nachweis und der Realität zu schaffen, ist es notwendig das periodische Klima in der ÖNORM B 8110-3 [ON099] an das tatsächlich auftretende Klima anzupassen. Für Wien müsste dieser standortbezogene periodische Temperaturverlauf einen höheren Mittelwert und einen geringeren Tagesgang (= Durchschnittssommer) aufweisen.

Sehr gute Abschätzungen der auftretenden sommerlichen Raumtemperaturen können nur mit Jahressimulationen erreicht werden, denen standortbezogene Testreferenzjahre zugrunde gelegt werden.

Das vereinfachte Verfahren eignet sich gut, wenn nächtliches Dauerlüften durch die Fenster möglich ist. Wird aber von der Verwendung einer Lüftungsanlage ausgegangen, so sollte jedenfalls eine Jahressimulation zur Nachweisführung eingesetzt werden. In den meisten untersuchten Fällen konnte ein 1.5-facher Luftwechsel über eine Lüftungsanlage nicht dieselbe Wärmeabfuhr erreichen wie nächtliches Dauerlüften durch die Fenster. Ein 1.5-facher Luftwechsel ist meist zu gering um in Wohnungen die Grenztemperatur von 27°C zu unterschreiten.

Zur Beurteilung der sommerlichen Raumtemperaturen muss festgestellt werden, dass sich die untersuchten Klassifizierungsverfahren für den IWEC-Wetterdatensatz (= Testreferenzjahr) und für den periodischen Zustand (= Durchschnittssommer) eignen. Zur Beurteilung von Hitzeperioden existieren derzeit keine zufriedenstellenden Bewertungsverfahren.

7. Anhang

7.1. Vergleich Fensterlüftung mit Anlagenlüftung (Süden)

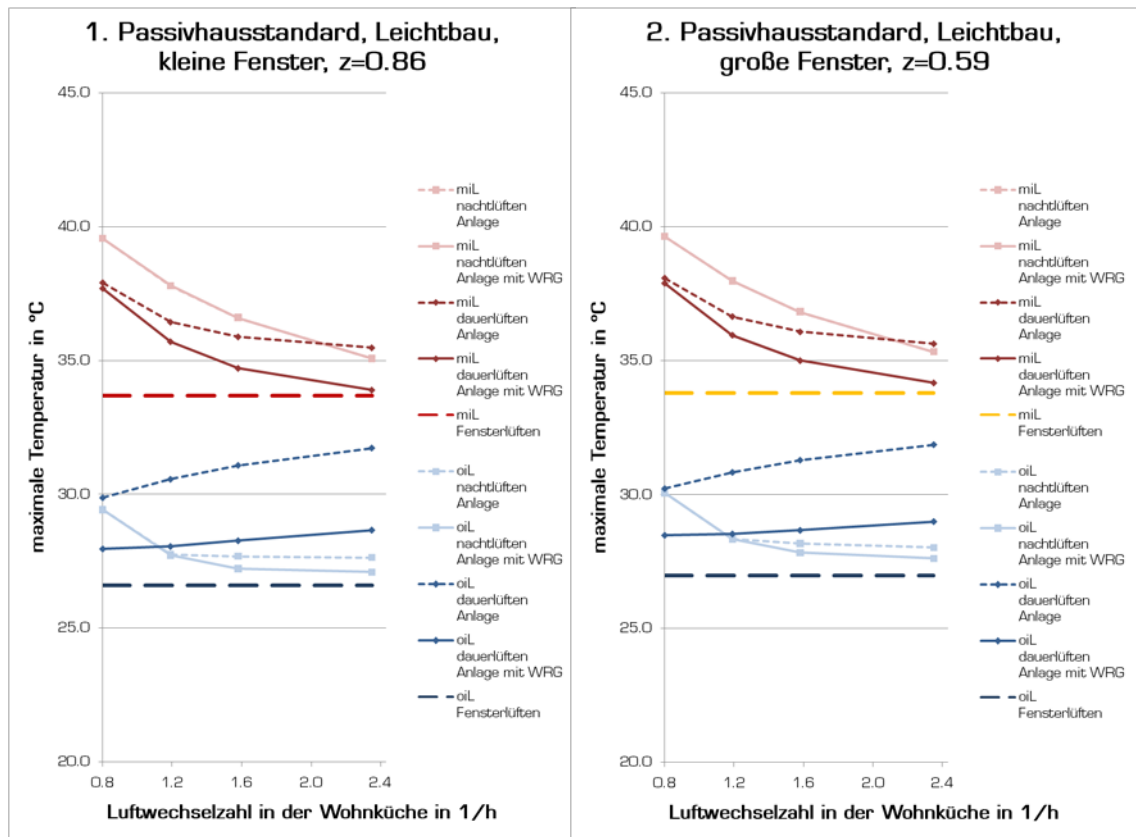


Abb. 75: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, z<sub>min</sub>, 2007, Süden)

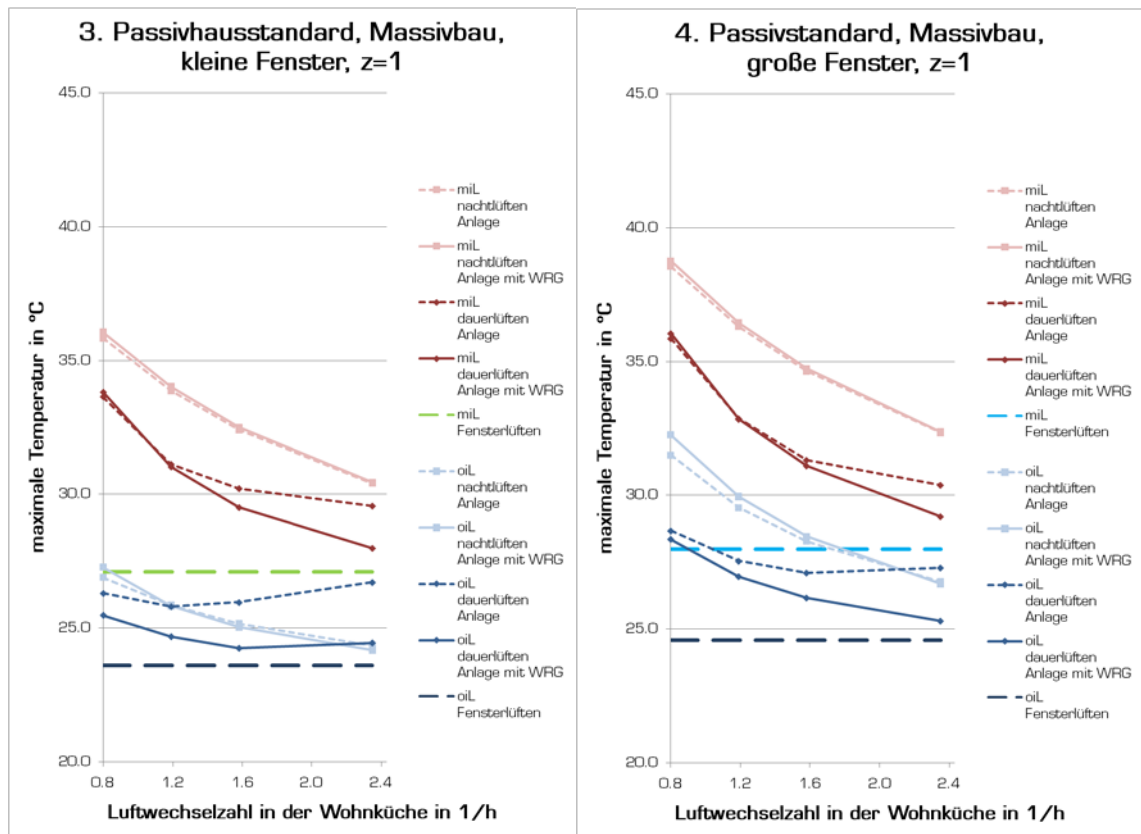


Abb. 76: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z<sub>min</sub>, 2007, Süden)

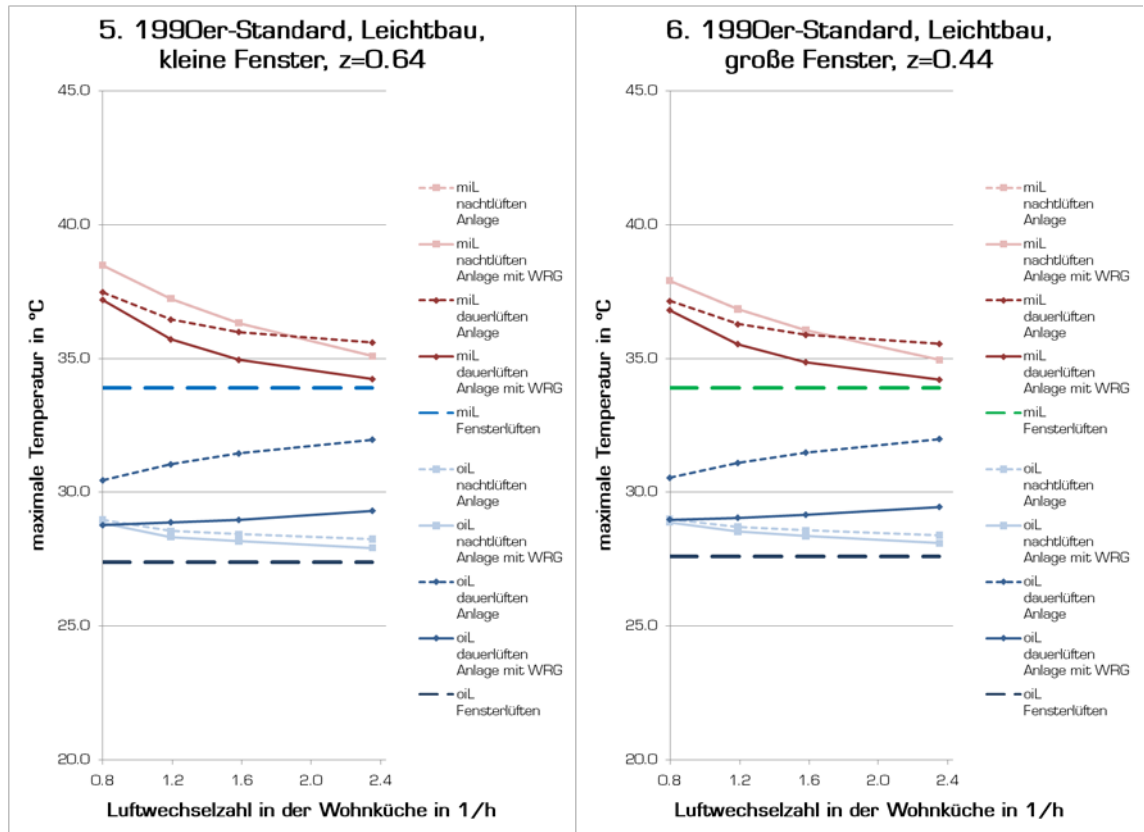


Abb. 77: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, z<sub>min</sub>, 2007, Süden)

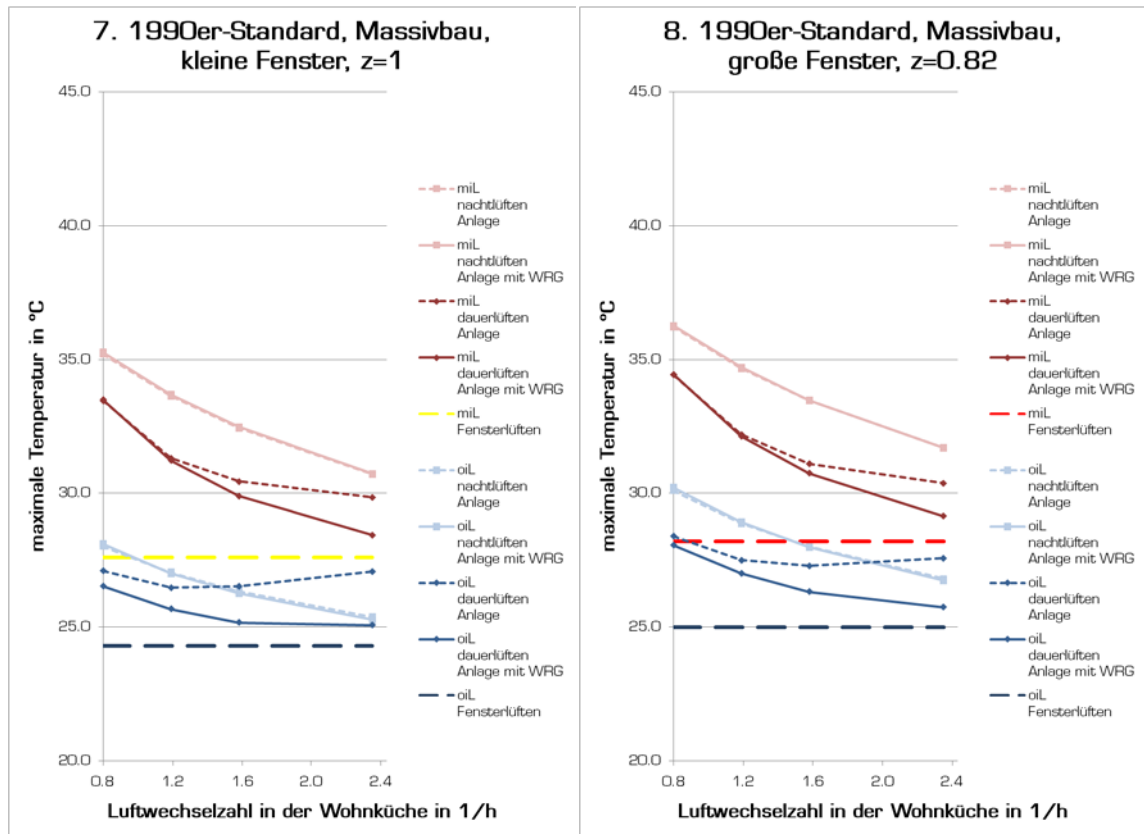


Abb. 78: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, z<sub>min</sub>, 2007, Süden)

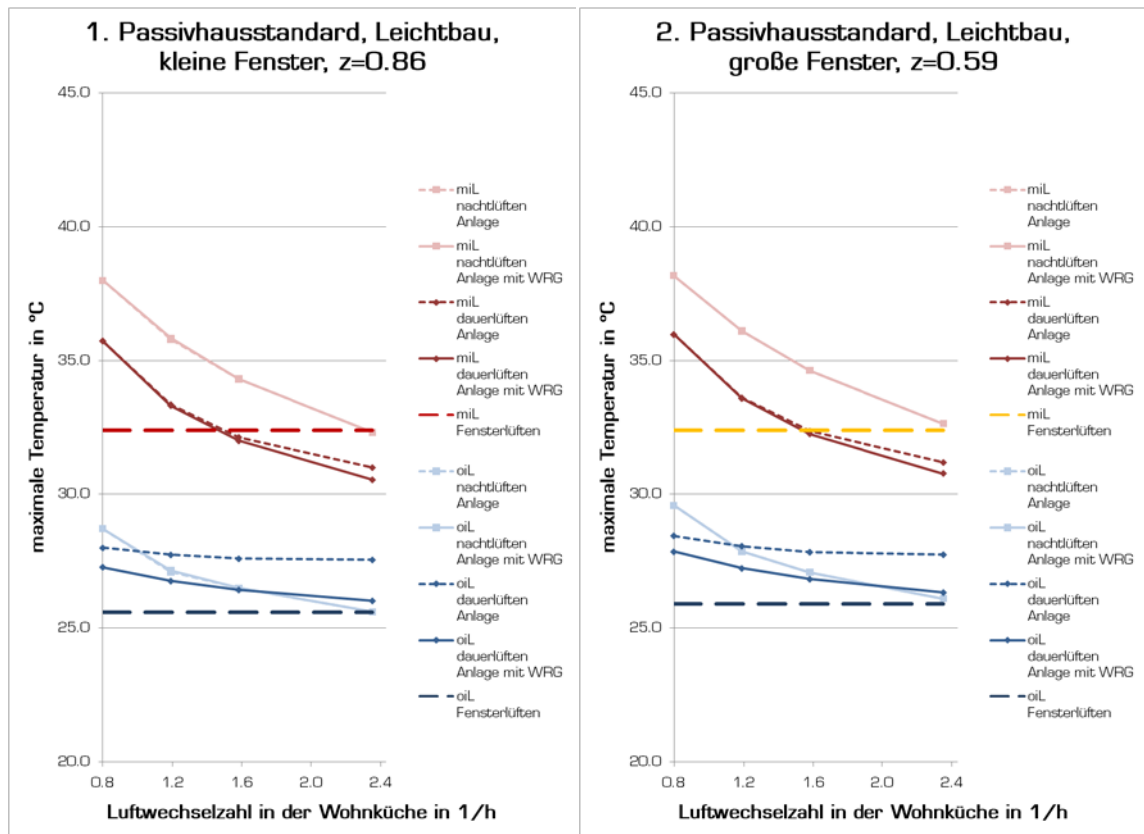


Abb. 79: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 1 und 2,  $z_{min}$ , IWEC, Süden)

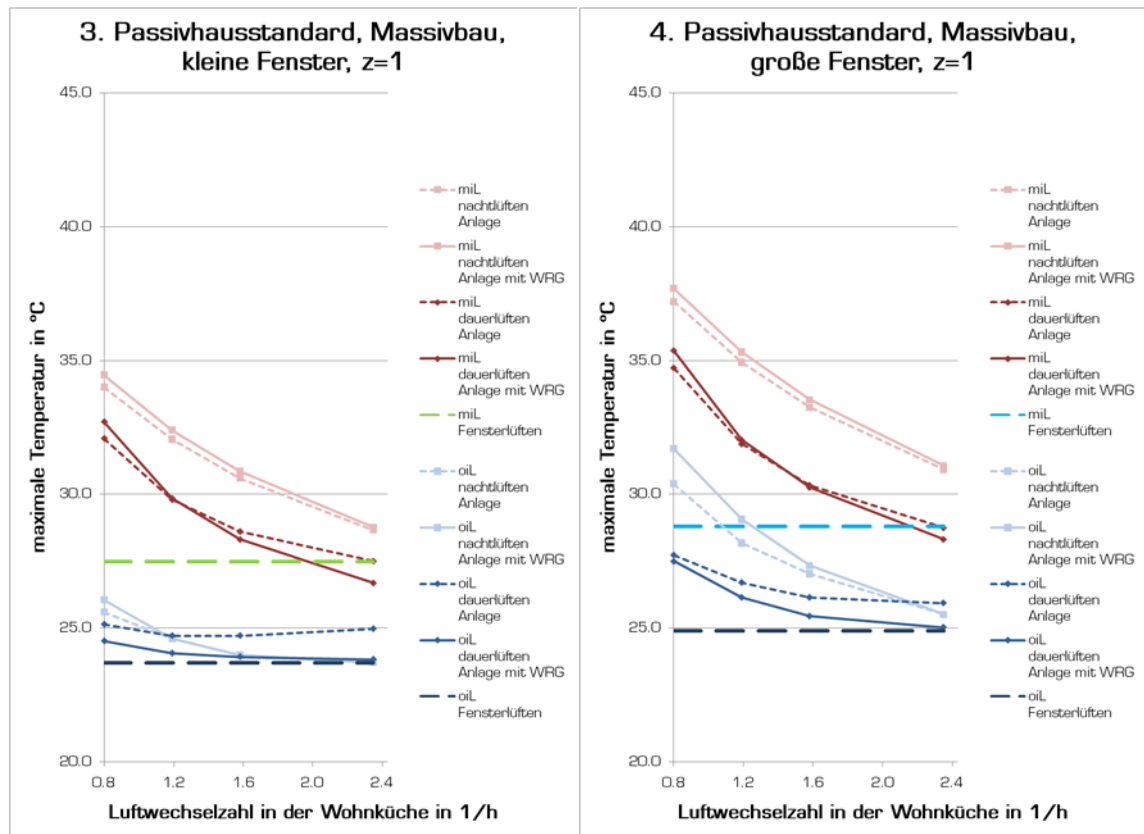


Abb. 80: Temperaturen bezogen auf  $n$  (Modell 3 und 4,  $z_{min}$ , IWEC, Süden)

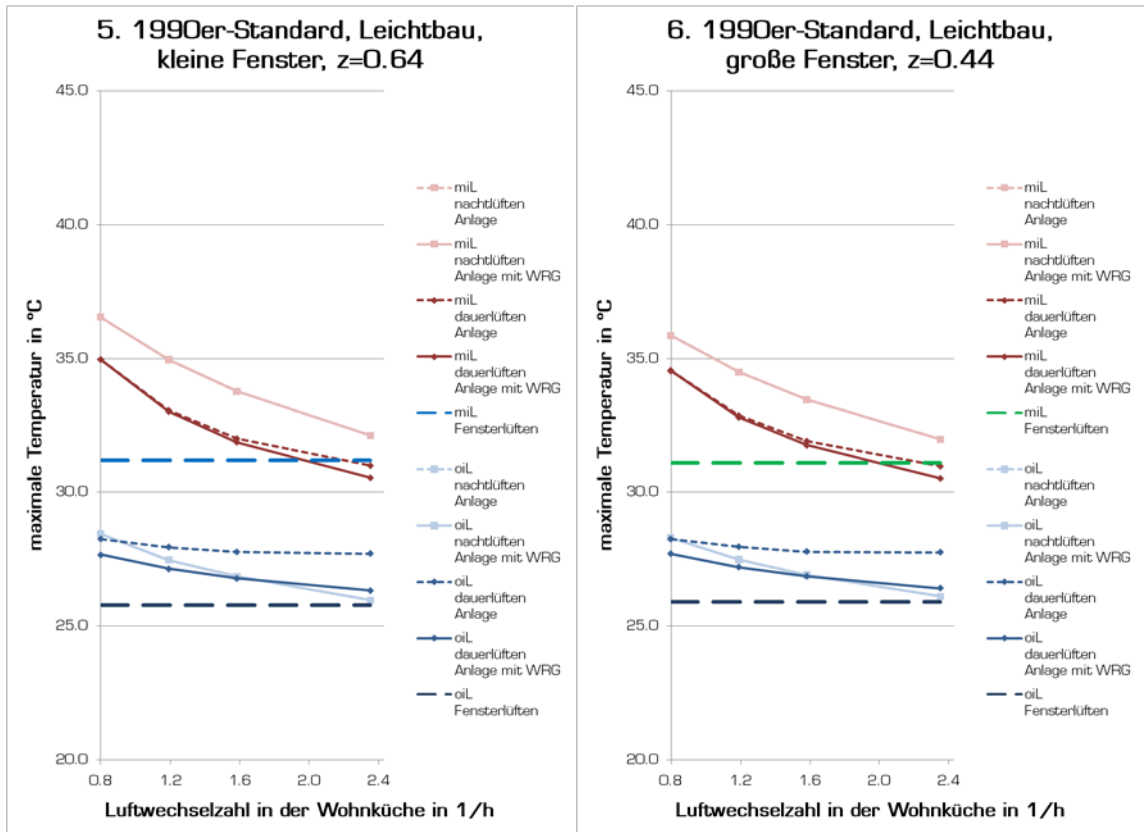


Abb. 81: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6,  $z_{min}$ , IWEC, Süden)

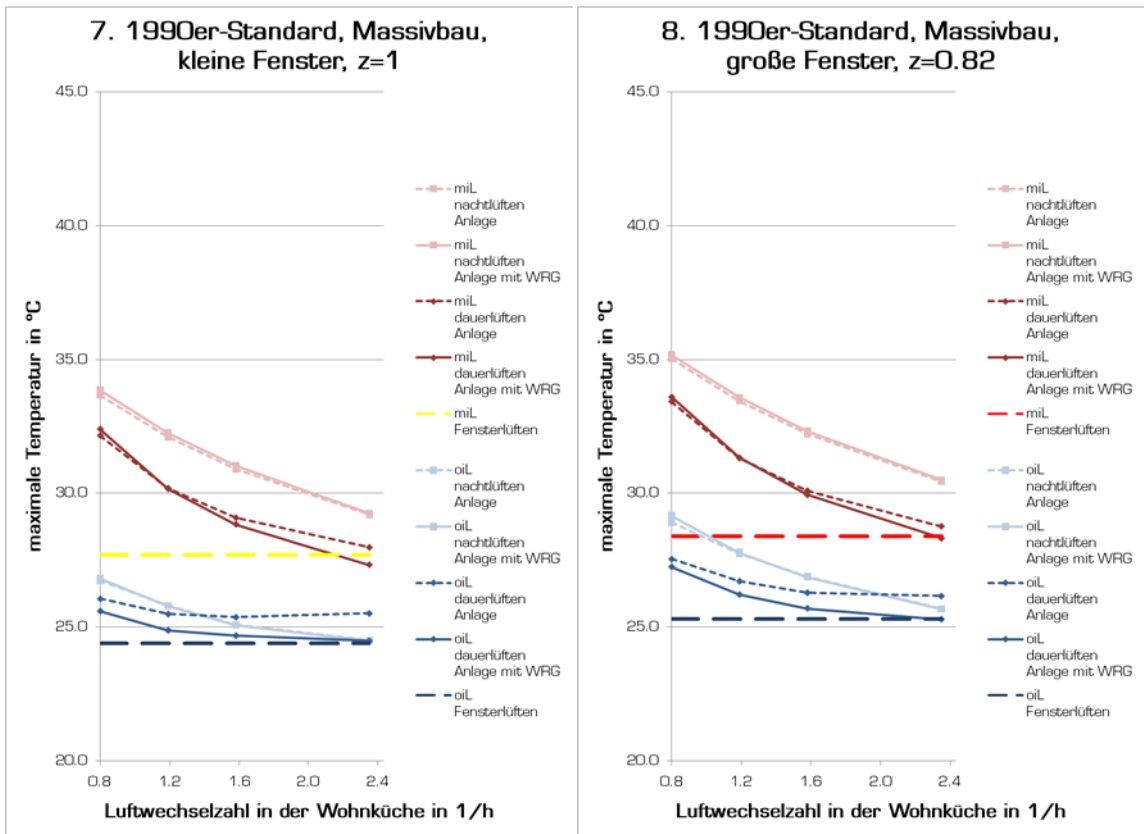


Abb. 82: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8,  $z_{min}$ , IWEC, Süden)

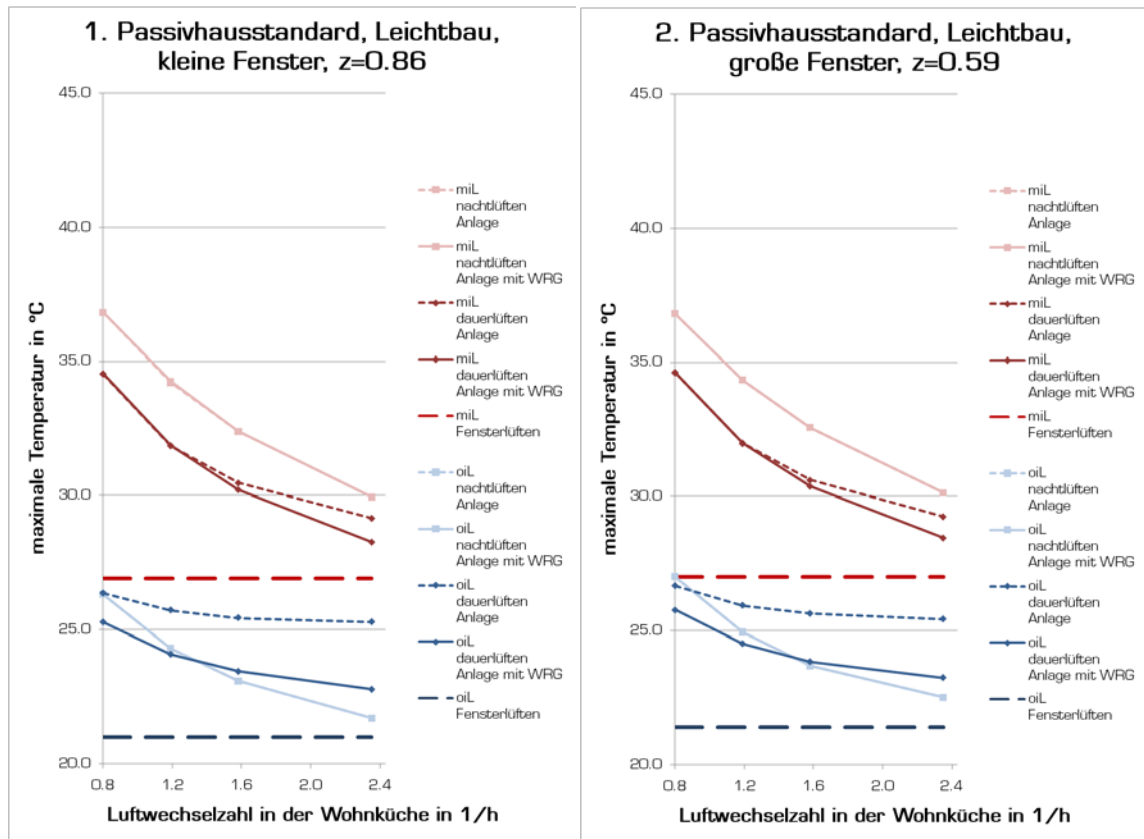


Abb. 83: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, z<sub>min</sub>, period. Zust., Süden)

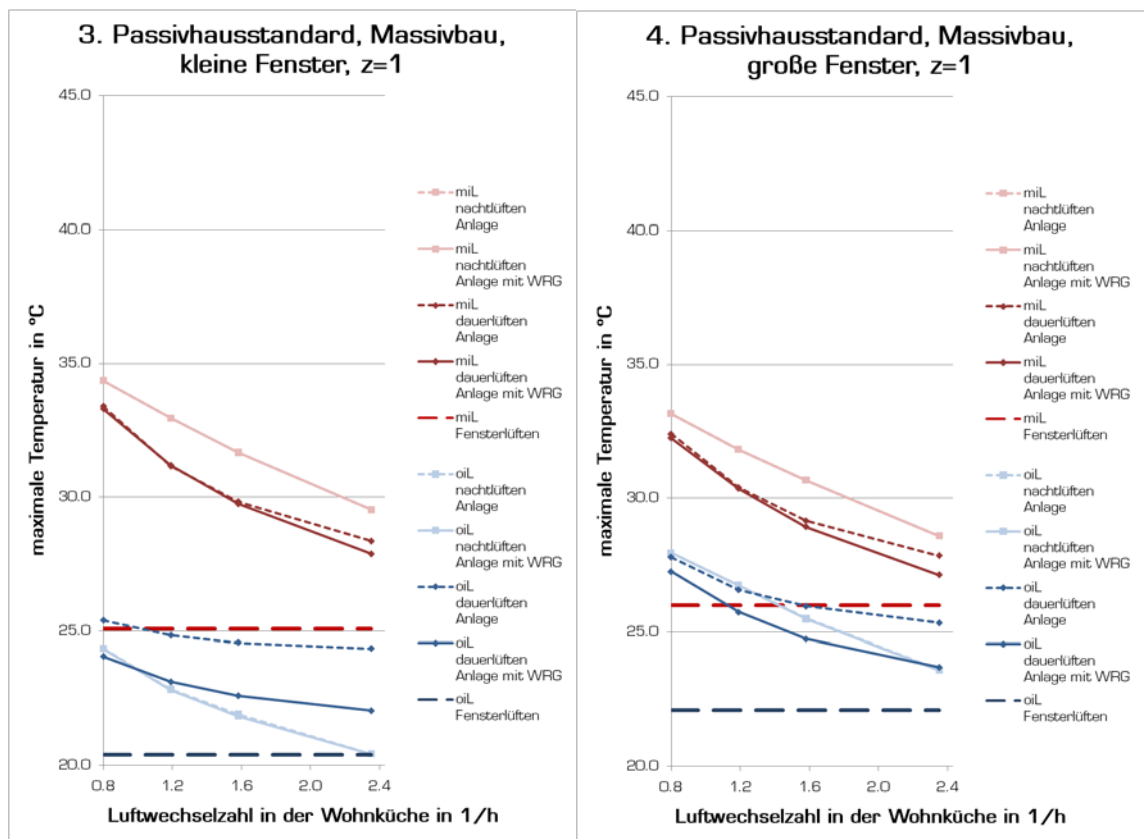


Abb. 84: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, z<sub>min</sub>, period. Zust., Süden)



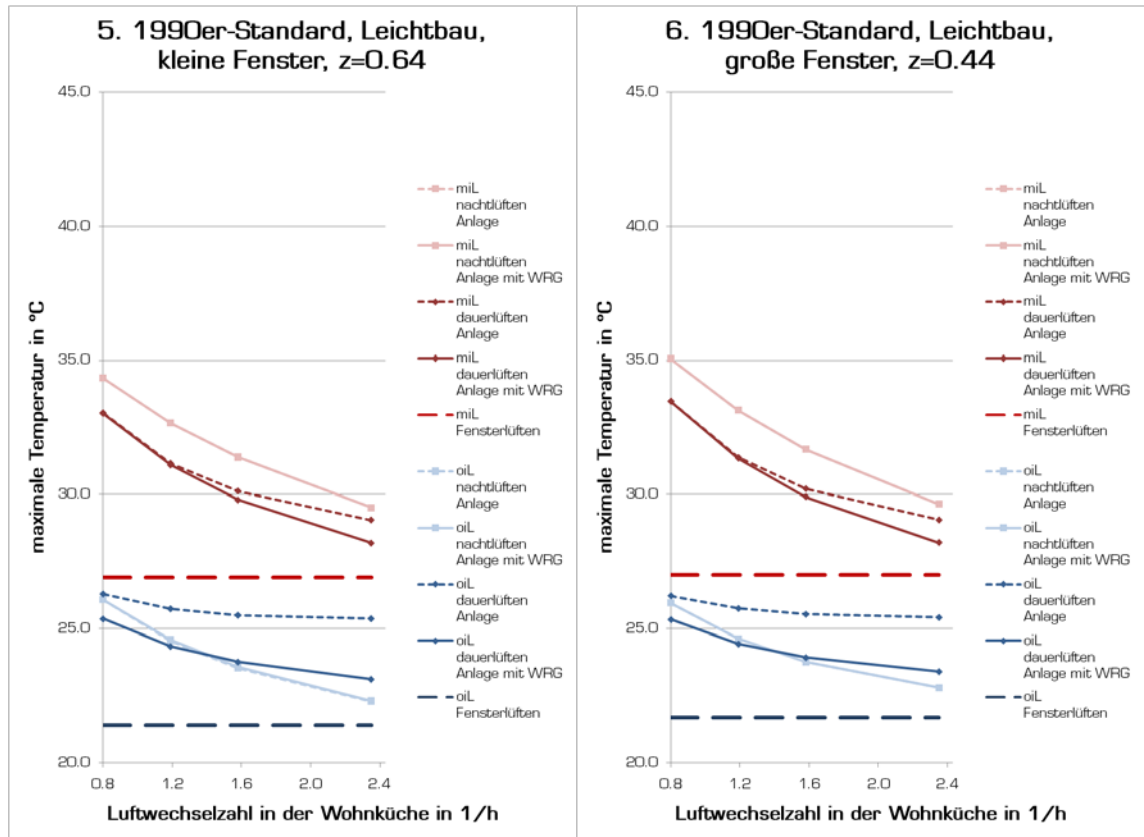


Abb. 85: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, z<sub>min</sub>, period. Zust., Süden)

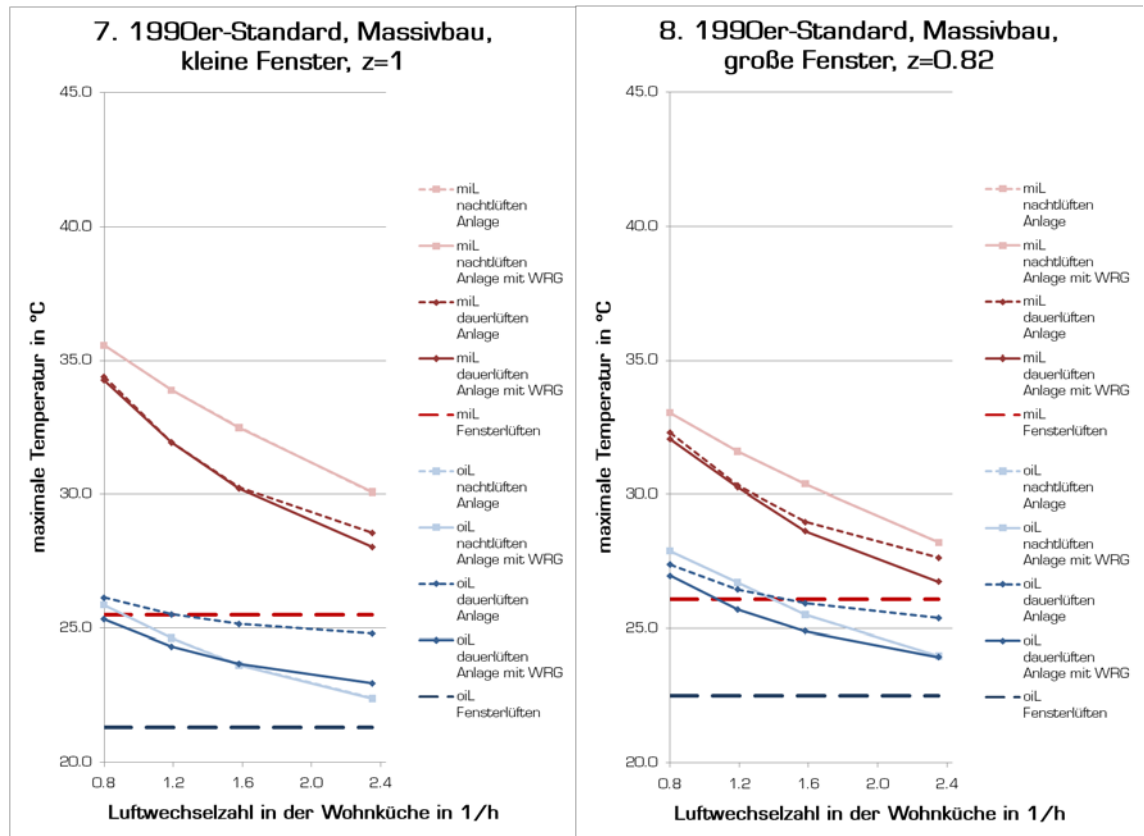


Abb. 86: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, z<sub>min</sub>, period. Zust., Süden)

### 7.2. Temperaturverlauf bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Süden)

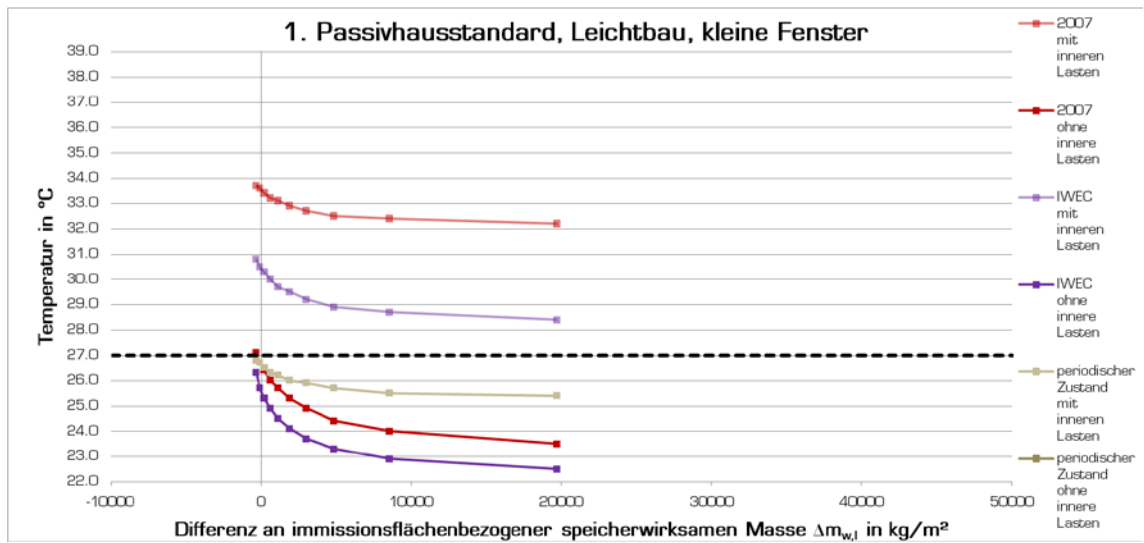


Abb. 87: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 1, Süden)

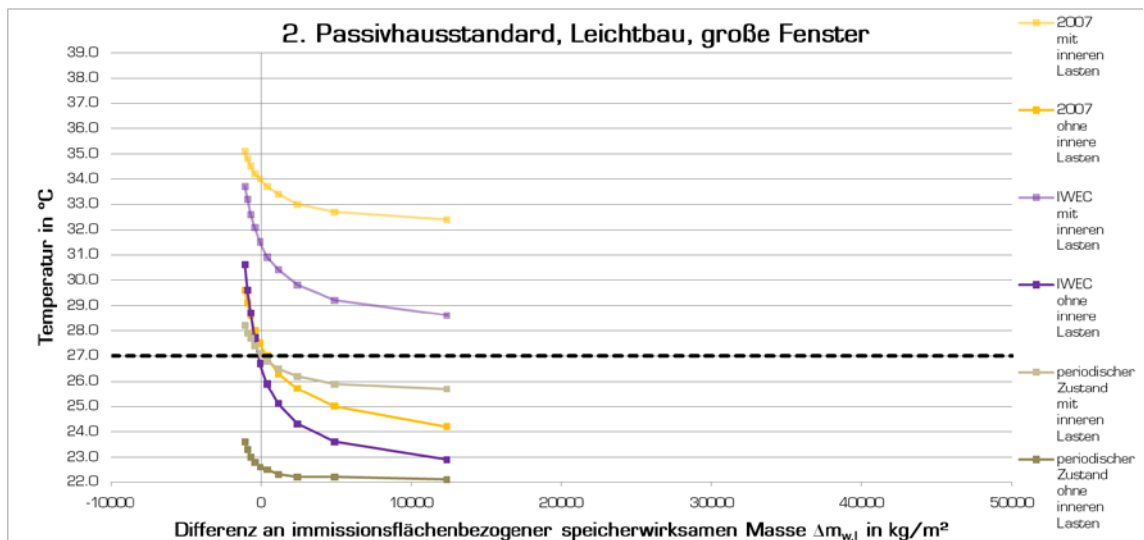


Abb. 88: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 2, Süden)

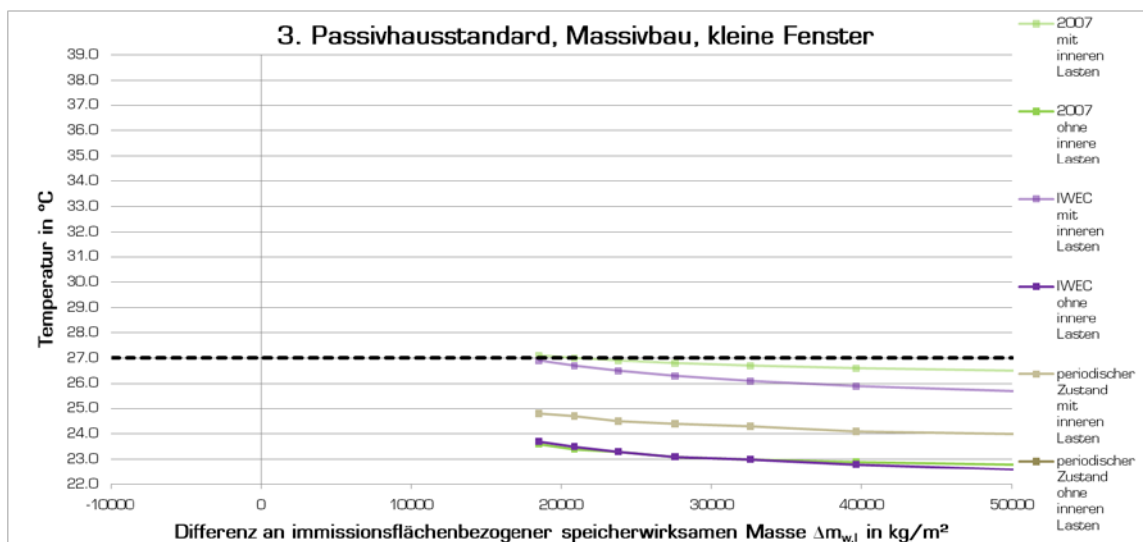


Abb. 89: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 3, Süden)

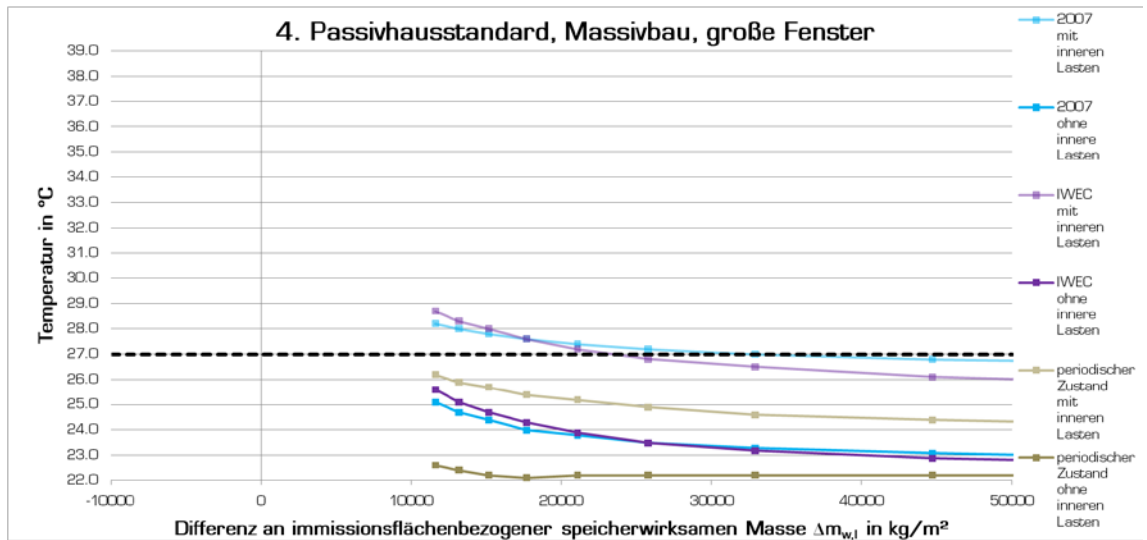


Abb. 90: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 4, Süden)

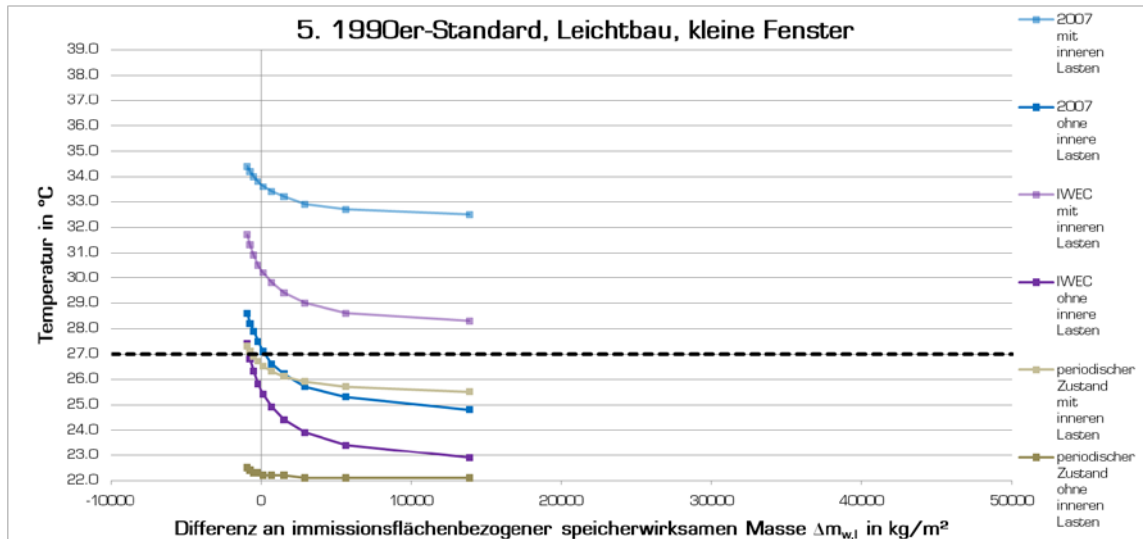


Abb. 91: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 5, Süden)

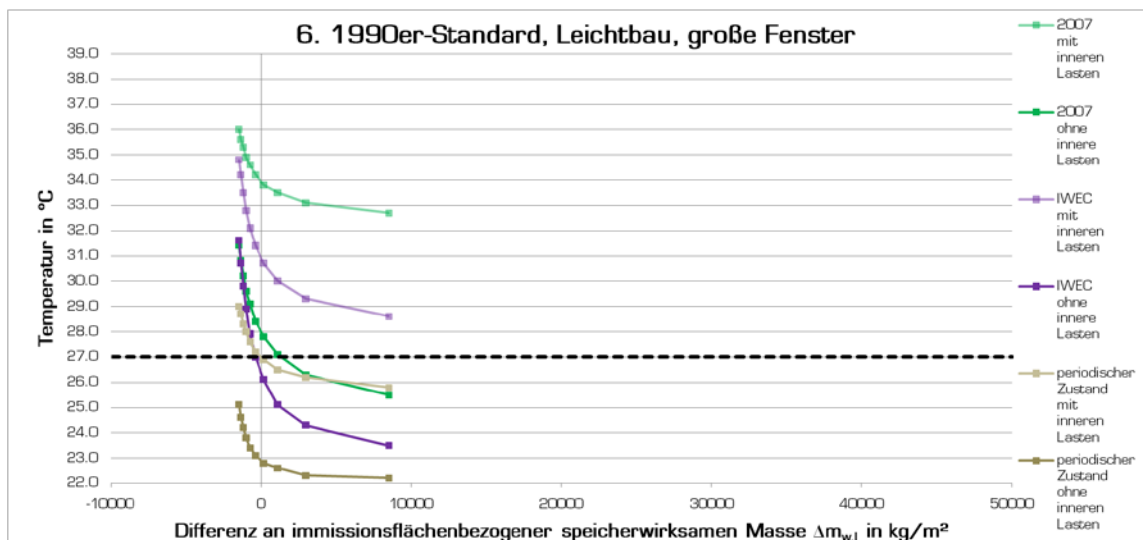


Abb. 92: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 6, Süden)

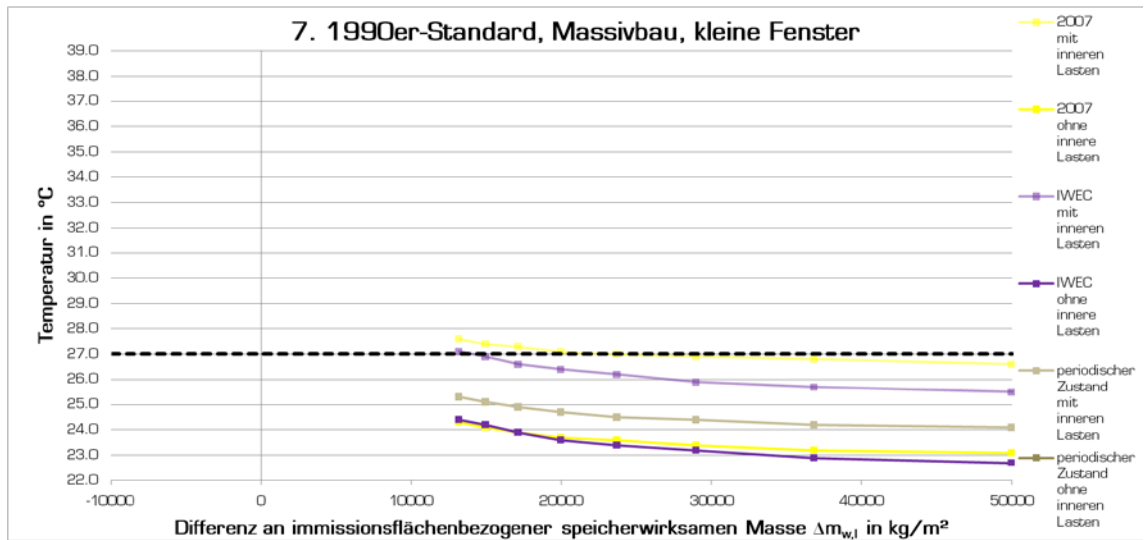


Abb. 93: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 7, Süden)

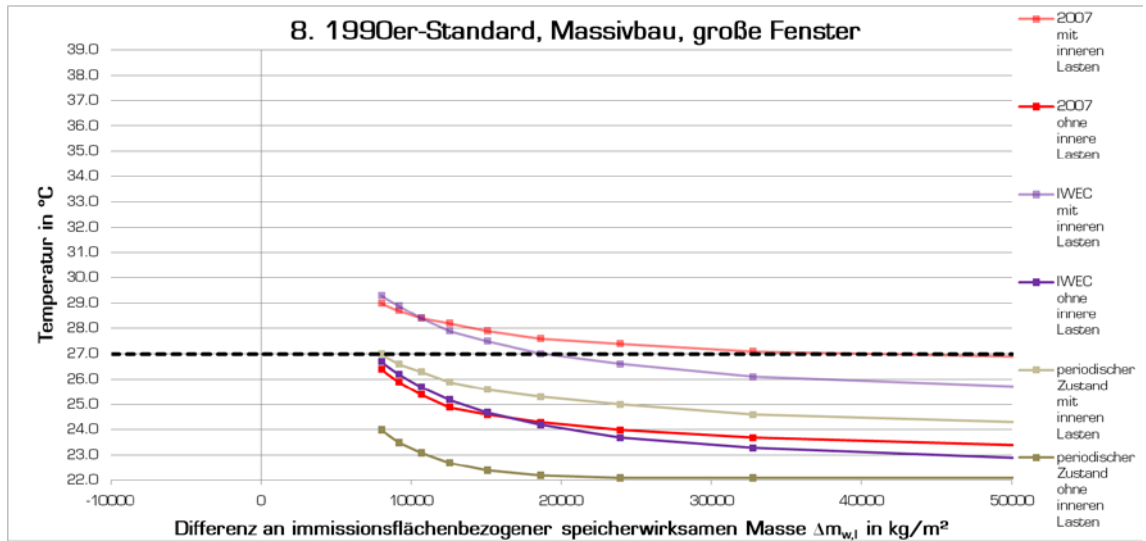


Abb. 94: Maximale Temperaturen bezogen auf  $\Delta m_{w,l}$  (Modell 8, Süden)

## 8. Literatur

[BED09] Bednar, Thomas. TU Wien.

[DUD07] Duden - Deutsches Universalwörterbuch. 6., überarbeitete und erweiterte Auflage. Mannheim - Leipzig - Wien - Zürich: Herausgegeben von der Dudenredaktion, Dudenverlag, 2007.

[EN98] EN 410. Glas im Bauwesen. Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, 1998.

[KRE06] Kreč, Klaus. Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden. Bericht. Forschungsprojekt im Auftrag der Initiative Ziegel im Fachverband der Stein- und keramischen Industrie. Schönberg am Kamp, 2006.

[ON099] ÖNORM B 8110-3. Wärmeschutz im Hochbau. Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 1999.

[ON001] ÖNORM EN ISO 7726. Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2001.

[ON004] ÖNORM EN 13465. Lüftung von Gebäuden. Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Luftvolumenströmen in Wohnungen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2004.

[ON005] ÖNORM EN ISO 13791. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren (ISO 13791:2004). Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2005.

[ON006] ÖNORM EN ISO 7730. Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005). Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2006.

[ON007] ÖNORM B 8110-6. Wärmeschutz im Hochbau. Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2007.

[ON007a] ÖNORM B 8110-5. Wärmeschutz im Hochbau. Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2007.

[ON007b] ÖNORM EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2007.

[ON008] ÖNORM EN ISO 13786. Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2008.

[RICO8] Riccabona, Christof; Bednar, Thomas: Baukonstruktionslehre 4. Bauphysik. 7., völlig neu überarbeitete Auflage. Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH, 2008.

[VDIO8] VDI 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil 1: Klima. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2008.

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Mindest erforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse ....	21
Abb. 2: Norm-Außentemperaturverlauf .....	23
Abb. 3: Norm-Bestrahlungsstärke am 196. Tag im Jahr .....	23
Abb. 4: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b].....	25
Abb. 5: Grundriss der Modellwohnung .....	28
Abb. 6: Kleine Fensterfläche und große Fensterfläche (BuildOpt_VIE) .....	39
Abb. 7: West- und Südorientierung der Fensterfront (BuildOpt_VIE).....	40
Abb. 8: Tagesmittelwerte der Temperatur in °C in Wien .....	41
Abb. 9: Tagesmittelwerte der Solarstrahlung in W in Wien .....	42
Abb. 10: Innere Lasten in W .....	44
Abb. 11: Vereinfachter Nachweis, Wohnküche (Westen).....	49
Abb. 12: Vereinfachter Nachweis, Wohnküche (Süden) .....	50
Abb. 13: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 1, Westen) .....	54
Abb. 14: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 2, Westen) .....	54
Abb. 15: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 3, Westen) .....	55
Abb. 16: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 4, Westen) .....	55
Abb. 17: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 5, Westen) .....	55
Abb. 18: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 6, Westen) .....	56
Abb. 19: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 7, Westen) .....	56
Abb. 20: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 8, Westen) .....	56
Abb. 21: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 1, Süden).....	57
Abb. 22: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 2, Süden).....	58
Abb. 23: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 3, Süden).....	58
Abb. 24: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 4, Süden).....	58
Abb. 25: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 5, Süden).....	59
Abb. 26: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 6, Süden).....	59
Abb. 27: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 7, Süden).....	59
Abb. 28: Maximale Temperaturen bezogen auf z (Modell 8, Süden).....	60
Abb. 29: Direkter Vergleich aller Varianten mit $z_{\min}$ (oiL, Westen) .....	61
Abb. 30: Direkter Vergleich aller Varianten mit $z_{\min}$ (oiL, Süden).....	63
Abb. 31: Direkter Vergleich aller Varianten mit $z_{\min}$ (miL, Westen) .....	64
Abb. 32: Direkter Vergleich aller Varianten mit $z_{\min}$ (miL, Süden).....	65
Abb. 33: Lüftungsanlage .....	68
Abb. 34: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z_{\min}$ , 2007, Westen) .....	70
Abb. 35: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z_{\min}$ , 2007, Westen) .....	70
Abb. 36: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, $z_{\min}$ , 2007, Westen) .....	71
Abb. 37: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, $z_{\min}$ , 2007, Westen) .....	71
Abb. 38: Temperaturverläufe im Juli (Modell 1, 2007er-Wetter, Westen).....	73

Abb. 39: Luftwechselzahlen im Juli (Modell 1, Westen) .....	73
Abb. 40: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z_{\min}$ , IWEC, Westen).....	74
Abb. 41: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z_{\min}$ , IWEC, Westen).....	74
Abb. 42: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, $z_{\min}$ , IWEC, Westen).....	75
Abb. 43: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, $z_{\min}$ , IWEC, Westen).....	75
Abb. 44: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z_{\min}$ , period. Zust., Westen) ...	76
Abb. 45: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z_{\min}$ , period. Zust., Westen) ...	77
Abb. 46: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, $z_{\min}$ , period. Zust., Westen) ...	77
Abb. 47: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, $z_{\min}$ , period. Zust., Westen) ...	78
Abb. 48: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z=0.17$ , 2007, Westen) .....	80
Abb. 49: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z=0.17$ , 2007, Westen) .....	81
Abb. 50: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z=0.17$ , IWEC, Westen).....	82
Abb. 51: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z=0.17$ , IWEC, Westen).....	82
Abb. 52: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z=0.17$ , period. Zust., Westen) . .....	83
Abb. 53: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z=0.17$ , period. Zust., Westen) . .....	83
Abb. 54: Vergleich aller Modelle mit außenliegendem Sonnenschutz (oiL, Westen) .....	84
Abb. 55: Vergleich aller Modelle mit außenliegendem Sonnenschutz (miL, Westen) .....	85
Abb. 56: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 1, Westen).....	86
Abb. 57: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 2, Westen).....	87
Abb. 58: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 3, Westen).....	87
Abb. 59: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 4, Westen).....	87
Abb. 60: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 5, Westen).....	88
Abb. 61: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 6, Westen).....	88
Abb. 62: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 7, Westen).....	88
Abb. 63: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,i}$ (Modell 8, Westen).....	89
Abb. 64: Temperaturverlauf im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen).....	93
Abb. 65: Bekleidungsisolation im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen)....	93
Abb. 66: PMV-Index im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen) .....	93
Abb. 67: PPD-Index im Juli (2007er-Wetterdatensatz, Modell 1, Westen).....	93
Abb. 68: PMV-Indices für Maximaltemperaturen (2007er-Wetter, oiL, Westen).....	94
Abb. 69: PPD-Indices für Maximaltemperaturen (2007er-Wetter, oiL, Westen) .....	95
Abb. 70: PPD-Indices für Maximaltemperaturen (2007er-Wetter, miL, Süden).....	96
Abb. 71: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] (2007, oiL, Westen).....	97
Abb. 72: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] (2007, miL, Süden) .....	98
Abb. 73: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 [ON007b] (IWEC, miL, Süden).....	99
Abb. 74: Klassifizierung nach ÖNORM EN 15251 (period. Zustand, miL, Süden).....	99
Abb. 75: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z_{\min}$ , 2007, Süden).....	103
Abb. 76: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z_{\min}$ , 2007, Süden).....	103



Abb. 77: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, $z_{\min}$ , 2007, Süden).....	104
Abb. 78: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, $z_{\min}$ , 2007, Süden).....	104
Abb. 79: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z_{\min}$ , IWEC, Süden) .....	105
Abb. 80: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z_{\min}$ , IWEC, Süden) .....	105
Abb. 81: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, $z_{\min}$ , IWEC, Süden) .....	106
Abb. 82: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, $z_{\min}$ , IWEC, Süden) .....	106
Abb. 83: Temperaturen bezogen auf n (Modell 1 und 2, $z_{\min}$ , period. Zust., Süden)....	107
Abb. 84: Temperaturen bezogen auf n (Modell 3 und 4, $z_{\min}$ , period. Zust., Süden)....	107
Abb. 85: Temperaturen bezogen auf n (Modell 5 und 6, $z_{\min}$ , period. Zust., Süden)....	108
Abb. 86: Temperaturen bezogen auf n (Modell 7 und 8, $z_{\min}$ , period. Zust., Süden)....	108
Abb. 87: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 1, Süden) .....	109
Abb. 88: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 2, Süden) .....	109
Abb. 89: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 3, Süden) .....	109
Abb. 90: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 4, Süden) .....	110
Abb. 91: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 5, Süden) .....	110
Abb. 92: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 6, Süden) .....	110
Abb. 93: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 7, Süden) .....	111
Abb. 94: Maximale Temperaturen bezogen auf $\Delta m_{w,l}$ (Modell 8, Süden) .....	111

## 10. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Abminderungsfaktoren $z$ für Sonnenschutzeinrichtungen.....	7
Tab. 2: Mindest erforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse.....	20
Tab. 3: Modellwohnung.....	28
Tab. 4: Acht Grundmodelle.....	29
Tab. 5: Aufbau: Außenwand, Passivstandard, Leichtbau .....	30
Tab. 6: Aufbau: Innenwand, Passivstandard, Leichtbau.....	30
Tab. 7: Aufbau: Trennwand, Passivstandard, Leichtbau .....	30
Tab. 8: Aufbau: Wand zum Atrium, Passivstandard, Leichtbau .....	31
Tab. 9: Aufbau: Zwischendecke oben, Passivstandard, Leichtbau.....	31
Tab. 10: Aufbau: Zwischendecke unten, Passivstandard, Leichtbau .....	31
Tab. 11: Aufbau: Außenwand, Passivstandard, Massivbau .....	32
Tab. 12: Aufbau: Innenwand, Passivstandard, Massivbau .....	32
Tab. 13: Aufbau: Trennwand, Passivstandard, Massivbau.....	32
Tab. 14: Aufbau: Wand zum Atrium, Passivstandard, Massivbau.....	33
Tab. 15: Aufbau: Zwischendecke oben, Passivstandard, Massivbau .....	33
Tab. 16: Aufbau: Zwischendecke unten, Passivstandard, Massivbau .....	33
Tab. 17: Aufbau: Außenwand, 1990er-Standard, Leichtbau .....	34
Tab. 18: Aufbau: Innenwand, 1990er-Standard, Leichtbau .....	34
Tab. 19: Aufbau: Trennwand, 1990er-Standard, Leichtbau.....	34
Tab. 20: Aufbau: Wand zum Atrium, 1990er-Standard, Leichtbau .....	35
Tab. 21: Aufbau: Zwischendecke oben, 1990er-Standard, Leichtbau .....	35
Tab. 22: Aufbau: Zwischendecke unten, 1990er-Standard, Leichtbau .....	35
Tab. 23: Aufbau: Außenwand, 1990er-Standard, Massivbau.....	36
Tab. 24: Aufbau: Innenwand, 1990er-Standard, Massivbau .....	36
Tab. 25: Aufbau: Trennwand, 1990er-Standard, Massivbau .....	36
Tab. 26: Aufbau: Wand zum Atrium, 1990er-Standard, Massivbau .....	37
Tab. 27: Aufbau: Zwischendecke oben, 1990er-Standard, Massivbau.....	37
Tab. 28: Aufbau: Zwischendecke unten, 1990er-Standard, Massivbau.....	37
Tab. 29: Fensterqualität.....	38
Tab. 30: Fenstergröße in % der Grundrissfläche .....	39
Tab. 31: Wärmestromdichte je $m^2$ Fußbodenfläche.....	43
Tab. 32: Nachweis über die mindest erforderliche speicherwirksame Masse (Westen) .	47
Tab. 33: Erforderlicher Abminderungsfaktor $z$ (Westen) .....	48
Tab. 34: Nachweis über die mindest erforderliche speicherwirksame Masse (Süden)....	51
Tab. 35: Erforderlicher Abminderungsfaktor $z$ (Süden).....	51
Tab. 36: Mindest erforderliche $z$ -Werte aller Zonen .....	52
Tab. 37: Güteklassen nach Kreč [KRE06].....	90
Tab. 38: Zuweisungen der Grundmodelle in die Güteklassen nach Kreč [KRE06].....	91