

**„Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in  
verdichteter Bauweise“**

**Teil 2 des Abschlußberichtes**

**Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens  
eines Passivhauses in Geschößwohnungsbau-  
Typologie und städtischer Bebauung**

**Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für  
Bauwesen und Raumordnung gefördert.**

**(Aktenzeichen: B 15-80 01 98-15)**

**Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor**

Autor:

Dipl.-Ing. Rainer Pfluger

Leitung des Forschungsprojektes:

PHI Passivhaus-Institut  
- Dr. Wolfgang Feist -  
Rheinstr. 44-46  
64283 Darmstadt

Darmstadt, 27.6.00

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>VORWORT</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DYNAMISCHE GEBÄUDESIMULATION MIT DYNBIL</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>BESCHREIBUNG DES GEBÄUDEMODELLS</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>SIMULATIONSMODELLE</b> .....	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>UNTERSUCHUNG DES THERMISCHEN GEBÄUDEVERHALTENS</b> .....	<b>11</b>
5.1	GRUNDVARIANTEN .....	11
5.2	AUSRICHTUNG DER GEBÄUDELÄNGSACHSE .....	13
5.3	VERSCHATTUNG.....	15
5.3.1	<i>Horizontverschattung</i> .....	15
5.3.2	<i>Verschattung durch Balkonüberstand</i> .....	18
5.3.3	<i>Verschattung durch Laibungen</i> .....	18
5.4	KOPPLUNGSVERHALTEN DER WOHNHEIMEN .....	20
5.4.1	<i>Einfluß unterschiedlicher Raumluft- Solltemperaturen</i> .....	20
5.4.2	<i>Zeitweise unbewohnte Wohneinheiten (z.B. Winterurlaub)</i> .....	22
5.5	FENSTERFLÄCHE.....	26
5.6	AUßENWANDDÄMMUNG .....	28
5.7	NACHTABSENKUNG .....	29
5.8	WETTER.....	29
<b>6</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>32</b>

<p><b>Autor:</b> Rainer Pfluger</p> <p><b>Projektleitung:</b> <b>PASSIVHAUS INSTITUT</b> Dr. Wolfgang Feist</p> <p>Rheinstr. 44-46 64283 Darmstadt</p>	<p>Dieser Bericht entstand im Rahmen der Forschungsarbeit "Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise"</p> <p>Das Projekt wurde gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn</p>
--	--

## 1 Vorwort

Der Baustandard "Passivhaus" hat sich inzwischen bei über 400 realisierten Objekten in der Praxis bewährt. Es handelt sich dabei jedoch in den meisten Fällen um Einfamilien- und Reihenhäuser. Diese unterscheiden sich sowohl bezüglich ihrer Bauweise, dem Nutzerklientel als auch dem Bauumfeld von Bauprojekten im Geschößwohnungsbau.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wird das thermische Gebäudeverhalten von Passivhäusern in Geschößbauweise unter urbanen Randbedingungen simuliert, um aus den Berechnungsergebnissen Vorschläge für die Planung und die Betriebsweise ableiten zu können.

Hierzu wurde ein mathematisches Gebäudemodell mit dem Programm DYNBIL (siehe folgender Abschnitt) erstellt, welches drei übereinanderliegende Wohneinheiten mit angrenzendem Treppenhaus simuliert. Damit konnte sowohl das thermische Verhalten einzelner Zonen innerhalb des Gebäudes als auch deren Kopplungsverhalten untereinander untersucht werden. Die Parametervariationen konzentrieren sich dabei speziell auf Problemstellungen des Geschößwohnungsbaus, wobei auch das Verschattungsverhalten der Nachbarbebauung berücksichtigt wurde.

## 2 Dynamische Gebäudesimulation mit DYNBIL

Auswirkungen von Parametervariationen (z.B. Ausrichtung, Fensterflächenanteil etc.) auf das thermische Verhalten von Geschößwohnungsbauten im Passivhausstandard lassen sich mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation quantitativ mit hoher Genauigkeit ermitteln, ohne daß die Gebäude gebaut und vermessen werden müßten. Es lassen sich damit Rückschlüsse auf die Behaglichkeit in den einzelnen Wohneinheiten und die benötigten Heizleistungen bei unterschiedlichen Gebäudeparametern und Randbedingungen ziehen. Im Gegensatz zur Heizwärmebedarfsberechnung reichen hierfür Jahres- bzw. Monatsbilanzverfahren nicht aus. Nur mit dynamischen Modellen ist es möglich, das zeitabhängige Verhalten (üblicherweise auf der Basis von stündlichen Werten) nachzubilden. Folgende Teilmodelle müssen berechnet und verknüpft werden:

- instationäre Wärmeleitung
- Strahlungsaustausch zwischen den Bauteilen
- Reflexion, Transmission und Absorption von Solarstrahlung
- Regelung der Wärmezufuhr
- Wärmequellen im Raum
- Infiltration und Ventilation

Inzwischen liegen eine Reihe weit entwickelter Programme für diese Simulationsaufgabe vor. Vergleiche finden sich beispielsweise in [1] und [2]. Das Programm DYNBIL sowie eine kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze ist in [3] beschrieben. Die Abkürzung steht für "**d**ynamisches Mehrzonen-Netzwerkmodell für die Erstellung von Energie**b**ilanzen von Gebäuden" und wurde in seiner

Basisversion 1981 von Wolfgang Feist unter Mitarbeit von Johannes Werner, Claus Kahlert und Wolfgang Fleig erstellt und in der Folge verschiedentlich weiterentwickelt. Prinzipiell ist bei DYNBIL die Anzahl der Zonen, also der Bereiche mit unterschiedlicher Lage und Nutzung nur vom Speicherplatz des verwendeten Rechners begrenzt. Speziell für die Berechnung von Gebäuden im Geschößwohnungsbau ist eine hohe Anzahl von Zonen notwendig, um Kopplungseffekte einzelner Wohneinheiten abbilden zu können. Für die Berechnungen in diesem Forschungsvorhaben war DYNBIL daher prinzipiell geeignet, mußte aber von der Eingabestruktur her auf eine höhere Zonenzahl (hier 14) angepaßt werden.

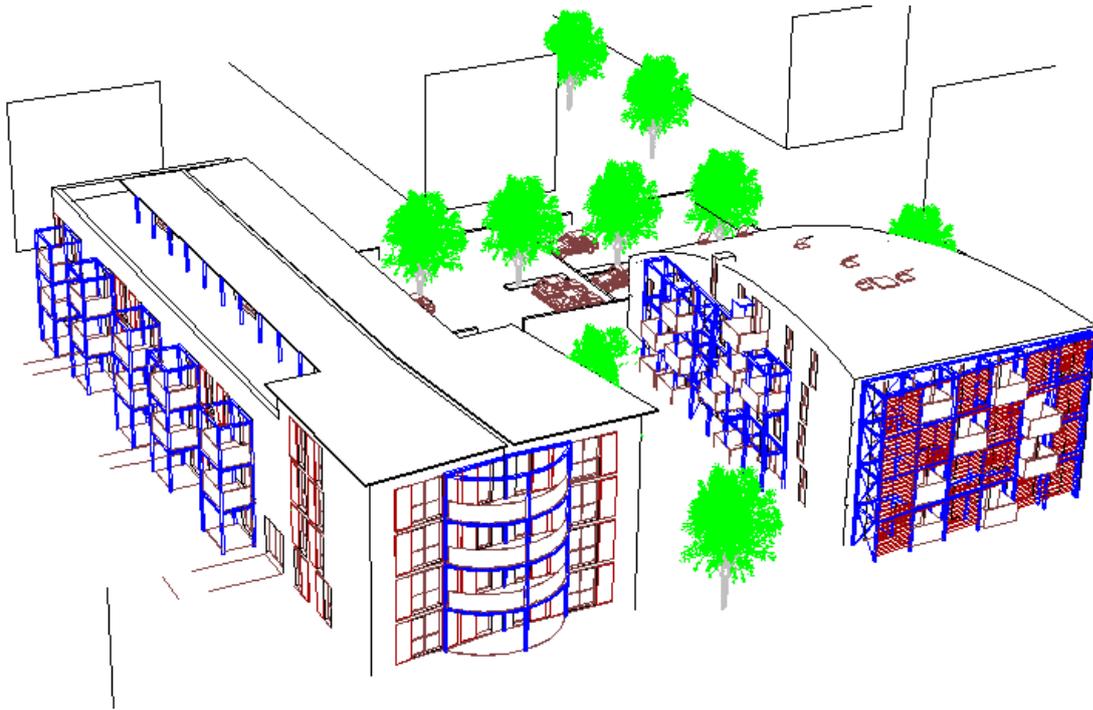
Die einzelnen Zonen stehen miteinander über Zwischenwände und die Lüftung in Wechselwirkung. Innerhalb der Zone wird der Strahlungsaustausch zwischen den Oberflächen abgebildet. DYNBIL verwendet hierzu ein sogenanntes "Zwei-Stern-Modell" des Raumes, also ein Modell, bei dem Luft- und Strahlungstemperatur sauber getrennt sind. Die Abhängigkeit der Wärmeübergänge zwischen der Raumluft und den Umfassungsflächen von der Temperaturdifferenz und der Orientierung der Flächen wird berücksichtigt. Ebenso findet die Abhängigkeit der Verglasungseigenschaften von den Temperaturen sowie der Strahlungsintensität und -richtung Eingang in die Simulation.

Dynbil wurde in der Arbeit "Vergleich von Messung und Simulation" [4] einer eingehenden kritischen Überprüfung mit gemessenen Daten aus einem Referenzgebäude unterzogen. Dabei zeigte sich ein ausgezeichnetes Modellverhalten mit Abweichungen im Bereich von  $\pm 0,2$  K.

### **3 Beschreibung des Gebäudemodells**

Das Gebäudemodell stellt einen typisierten Aufbau eines Geschößwohnungsbaus dar, damit allgemeingültige Aussagen über das thermische Verhalten dieser Bauweise getroffen werden können. Um auf eine realistische Datenbasis zurückgreifen zu können, wurden Teile der Planungsunterlagen zum Neubauprojekt in Kassel - Marbachshöhe der Gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Kassel (GWG) herangezogen.

Diese Passivhäuser sind Teil des Flächenkonversionsprojekts an der Eugen-Richter- und Druseltalstraße, dem Gelände der ehemaligen Hindenburg- und Wittich-Kaserne. Drei Planungsteams waren an insgesamt zwei Baukomplexen beteiligt, das Büro ASP GmbH und HHS-Planer + Architekten gestalten den westlichen Baustrakt, das Büro Schneider den östlichen (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1: Projekt Kassel Marbachshöhe, HHS/ASP (links) und Schneider (rechts)**

Das Projekt von HHS/ASP beinhaltet 23 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von insgesamt  $1662 \text{ m}^2$ , das Projekt des Büros Schneider 17 Wohneinheiten mit einer Gesamtwohnfläche von  $1253 \text{ m}^2$ . Im folgenden soll auf das Projekt HHS näher eingegangen werden, da dieses aufgrund seiner Bauweise sehr typisch für Projekte im Geschößwohnungsbau ist.



**Abbildung 2: Schnittdarstellung Projekt ASP (linke Hälfte, Süd) und HHS (rechte Hälfte, Nord)**

Abbildung 2 zeigt den vertikalen Schnitt durch den westlich angeordneten Zweispänner der Planer ASP (linke Hälfte) und HHS (rechte Hälfte). Man erkennt in der rechten Hälfte drei Vollgeschoße, darüber angeordnet die unbeheizten überdachten Technikräume. Nur im linken Gebäudeabschnitt (Südwohnungen) ist noch ein Vollgeschoß aufgesetzt. Die einzelnen Wohneinheiten unterscheiden sich im Grundriß nur unwesentlich. Im typisierten Gebäudemodell wurden daher alle Wohnungen auf den Grundriß der gekennzeichneten Wohneinheit vereinheitlicht, unabhängig davon, ob es sich um eine Wohneinheit am Gebäudeende oder in der Gebäudemitte handelt.



**Abbildung 3: Grundriß der nördlich gelegenen Wohneinheiten (Projekt HHS)**

Bei beiden Gebäuden wird eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung eingesetzt. Für die letztgenannten Wohneinheiten soll der Wärmetauscher für jeweils drei Wohneinheiten direkt über dem Lüftungsschacht außerhalb der wärme gedämmten Hülle angeordnet werden. Die Ventilatoren werden wohnungsweise angebracht, auch ihre Regelung erfolgt wohnungsweise. Ebenso ist für jede Wohnung ein eigenes Heizregister für die Zuluftnachheizung vorgesehen, welches über ein Thermostatventil mit Fernfühler in der Kernzone (Flur) der jeweiligen Wohneinheit geregelt wird. Die Bäder werden jeweils mit einem Heizkörper ausgestattet. Zusätzliche Heizkörper sollen nur in Wohneinheiten mit ungünstiger Lage (Verschattung, Außenwandflächen) eingesetzt werden.

#### 4 Simulationsmodelle

Bei der Simulation von Geschosswohnungsbauten besteht gegenüber Einfamilienhäusern das Problem, daß das gesamte Gebäude mit begrenztem Aufwand entweder nur vereinfacht berechnet werden kann oder nur ausgewählte

Zonen detailliert untersucht werden können. Die erste Methode erlaubt zwar einen groben Überblick über den Gesamtheizwärmebedarf des Gebäudes, eignet sich jedoch nicht für Heizlastberechnungen einzelner Gebäudeabschnitte oder die Untersuchung der Kopplungseffekte einzelner Zonen mit unterschiedlicher Nutzung. Aus diesem Grund wurde die zweite Methode für jeweils drei Zonen in übereinander angeordneten Stockwerken eingesetzt. Die einzelnen Wohneinheiten weisen jeweils den gleichen Grundriß gemäß Abbildung 4 auf.

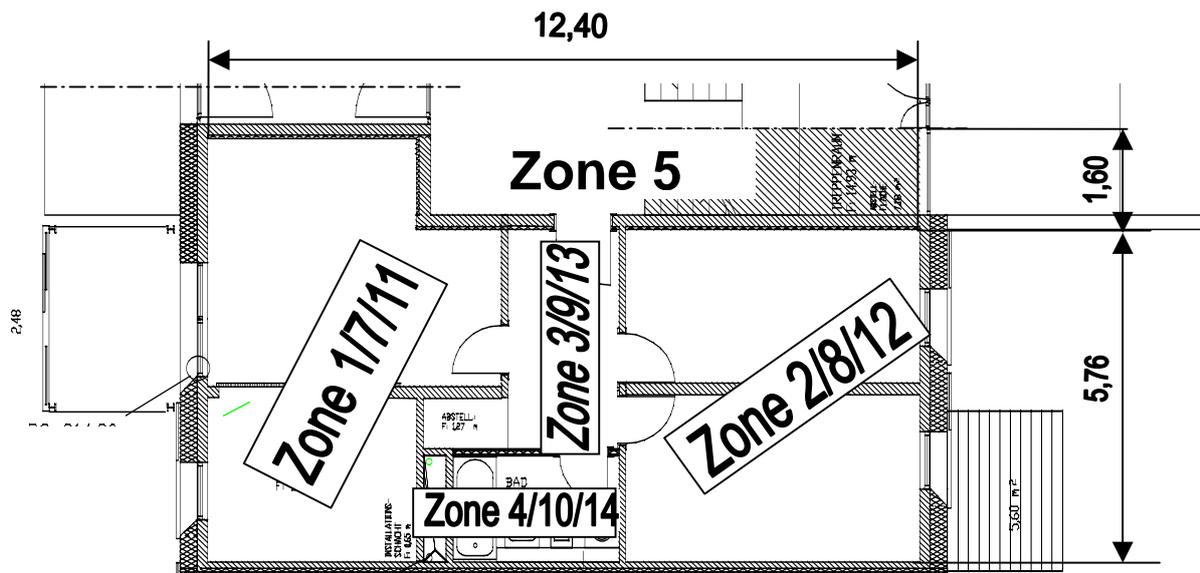


Abbildung 4: Grundriß und Zonierung der typisierten Wohneinheit

Zone Nr.	Gesch.	Bezeichnung (Art der Be- /Entlüftung)	Fläche [m <sup>2</sup> ]
1	EG	Raum 1 (Zuluftbereich), Küche (Abluftbereich)	31
2	EG	Raum 2 (Zuluftbereich), Raum 3 (Zuluftbereich)	30
3	EG	Flur (Überströmbereich)	9
4	EG	Bad+WC (Abluftbereich)	6
5	EG, OG1, OG 2	Treppenhaus (keine mech. Belüftung)	3x16
6	-	Wärmeübertrager	-
7	1. OG	Raum 1 (Zuluftbereich), Küche (Abluftbereich)	31
8	1. OG	Raum 2 (Zuluftbereich), Raum 3 (Zuluftbereich)	30
9	1. OG	Flur (Überströmbereich)	9
10	1. OG	Bad+WC (Abluftbereich)	6
11	2. OG	Raum 1 (Zuluftbereich), Küche (Abluftbereich)	31
12	2. OG	Raum 2 (Zuluftbereich), Raum 3 (Zuluftbereich)	30
13	2. OG	Flur (Überströmbereich)	9
14	2. OG	Bad+WC (Abluftbereich)	6

Tabelle 1: Zoneneinteilung für das Simulationsmodell (Zone 6 für Wärmeübertrager reserviert)

Die Simulation der Gebäudeabschnitte erfolgte mit dem im Kapitel 2 beschriebenen Programm DYNBIL.

Das Gebäude wird für die Simulation in mehrere Zonen unterschiedlicher Lage und Nutzung aufgeteilt. Übereinander angeordnete Zonen unterscheiden sich nur hinsichtlich der Verschattung ihrer Außenwandflächen und der angrenzenden Räume an Boden- bzw. Deckenflächen. Im EG wurde der Boden als erdberührendes Bauteil (ohne Unterkellerung) angenommen. Die Decke im 2. OG bildet die Dachfläche und grenzt an Außenluft. Die Numerierung der Zonen erfolgte gemäß Tabelle 1.

In der Simulation werden Stundenwerte der Randbedingungen, z.B. für das Wetter oder die internen Gewinne, verwendet.

Die im folgenden Abschnitt dokumentierten Parametervariationen basieren auf Grundvarianten (Referenzfälle), die in Ausrichtung und Bauweise Abbildung 4 entsprechen. Der Schichtaufbau der Umfassungsflächen und Zwischenwände sowie deren Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  und wirksame Wärmekapazität  $C_{\text{eff}}$  sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Fenster sind mit passivhaustauglicher Verglasung mit  $U_g = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $g = 56 \%$  ausgestattet. Der  $U$ -Wert der Fensterrahmen beträgt  $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der Wärmebrückenverlustkoeffizient am Glasrand beträgt  $0,035 \text{ W/mK}$ , der Einbau-Wärmebrückenverlustkoeffizient  $0,03 \text{ W/mK}$ .

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	C <sub>eff</sub> [kJ/m <sup>2</sup> K]	Schichtaufbau (von innen nach außen)
Außenwand	0,13	172,4	Innenputz 1,5 cm
			Kalksandstein KS 2000 17,5 cm
			WDVS 30 cm
			Außenputz 1,5 cm
Dach	0,08	36,6	Gipskarton 1,25 cm
			Spanplatte 2,0 cm
			Mineralwolle 45 cm
			Spanplatte 2,5 cm
Bodenplatte	0,13	140,5	Holz 2,2 cm
			Zementestrich 4,8 cm
			Mineralwolle WLG 035, 25 cm
			Stahlbeton 35 cm
Trennwand zum Treppenhaus	0,59	172,4	Innenputz 1,5 cm
			Kalksandstein KS 1800; 17,5 cm
			Mineralwolle WLG 040 5 cm
			Innenputz 1,5 cm
Trennwände	2,2	172,4	Innenputz 1,5 cm
			Kalksandstein KS 1800; 17,5 cm
			Innenputz 1,5 cm

**Tabelle 2: Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  und wirksame Wärmekapazität  $C_{\text{eff}}$  der Regelaufbauten in den simulierten Grundvarianten**

Ausrichtung der Hauptfassaden	Ost/West
Fensterflächenanteil Westfassade	45 %
Fensterflächenanteil Ostfassade	46 %
Abstand der Horizontverschattung (gegenüberliegende Bebauung)	30 m
Höhe der Horizontverschattung	10 m
Balkontiefe (Westbalkone)	2,3 m
Laibungstiefe	0,15 m
Wirksame Wärmekapazität des betrachteten Gebäudeabschnittes	191 MJ/K
Gesamtwohnfläche des betrachteten Gebäudeabschnittes nach 2. BVO	226 m <sup>2</sup>
Interne Wärmequellen (netto)	2,1 W/m <sup>2</sup> K

**Tabelle 3: Zusätzliche Parameter und Gebäudekenngrößen der Grundvarianten 1 und 2**

Für die Berechnung der Verschattungssituation wurde von einer städtischen dreigeschossigen Nachbarbebauung sowohl in Ost- als auch in Westrichtung ausgegangen (Horizontverschattungsparameter siehe Tabelle 3).

Von dieser Konfiguration ausgehend werden einzelne Parameter variiert und die Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf, die Heizlast (Maximum der tagesmittleren Heizleistung) und das Raumklima ermittelt. In Abschnitt 5.3 wird untersucht, welchen Einfluß die ständige oder zeitweise Abwesenheit der Bewohner einer Wohneinheit auf das thermische Verhalten der angrenzenden Wohneinheiten und auf deren Heizleistungsbedarf hat.

Im Referenzfall sorgt eine ideale Luftheizung dafür, daß die Raumlufttemperaturen in allen Zonen außer dem Treppenhaus mindestens 20 °C betragen. Steigt die mittlere Raumlufttemperatur im Gebäude über 23 °C, wird in den Zonen, die Fenster besitzen (Zone 1,7,11,2,8,12,5) damit begonnen, die Fenster zu öffnen. Der damit erreichte zusätzliche Luftwechsel beträgt 2 h<sup>-1</sup>. Ist die Außentemperatur höher als die mittlere Innentemperatur, findet keine zusätzliche Fensterlüftung statt.

Die Lüftungsanlage sorgt im Referenzfall für eine konstante Zuluftmenge von 120 m<sup>3</sup>/h pro Wohneinheit. Die Zuluft gelangt jeweils zu 50% in Zone 1/7/11 bzw. Zone 2/8/12. Die Abluft wird zu je 50 % in Zone 1/7/11 bzw. 4/10/14 entnommen. Der Infiltrationsluftwechsel wurde zu 0,03 h<sup>-1</sup> angenommen, das entspricht etwa einem Drucktestergebnis von  $n_{50} = 0,4 \text{ h}^{-1}$ .

Als Klimadaten wurde in der Regel das Testreferenzjahr Frankfurt verwendet, im Kapitel 5.8 wurde darüber hinaus der Einfluß unterschiedlicher Wetterregionen untersucht. Für die internen Gewinne wurde ein Nettobetrag von 2,1 W/m<sup>2</sup> entsprechend dem Standardwert im PHPP [7] für Mehrfamilien- und Reihenhäuser angesetzt. Die Gewinne (190 W/Person) setzen sich zusammen aus Quellen durch elektrische Geräte und durch Personen (289 W) sowie aus negativen Quellen durch Verdunstung (-130 W). Gewinne durch Warmwasser und Verluste durch die Erwärmung kalten Leitungswassers kompensieren sich in etwa und wurden daher nicht berücksichtigt. Die negativen Quellen wurden zu 60% auf das Badezimmer, zu

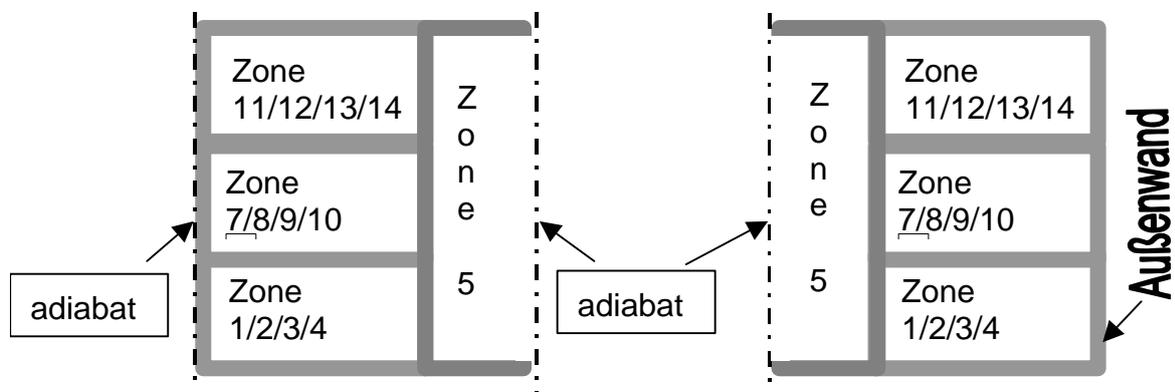
30% auf den Bereich Küche/Raum1 sowie 10% auf Raum 2 und Raum 3 aufgeteilt. Die Gewinne treten tagsüber in den Zonen 1/7/11, nachts in den Zonen 2/8/12 auf.

Die Türen bzw. Öffnungen zwischen den Zonen wurden in der Simulation nicht berücksichtigt, das gleiche gilt für Wärmebrücken zwischen den Zonen einer Wohneinheit. Dadurch entstehen vergleichsweise hohe Temperaturunterschiede von einer Zone zur anderen, die in der Praxis - wenn durch offenstehende Türen auch noch zusätzlicher Luftaustausch auftritt - geringer ausfallen werden. Die Simulation befindet sich durch diesen Ansatz in jedem Fall auf der sicheren Seite, solange im ganzen Haus dieselbe Solltemperatur vorgegeben wird: Der Heiwärmebedarf fällt eher geringer aus, wenn solare oder interne Gewinne stärker in andere Zonen transportiert werden können. Im Falle des unbeheizten Treppenhauses sind jedoch die Wärmebrücken zwischen den beheizten Zonen und dem Treppenhaus für die Temperatur im Treppenhaus maßgeblich und werden daher berücksichtigt.

## 5 Untersuchung des thermischen Gebäudeverhaltens

### 5.1 Grundvarianten

Wie bereits erläutert, orientieren sich die Grundvarianten des Gebäudemodells an den nördlich gelegenen Wohneinheiten mit typisiertem Grundriß. Unterschieden wird dabei lediglich nach deren Lage im Gebäude. Die Grundvariante 1 stellt dabei drei übereinander angeordnete Wohneinheiten mit adiabaten Trennwänden zu horizontal benachbarten Wohneinheiten dar, die Grundvariante 2 bildet dagegen die wärmetechnisch ungünstigeren "Randwohnungen" mit zusätzlicher Außenwand (ohne Fenster) ab. Das Treppenhaus wurde in beiden Grundvarianten nur bis zur Symmetrieebene berücksichtigt. Der vertikale Schnitt der beiden Grundvarianten ist in Abbildung 5 vereinfacht dargestellt.



**Abbildung 5: Grundvariante 1 (links) und Grundvariante 2 (rechts) des typisierten Gebäudemodells**

Für die Horizontverschattung wird in der Grundvariante jeweils gegenüberliegende Bebauung im Abstand von 30 m mit einer Firsthöhe von 10 m angenommen.

In Abbildung 6 sind einige wichtige Kenngrößen der Grundvarianten 1 und 2 dargestellt. Beide Varianten weisen die gleiche Gesamtwohnfläche ( $226 \text{ m}^2$  nach 2. Berechnungsverordnung) auf. Der spezifische Heizwärmebedarf der Grundvariante 2 fällt mit  $12,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  um etwa 48 % höher aus als bei der Grundvariante 1 mit  $8,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Die Ursache für den erhöhten Heizwärmebedarf der Grundvariante 2 liegt in der zusätzlichen fensterlosen Außenwandfläche von  $108 \text{ m}^2$  an der Gebäudenordseite.

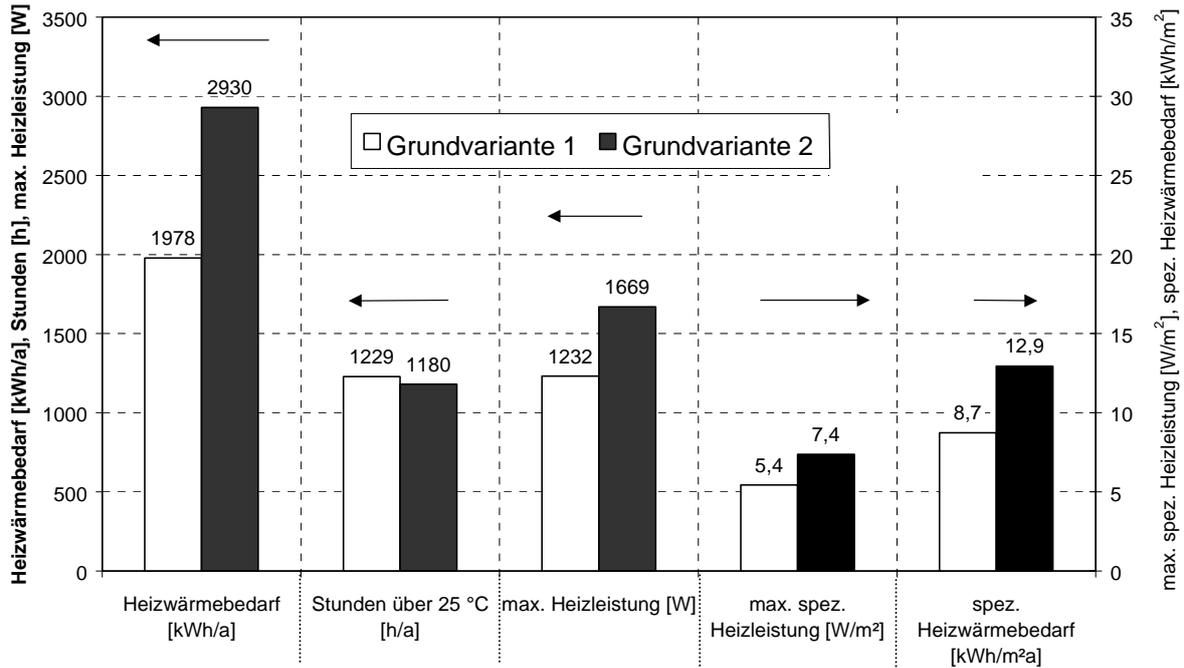


Abbildung 6: Kenngrößen der beiden Grundvarianten 1 und 2

Neben den Kenngrößen gesamter Gebäudeabschnitte ist die Untersuchung einzelner Zonen in Abhängigkeit von ihrer Lage in den einzelnen Geschossen von Interesse (siehe Abbildung 7). Stellvertretend soll hier die Zone 1 (Küche und Raum 1) herausgegriffen werden, weil diese vermutlich den hauptsächlichen Aufenthaltsbereich der Wohneinheit darstellt.

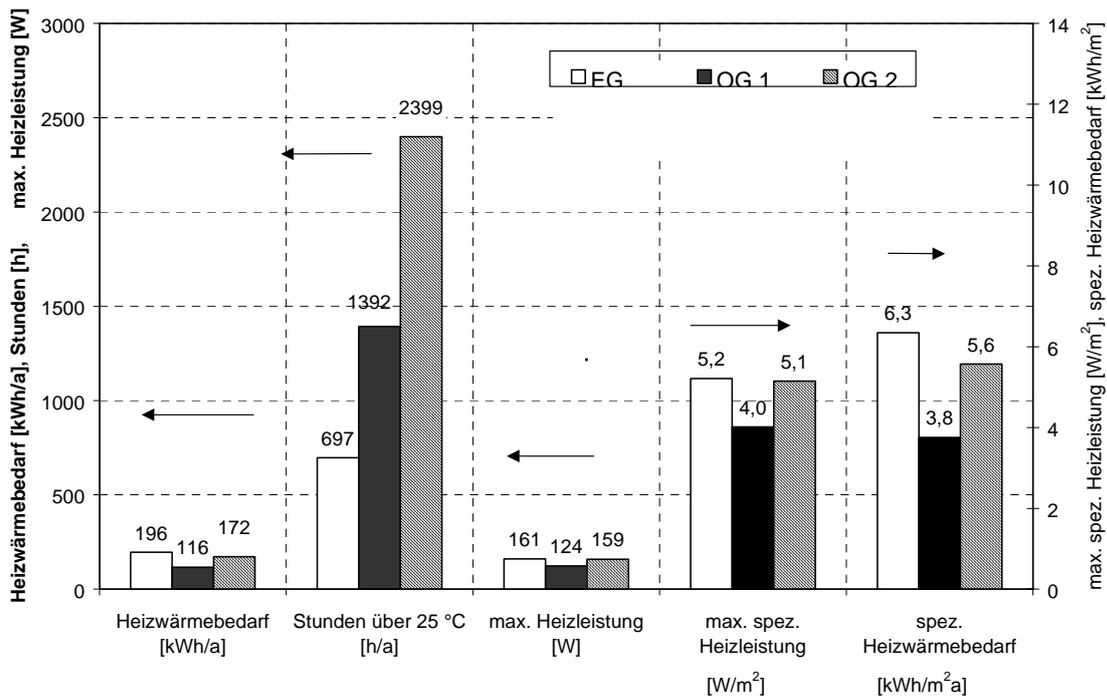


Abbildung 7: Kenngrößen der Zone 1 in Grundvariante 1 für EG, OG 1 und OG 2

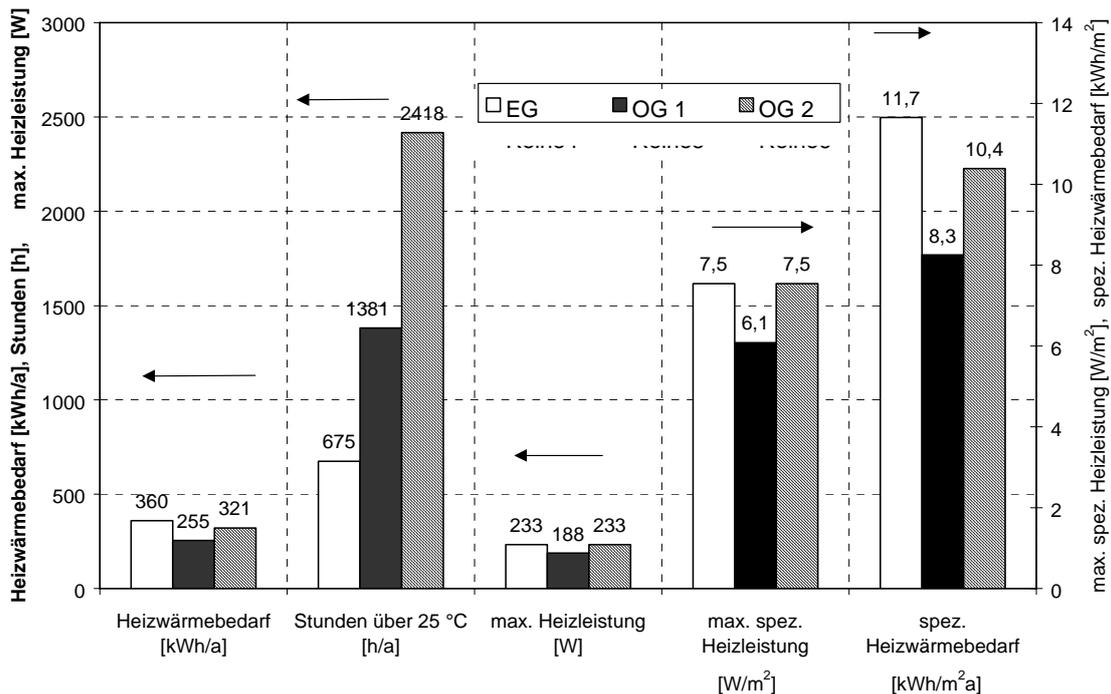


Abbildung 8: Kenngrößen der Zone 1 in Grundvariante 2 für EG, OG 1 und OG 2

Die Heizlast und der Heizwärmeverbrauch dieser Zone ist erwartungsgemäß im 1. OG am geringsten, demgegenüber weisen EG und 2. OG zusätzliche Wärmeverluste über den Boden bzw. das Dach auf. Die Zahl der Stunden mit einer Temperatur über 25 °C nimmt mit der Stockwerkshöhe zu, weil die Verschattung durch die gegenüberliegende Bebauung abnimmt. In den oberen Stockwerken kann es daher ohne zusätzliche Verschattungseinrichtung zu unerwünschter Überhitzung in den Sommermonaten kommen.

## 5.2 Ausrichtung der Gebäudelängsachse

Bei der Planung von Reihenhaussiedlungen ist es häufig möglich, die Bebauungspläne so zu gestalten, daß eine vorwiegende Südausrichtung der Hauptfassaden ermöglicht wird. Im Gegensatz dazu ist durch die Vorgabe der Baufenster im städtischen Wohnungsbau die Ausrichtung der Geschößwohnungsbauten oft weitgehend vorgegeben. Im folgenden soll daher der Einfluß unterschiedlicher Ausrichtungen auf das thermische Gebäudeverhalten untersucht werden.

Bei den beiden Grundvarianten 1 und 2 blicken die Fensterfronten des Gebäudes jeweils in West- bzw. Ostrichtung. Dreht man nun gedanklich die Gebäudelängsachse im Uhrzeigersinn aus der Nord/Süd-Richtung, so sinkt der Heizwärmebedarf des Gebäudes bis zu einem Drehwinkel von 90° ab, weil die solaren Gewinne über die Fensterflächen in der kalten Jahreszeit zunehmen (siehe Abbildung 9). Nach einer weiteren 90°-Drehung erreicht die Heizleistung wieder in etwa den Wert der Grundvariante. Wie in Abbildung 9 und Abbildung 10 zu

erkennen, ergibt sich ein fast symmetrisches Bild, weil die Fenster auf beiden Seiten des Gebäudes bezüglich solarer Gewinne etwa gleichwertig sind. Die Fensterfläche auf der Westfassade ist zwar größer, aber durch Balkone teilweise verschattet (Balkonüberstand 2,3 m).

Aus bereits seit längerem publizierten ähnlichen Berechnungen [6] ist bekannt, daß der Heizwärmebedarf von Passivhäusern bei Abweichungen der Hauptfassade von der Südrichtung nur relativ geringfügig wächst. Dies liegt daran, daß die Sonne zur Beheizung der Gebäude vergleichsweise wenig beiträgt; der geringe Restheizwärmebedarf wird in erster Linie durch guten Wärmeschutz erreicht. Für den Geschosswohnungsbau im urbanen Umfeld bedeutet dies, daß eine Ausrichtung der Hauptfassade in Südrichtung bzgl. des Heizwärmebedarfs zwar von Vorteil, aber nicht zwingend notwendig ist.

Eine West- bzw. Ostausrichtung der Hauptfensterflächen kann sich dagegen problematisch auf das Temperaturverhalten im Sommer auswirken, wie man an der Anzahl der Stunden über 25 °C ablesen kann: gegenüber der Grundvariante sinkt diese bei Südausrichtung der Hauptfassade um ca. 14 % (siehe Abbildung 9).

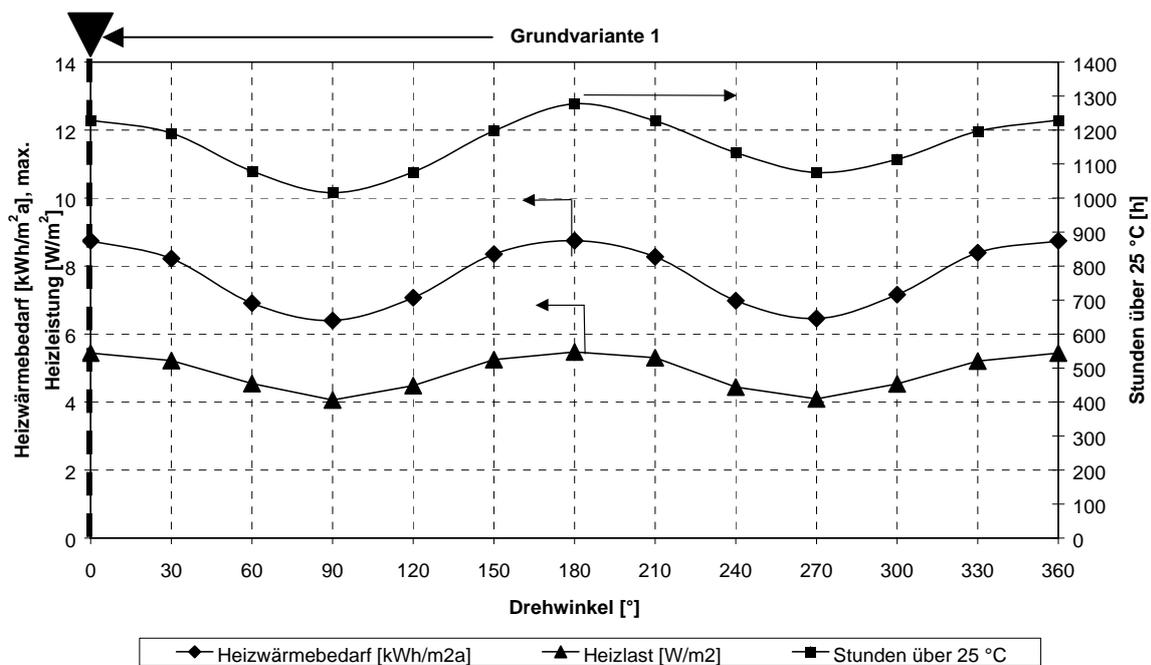


Abbildung 9: Heizwärmebedarf, Heizlast und Stunden über 25 °C in Abhängigkeit vom Drehwinkel (im Uhrzeigersinn) für die Grundvariante 1

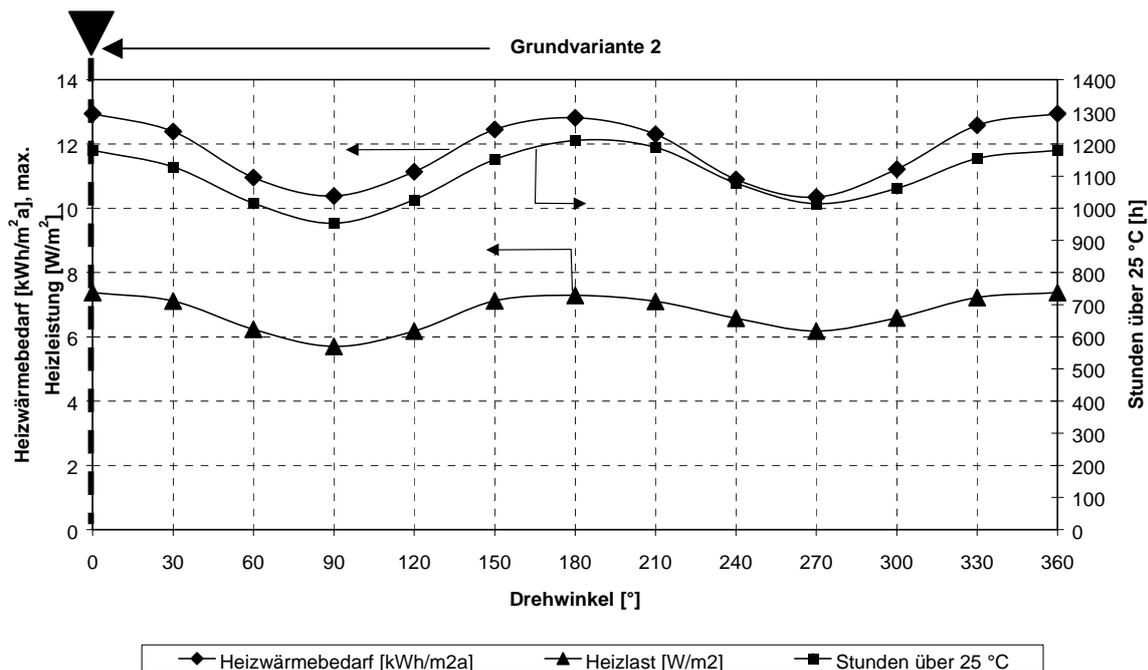


Abbildung 10 Heizwärmebedarf, Heizlast und Stunden über 25 °C in Abhängigkeit vom Drehwinkel (im Uhrzeigersinn) für die Grundvariante 2

Die gleiche Tendenz zeigt sich analog in der Grundvariante 2, nur mit höheren Beträgen für Heizlast und Heizwärmebedarf (siehe Abbildung 10).

### 5.3 Verschattung

Ebenso wie die Gebäudeausrichtung stellt auch die Verschattung durch Nachbarbebauung ein spezifisches Problem des urbanen Wohnumfelds dar, auf das der Planer wenig Einfluß hat. Die Gestaltung der Balkone und Laibungen dagegen ist Teil der Entwurfsplanung und soll, weil diese im Geschößwohnungsbau ein häufig eingesetztes Bauelement darstellen, im folgenden ebenfalls untersucht werden.

#### 5.3.1 Horizontverschattung

Wie bereits im Kapitel 5.1 erläutert, wird für die Horizontverschattung in der Grundvariante jeweils eine gegenüberliegende Bebauung im Abstand von 30 m mit einer Firsthöhe von 10 m angenommen. Um den Einfluß der Bebauungsdichte zu untersuchen, wurde der Abstand des Verschattungsobjekts (jeweils für die Grundvariante mit West bzw. Südausrichtung) von 10 bis 50 m variiert (siehe Abbildung 11 bzw. Abbildung 12). Der Heizwärmebedarf nimmt mit steigendem Abstand der gegenüberliegenden Bebauung anfänglich rasch ab und geht dann mit einem Wert von ca. 8,1 W/m<sup>2</sup>a (Ausrichtung der Hauptfassade: West) bzw. 5,7 W/m<sup>2</sup>K (Ausrichtung der Hauptfassade: Süd) allmählich in die Sättigung über.

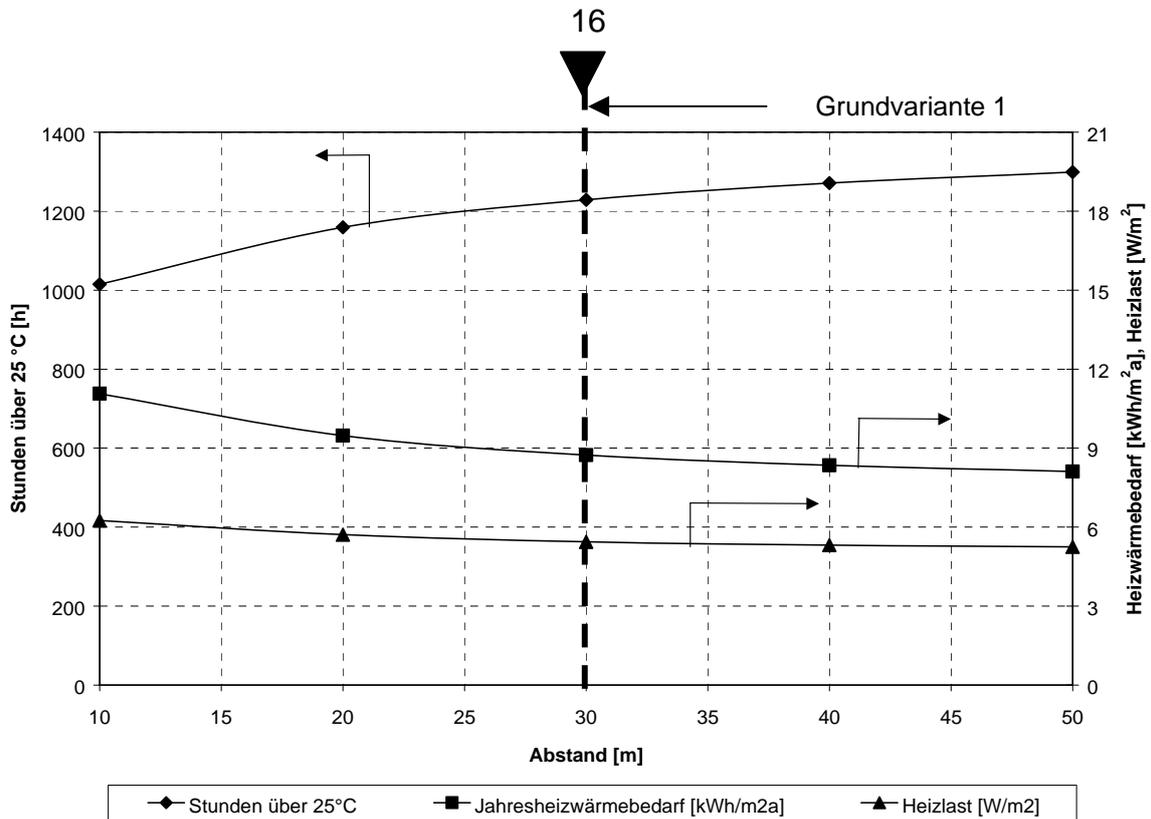


Abbildung 11: Spezifischer Heizwärmebedarf, Heizlast und Zahl der Stunden über 25 °C in Abhängigkeit vom Abstand des Verschattungsobjekts (Gebäudemodell entsprechend Grundvariante 1, Ausrichtung der Hauptfassade: West)

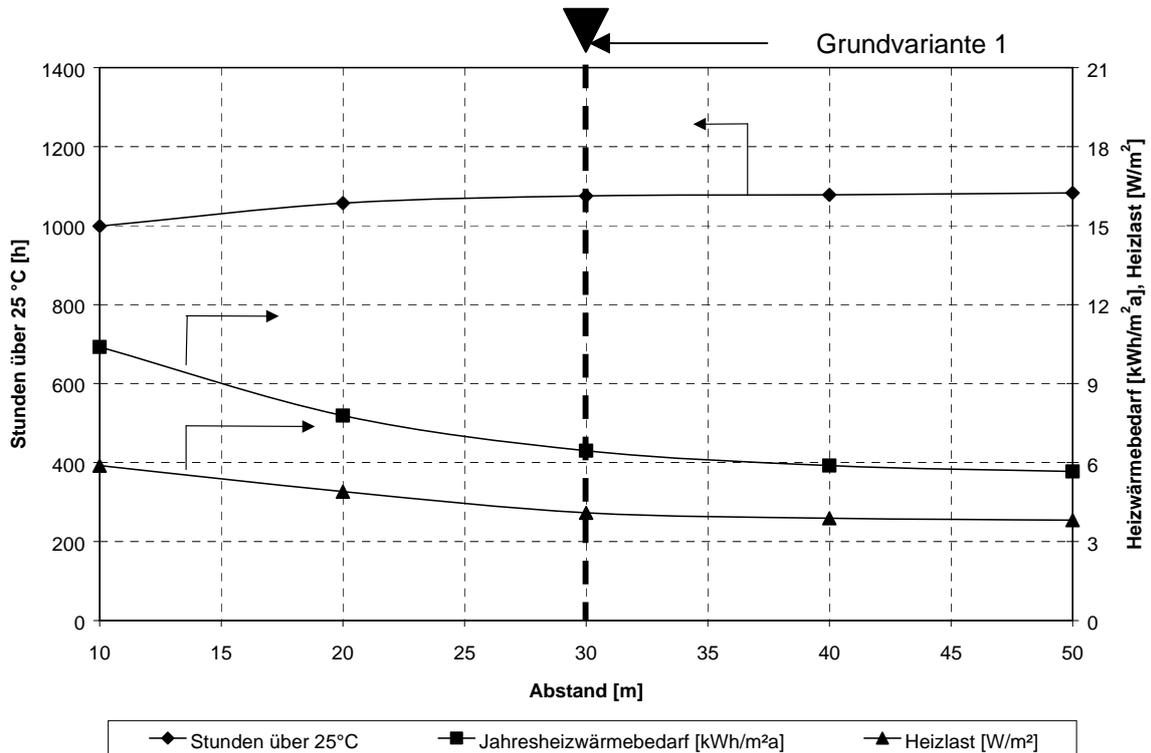


Abbildung 12: Spezifischer Heizwärmebedarf, Heizlast und Zahl der Stunden über 25 °C in Abhängigkeit vom Abstand des Verschattungsobjekts (Gebäudemodell entsprechend Grundvariante 1, Ausrichtung der Hauptfassade: Süd)

Ausgehend von der Grundvariante (Abstand des Verschattungsobjekts 30 m) wurde anschließend die Höhe der Horizontverschattung von ein bis 10 Geschosshöhen (je 2,77 m) jeweils für eine Ausrichtung der Hauptfassade nach West bzw. Süd variiert.

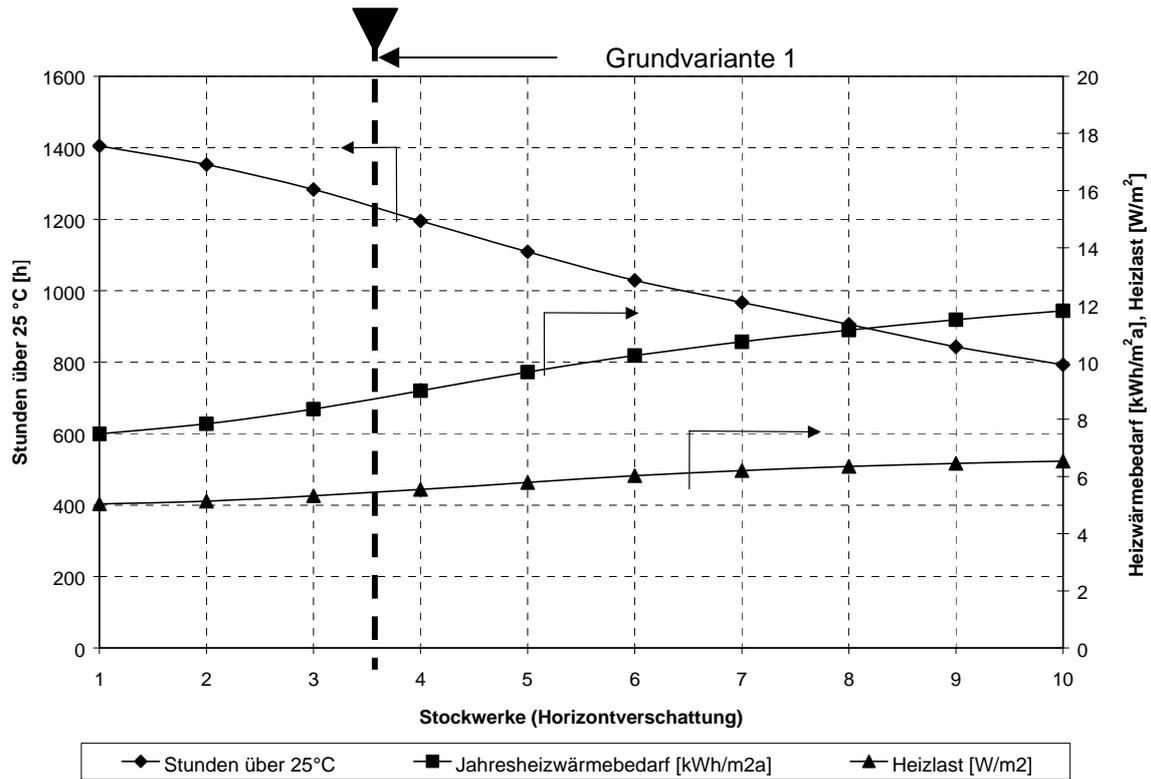


Abbildung 13: Spezifischer Heizwärmebedarf, Heizlast und Zahl der Stunden über 25 °C in Abhängigkeit von der Höhe der Horizontverschattung (Gebäudemodell entsprechend Grundvariante 1, Ausrichtung der Hauptfassade: West)

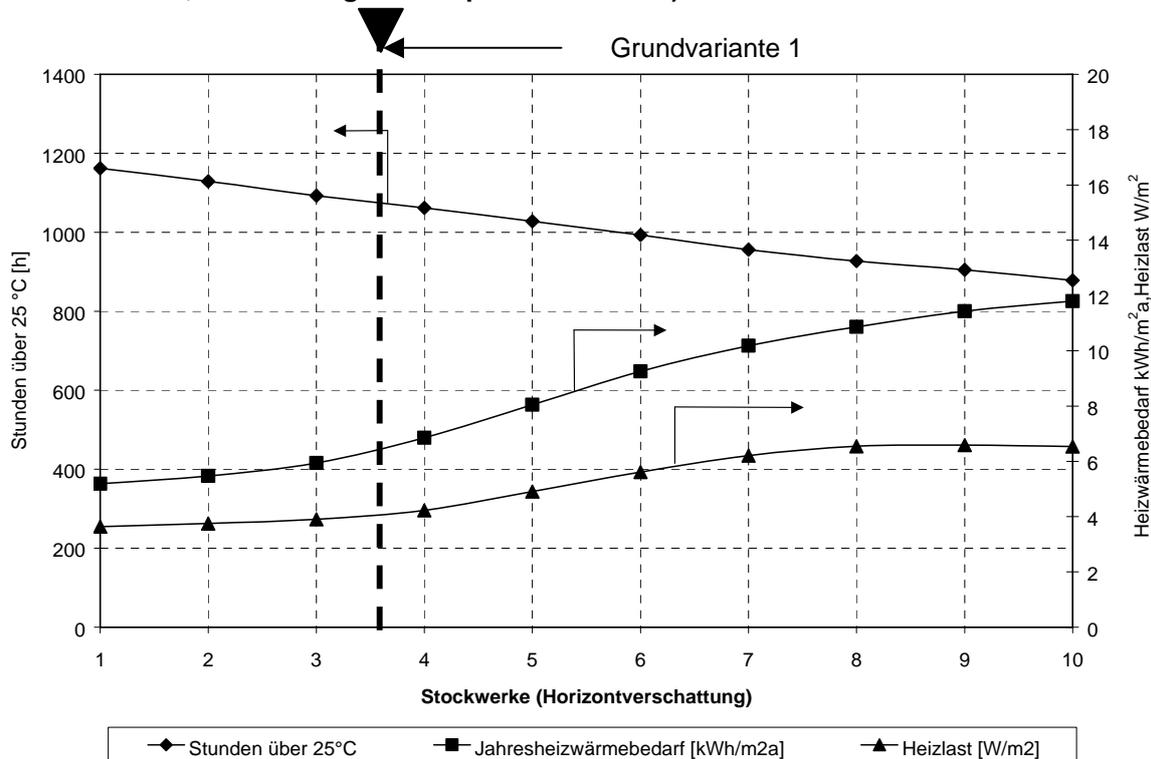


Abbildung 14: Spezifischer Heizwärmebedarf, Heizlast und Zahl der Stunden über 25 °C in Abhängigkeit von der Höhe der Horizontverschattung (Gebäudemodell entsprechend Grundvariante 1, Ausrichtung der Hauptfassade: Süd)

### 5.3.2 Verschattung durch Balkonüberstand

Balkonüberstände bilden für die darunterliegenden Verglasungen ein feststehendes Verschattungselement, welches in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Gebäudeausrichtung mehr oder weniger wirksam wird. Die Gebäudemodelle in den Grundvarianten weisen in Westrichtung Balkone mit einer Balkontiefe von 2,3 m auf. Weil das 2. OG keinen Balkonüberstand über dem Wohnzimmerfenster aufweist (oberstes Stockwerk), wird in diesem Fall ausnahmsweise nur das 1. OG betrachtet. Die Auswirkung des Balkonüberstandes ist, wie in Abbildung 15 gezeigt, in Westrichtung relativ gering, weil der Sonnenstand in den Nachmittagsstunden relativ niedrig ist. Günstiger kann sich diese Anordnung bei Südausrichtung auswirken. Wegen dem hohen Sonnenstand in den Mittagsstunden bietet der Balkonüberstand in den Sommermonaten einen relativ guten Sonnenschutz, in den Wintermonaten ist die Reduzierung der solaren Gewinne aufgrund des flacheren Sonnenstandes dagegen gering. Balkonüberstände bis ca. 1,3 m wirken sich daher günstig auf das Sommerklima aus und beeinflussen den Heizwärmebedarf nur unwesentlich.

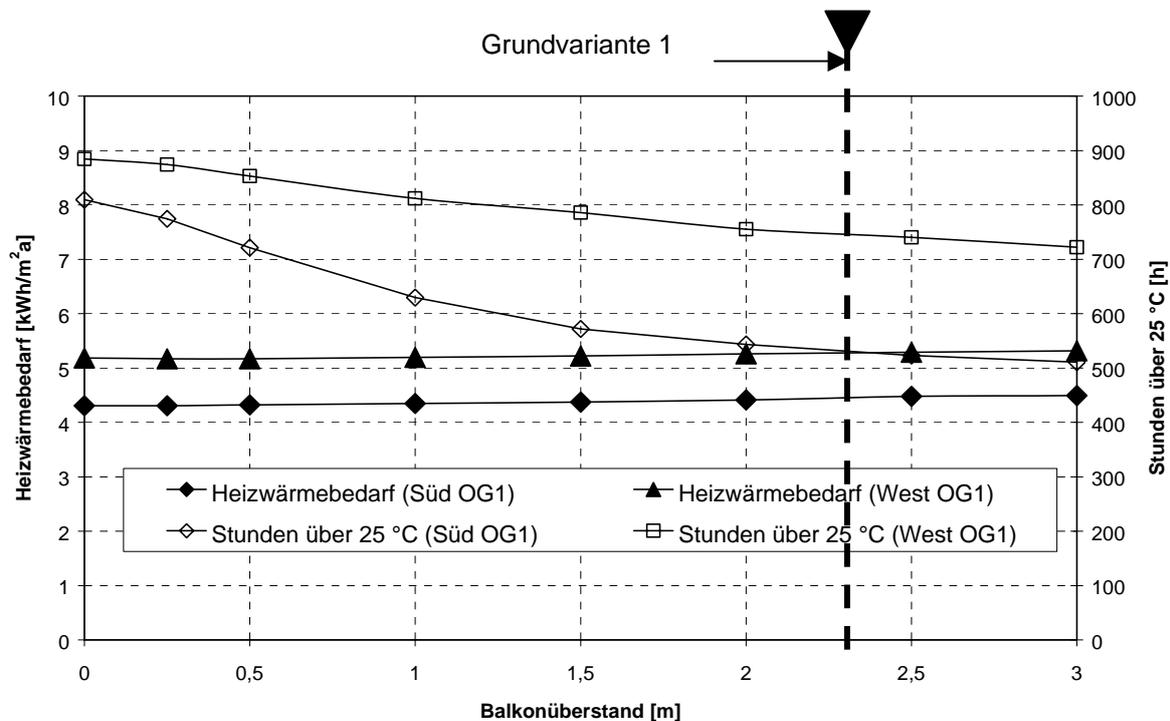


Abbildung 15: Auswirkung des Balkonüberstandes als feststehendes Verschattungselement

### 5.3.3 Verschattung durch Laibungen

Speziell im Geschößwohnungsbau werden an Balkonen häufig Laibungen als Sichtschutz zu den Nachbarwohnungen angebracht. Diese bewirken jedoch auch eine Verschattung und dadurch eine Reduzierung des solaren Wärmeeintrags. Um den Einfluß derartiger Elemente auf den Heizwärmebedarf und das Sommerklima untersuchen zu können, wurden die Balkonfenster sowohl für die Grundvariante 1 als auch für dasselbe Modell, um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht, mit Laibungen unterschiedlicher Laibungstiefe simuliert. Die Ergebnisse sind jeweils in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

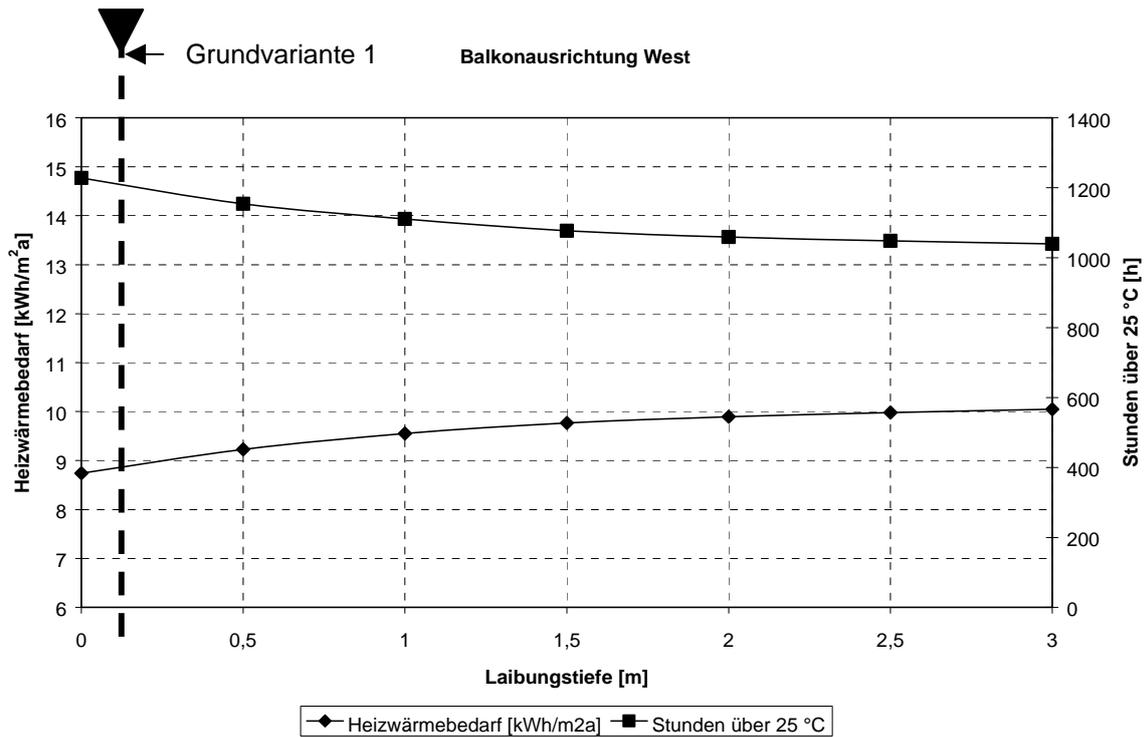


Abbildung 16: Auswirkung der Laibungstiefe im Balkonbereich als feststehendes Verschattungselement (Grundvariante 1, Ausrichtung der Hauptfassade: West)

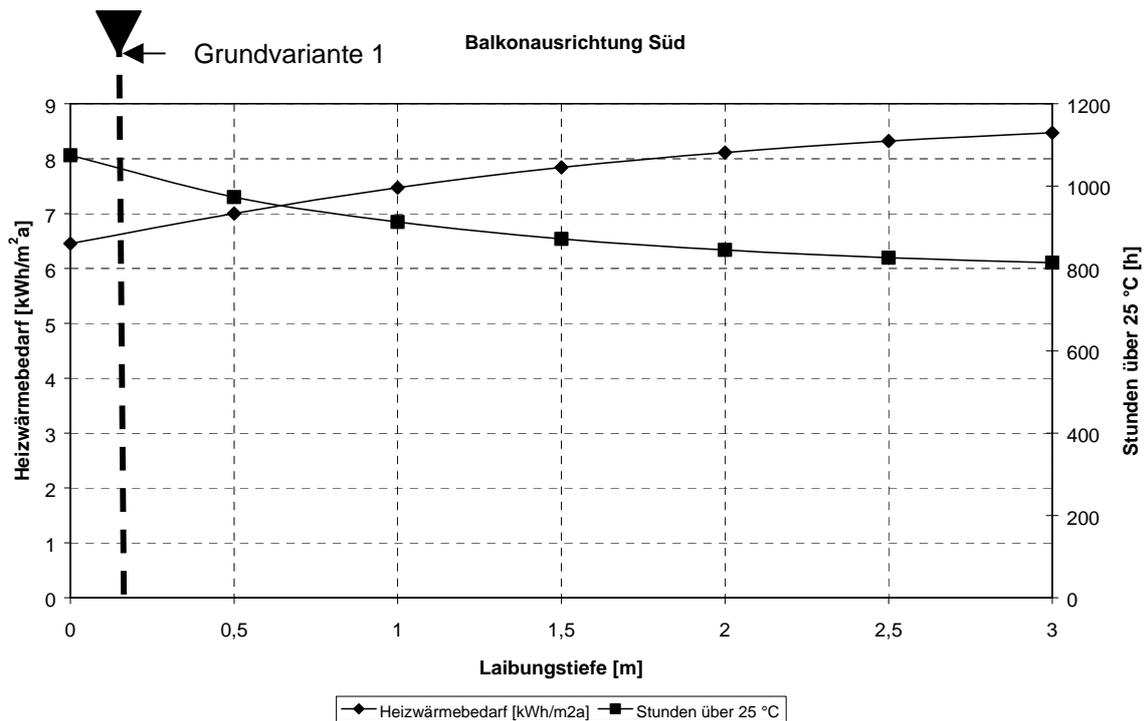


Abbildung 17: Auswirkung der Laibungstiefe im Balkonbereich als feststehendes Verschattungselement (Grundvariante 1, Ausrichtung der Hauptfassade: Süd)

## 5.4 Kopplungsverhalten der Wohneinheiten

Unter dem Kopplungsverhalten versteht man die gegenseitige Beeinflussung des thermischen Verhaltens der einzelnen Wohneinheiten. Nur wenn alle Wohneinheiten auf gleiche Temperatur gebracht werden, spielt die Kopplung keine Rolle. Differieren die Raumtemperaturen der einzelnen Wohneinheiten z.B. durch unterschiedliches Nutzerverhalten oder durch zeitweise bzw. andauernde Abwesenheit der Bewohner, so treten Wärmeströme durch die jeweils trennenden Bauteile (Decken und Wände) und Wärmebrücken auf. Dieser Wärmetransport hat zwar keinen Einfluß auf den gesamten Heizwärmebedarf, weil er innerhalb der thermischen Hülle vor sich geht, beeinflusst aber signifikant die Heizlasten der einzelnen Zonen. Soll ein Passivhaus ausschließlich über die Zuluft beheizt werden, so ist die zulässige Heizleistung dadurch begrenzt, daß wegen der Gefahr der Staubverschwehlung die Luft nicht über 52 °C aufgeheizt werden soll (Passivhaus-Heizlastkriterium) begrenzt. Es soll daher im einzelnen geprüft werden, ob dieses Kriterium auch dann erfüllt ist, wenn einzelne Wohneinheiten unterschiedlich bzw. zeitweise oder ständig unbeheizt sind.

### 5.4.1 Einfluß unterschiedlicher Raumluft- Solltemperaturen

Die Raumluft-Solltemperatur kann in gewissen Grenzen vom Nutzer der Wohneinheit frei gewählt werden, wenn jede Wohneinheit über ein eigenes Heizregister verfügt. Aus zahlreichen Untersuchungen geht hervor, daß Unterschiede bis zu einem Faktor 4 im Energieverbrauch identischer Wohneinheiten allein durch unterschiedliches Nutzerverhalten auftreten können. Sowohl der Heizwärmebedarf als auch die erforderliche Heizleistung steigen mit wachsender Raumlufttemperatur an.

Im folgenden wird gezeigt, welchen Einfluß der Kopplungseffekt auf die Heizlast der Wohneinheit im 1. OG hat, wenn die Raumluft- Solltemperatur in dieser Wohneinheit von der im EG und 2. OG abweicht.

Zunächst betrachten wir das Gebäudemodell der Grundvariante 2, weil dieses eine zusätzliche Außenwand aufweist, also thermisch nicht an weitere Wohneinheiten des Gebäudes gekoppelt ist. Die Raumluft-Solltemperatur im EG und 2. OG wird dabei konstant auf 20 °C gesetzt, im 1. OG wird der Wert von 15 °C bis 25 °C variiert. Zur Untersuchung der Heizlasten werden exemplarisch die übereinander angeordneten Zonen 1, 7 und 11 herausgegriffen.

Wie in Abbildung 18 zu erkennen, wird bei Solltemperaturen bis 16 °C die Wohneinheit im 1. OG von den darüber- und darunterliegenden Wohneinheiten "mitgeheizt", d.h. die Transmissionswärmeströme durch Decke und Boden reichen aus, um die Wohneinheit auf Temperaturen über 16 °C zu halten. Erst bei höheren Solltemperaturen steigt die Heizlast im 1. Obergeschoß an. Ab ca. 19 °C ist der Verlauf annähernd linear. Bei den gegebenen Luftwechselraten liegt die Passivhaus-Heizlastgrenze bei 17 W/m<sup>2</sup>. Das bedeutet, daß maximal 25 °C im 1. OG erreicht werden können, was aber auch mehr als ausreichend sein dürfte. Dennoch zeigt diese Berechnung deutlich, daß die Beheizung über die Zuluft im Fall der Grundvarante 2 für höhere gewünschte Innentemperaturen an ihre Grenze stoßen kann. Weicht die Raumluft-Solltemperatur der Wohneinheit im 1. OG dagegen nach unten ab (z. B. dauerhaft unbeheizte Räume), so ist für die angrenzenden Wohneinheiten noch keine Gefahr der Überschreitung der Heizlastgrenze gegeben.

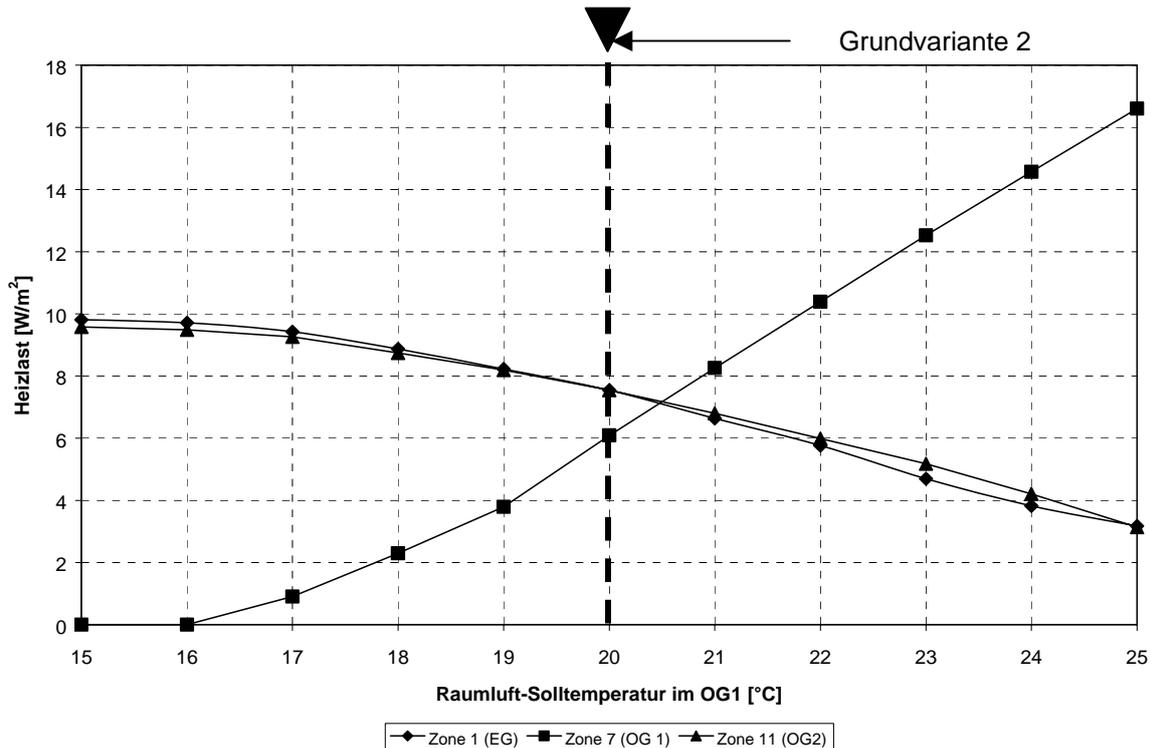


Abbildung 18: Abhängigkeit der Heizlasten der Zonen 1,7 und 11 in Abhängigkeit von der Raumluft-Solltemperatur der Zone 7 (OG1). Die Raumluft-Solltemp. der angrenzenden Wohneinheiten wird auf konst. 20 °C gehalten. (Grundvariante 2)

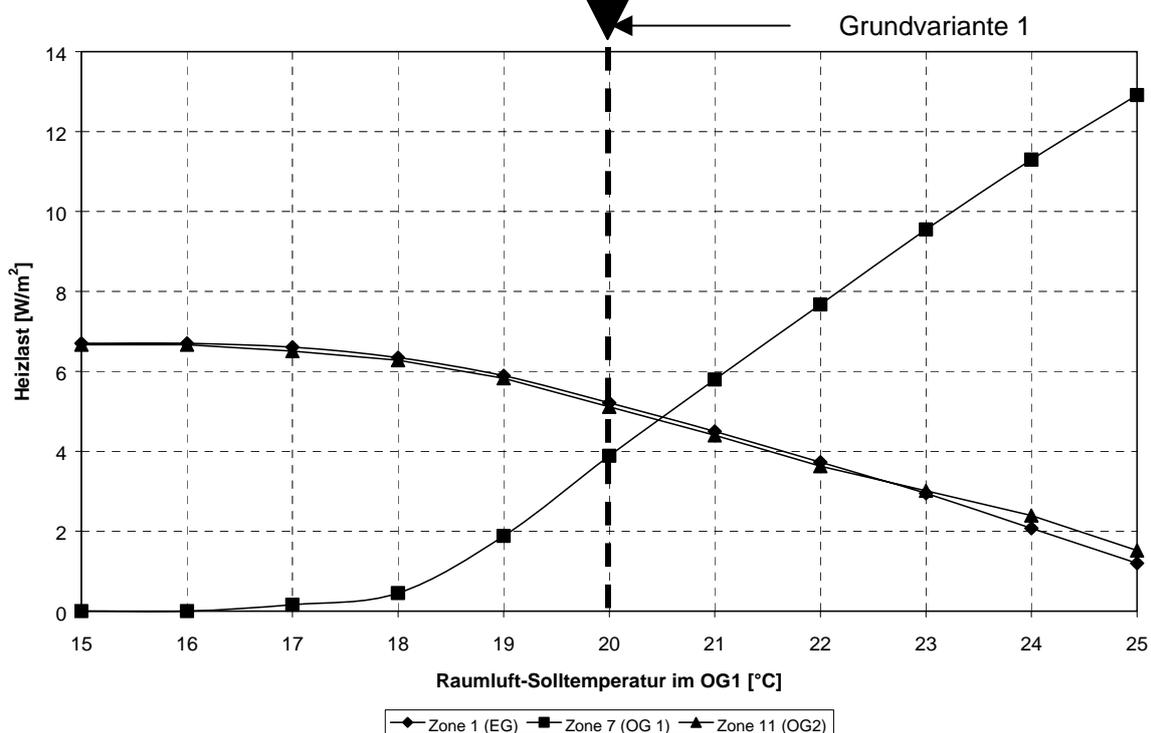


Abbildung 19: Abhängigkeit der Heizlasten der Zonen 1,7 und 11 in Abhängigkeit von der Raumluft-Solltemperatur der Zone 7 (OG1). Die Raumluft-Solltemp. der angrenzenden Wohneinheiten wird auf konst. 20 °C gehalten. (Grundvariante 1 mit angrenzender Zone im 1. OG)

Führt man die gleiche Untersuchung mit dem Gebäudemodell der Grundvariante 1 durch, so muß beachtet werden, daß auch über die Wohnungstrennwände (KS / 6 cm Mineralwolle / KS) im 1. OG Wärmetransport stattfinden kann, wenn die

Temperatur der Wohneinheit von 20 °C abweicht. Aus diesem Grund wurde das Gebäudemodell um eine Zone erweitert und diese auf konstant 20 °C beheizt. Die Ergebnisse dieser Parametervariation sind in Abbildung 19 dargestellt. Auch in diesem Fall ergeben sich durch die unterschiedlichen Temperaturniveaus keine Probleme in einem Passivhaus.

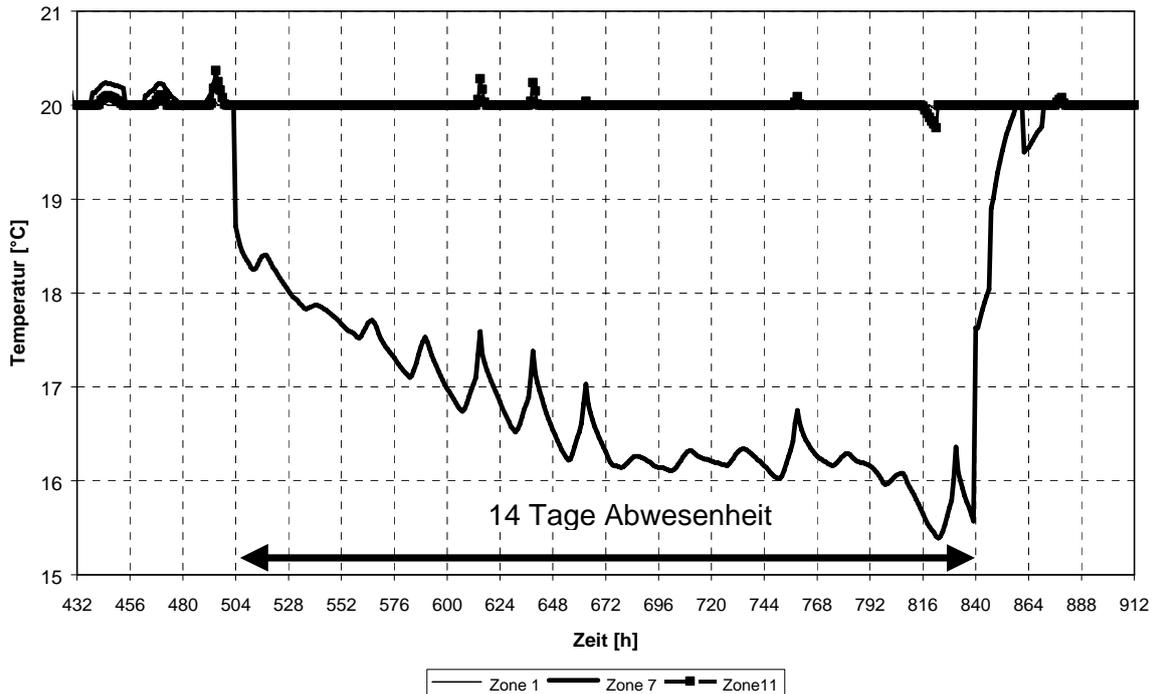
#### **5.4.2 Zeitweise unbewohnte Wohneinheiten (z.B. Winterurlaub)**

Untersucht wurde das thermische Verhalten einer Wohneinheit und ihr Einfluß auf angrenzende Wohneinheiten, wenn sie (z.B. wegen Winterurlaub) zeitweise unbeheizt und ohne interne Quellen verbleibt. Dabei sind hauptsächlich zwei Fragen zu klären:

1. Bis zu welcher Temperatur sinkt die Raumlufttemperatur in dieser Wohneinheit ab, und wie lange dauert die Wiederaufheiz-Phase bei der Rückkehr der Bewohner unter der Annahme einer Heizlastbegrenzung?
2. Welche Heizlasten treten in dieser Zeitspanne in den angrenzenden Wohneinheiten auf und wird auch in dieser Zeit das Passivhaus-Heizlastkriterium erfüllt?

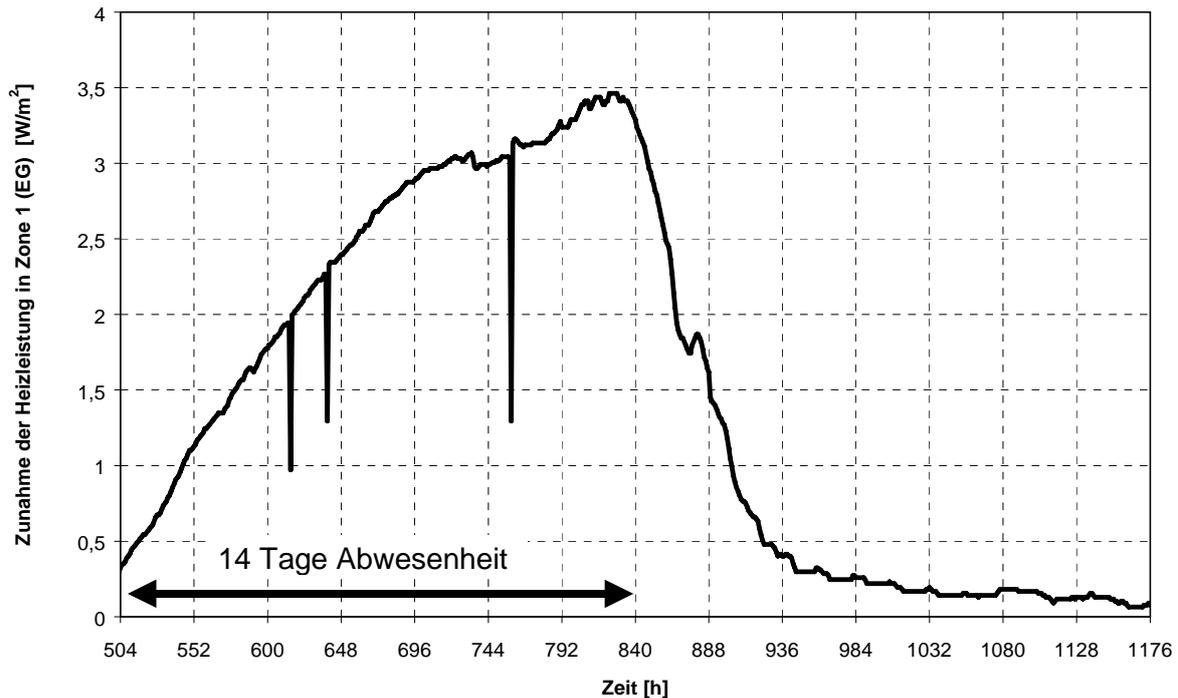
Zur Beantwortung dieser Fragen wurde auf das Gebäudemodell in der Grundvarianten 2 mit dem Wetterdatensatz für Frankfurt zurückgegriffen. Um den kritischsten Fall herauszufinden, wurde zunächst die Heizlast berechnet, die notwendig ist, um die betreffende Zone auf mindestens 20 °C zu beheizen. Daraus wurde das Zeitintervall von 14 Tagen herausgegriffen, welches die höchste mittlere Heizleistung aufweist. Es ergab sich die Zeitspanne vom 22. Januar bis zum 4. Februar. Für diese 'worst-case'-Periode wurden dann in der betrachteten Wohneinheit die Heizleistung sowie die internen Quellen auf Null gesetzt. Für die Verdunstung von Gießwasser (Pflanzengießen 1 l pro Tag) wurde im "Urlaubszeitraum" eine negative Quellenleistung von 13 W für die Verdampfungsenthalpie angesetzt. Betrachten wir zunächst die Wohneinheit im 1. OG in der Grundvariante 1. Diese stellt bezüglich der Heizlast den harmlosesten Fall dar, weil sie oben, unten und seitlich an beheizte Zonen grenzt.

In allen Wohneinheiten wurde die maximale Heizleistung so begrenzt, daß bei ausschließlicher Beheizung über die Zuluft keine Staubverschwehlung eintreten kann (Passivhaus-Heizlastkriterium). Dennoch ist es für die angrenzenden Wohneinheiten (Beispiel: Zone 1 bzw. Zone 7) möglich, die Raumlufttemperatur auf 20 °C konstant zu halten (bis auf eine kurzzeitige Abweichung von 0,1 K).



**Abbildung 20: Temperaturverlauf in der Zone 7 bei 14-tägiger Abwesenheit der Bewohner im OG1 und völligem Abschalten der Heizung**

Nach Abschalten der Heizung und Abreise der Bewohner (Stunde 504) sinkt die Temperatur rasch auf 18,3 °C ab, tagsüber bewirken die solaren Gewinne noch leichte Anhebungen, aber nach 14 Tagen ist die Temperatur auf eine Minimaltemperatur von 15,5 °C abgesunken. Nach Rückkehr der Bewohner ist eine anschließende Wiederaufheizphase von ca. 1,5 Tagen notwendig, um mit der begrenzten Heizleistung von 1,29 kW in Zone 7 wieder eine Raumtemperatur von 20 °C zu erreichen. Für die angrenzenden Wohneinheiten (in EG und OG2) bedeutet die Temperaturabsenkung eine zusätzliche Heizlast. Diese ist in Abbildung 21 beispielhaft für die Zone 1 im EG aufgetragen (ein fast identischer Verlauf ergibt sich auch für Zone 11 im OG2). Zu erkennen ist der exponentielle Anstieg bis zum 14. Tag der Abwesenheit. Die kurzzeitigen Einbrüche ergeben sich an den Tagen, an denen die solaren Gewinne (klare Wintertage) zusammen mit den internen Gewinnen ausreichen, ohne zusätzliche Heizleistung Temperaturen über 20 °C zu erreichen. Am anschließenden exponentiellen Abfall nach der Rückkehr der Bewohner in der Wohneinheit im OG1 erkennt man, daß ca. 5 Tage notwendig sind, um die Wärmekapazitäten wieder vollständig zu beladen. Das bedeutet für die Behaglichkeit der Bewohner, daß zwar nach ca. 1,5 Tagen die Lufttemperatur bereits wieder 20 °C beträgt, die Wände und Decken dagegen noch etwas kühler sind, das Raumklima demnach mehrere Tage nach der Rückkehr aus dem Urlaub noch als nicht optimal behaglich empfunden werden kann.



**Abbildung 21: Zunahme der spez. Heizleistung im EG (Zone 1) bei 14-tägiger Abwesenheit der Bewohner im OG1 gegenüber der isothermen Beheizung des Gesamtgebäudes (Grundvariante 2).**

Nehmen wir nun an, die Wohneinheiten im EG und OG1 werden durchgehend auf 20 °C beheizt, die Wohneinheit im OG2 bleibe dagegen für den genannten Zeitraum unbewohnt. Die Wohneinheit im OG2 weist über die Dachfläche zusätzliche Transmissionswärmeverluste auf, die Auskühlung wirkt sich daher noch stärker aus: die Lufttemperatur in der Zone 11 sinkt bis auf 13,3 °C ab (siehe Abbildung 22). Die Wiederaufheizzeit beträgt wieder ca. 1,5 Tage.

In diesem Fall ist besonders die unmittelbar angrenzende Wohneinheit im OG1 mit zusätzlicher Heizlast beaufschlagt. Die maximale zusätzliche Heizleistung im OG1 (siehe Abbildung 23) übersteigt 5 W/m<sup>2</sup>. Dennoch wirkt sich auch hier die kurzzeitig fehlende Heizleistung nur sehr schwach auf die Raumlufttemperatur im OG1 aus (Die Temperaturabsenkung beträgt weniger als 0,5 K).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß in einem Passivhaus-Geschoßwohnungsbau eine zeitweise Abwesenheit der Bewohner einzelner Wohnungen selbst dann für den Komfort der Nachbarn nicht schädlich ist, wenn der abwesende Bewohner die Heizung ganz abstellen sollte.

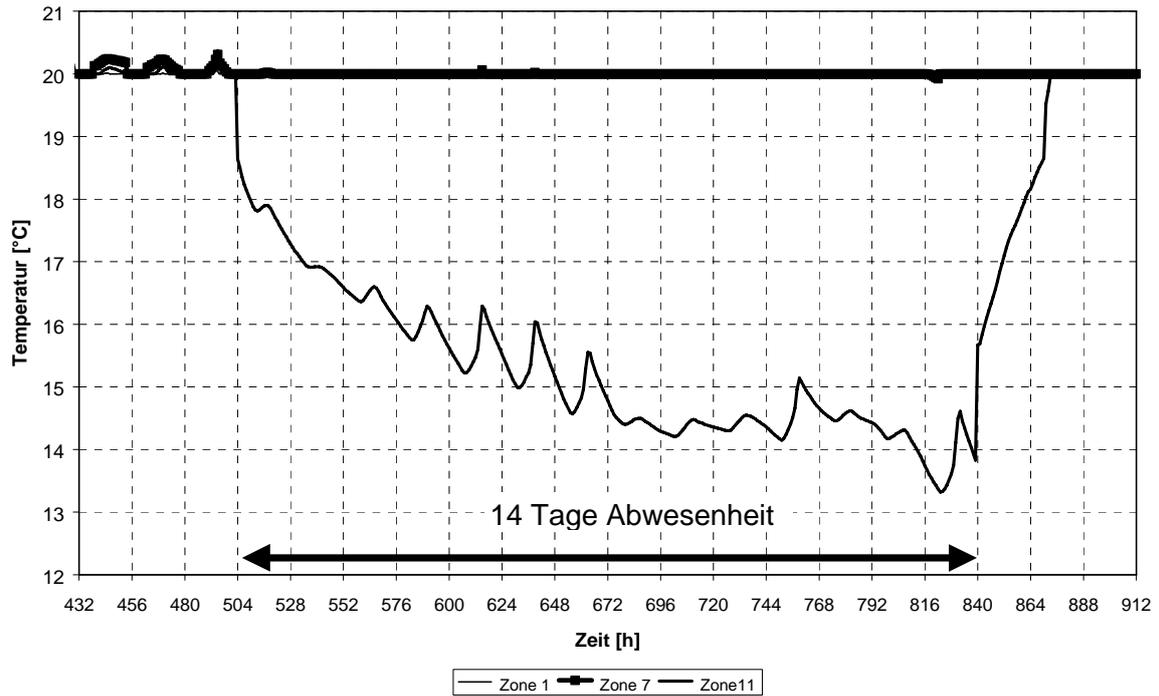


Abbildung 22: Temperaturverlauf in der Zone 11 bei 14-tägiger Abwesenheit der Bewohner

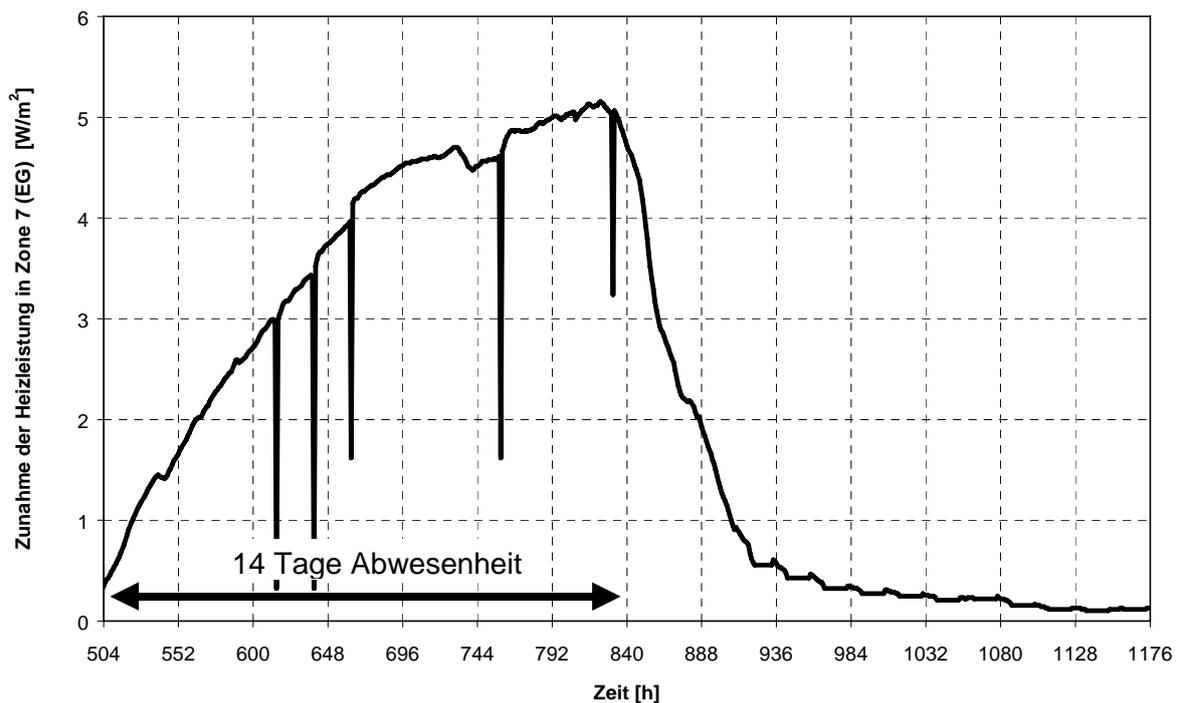


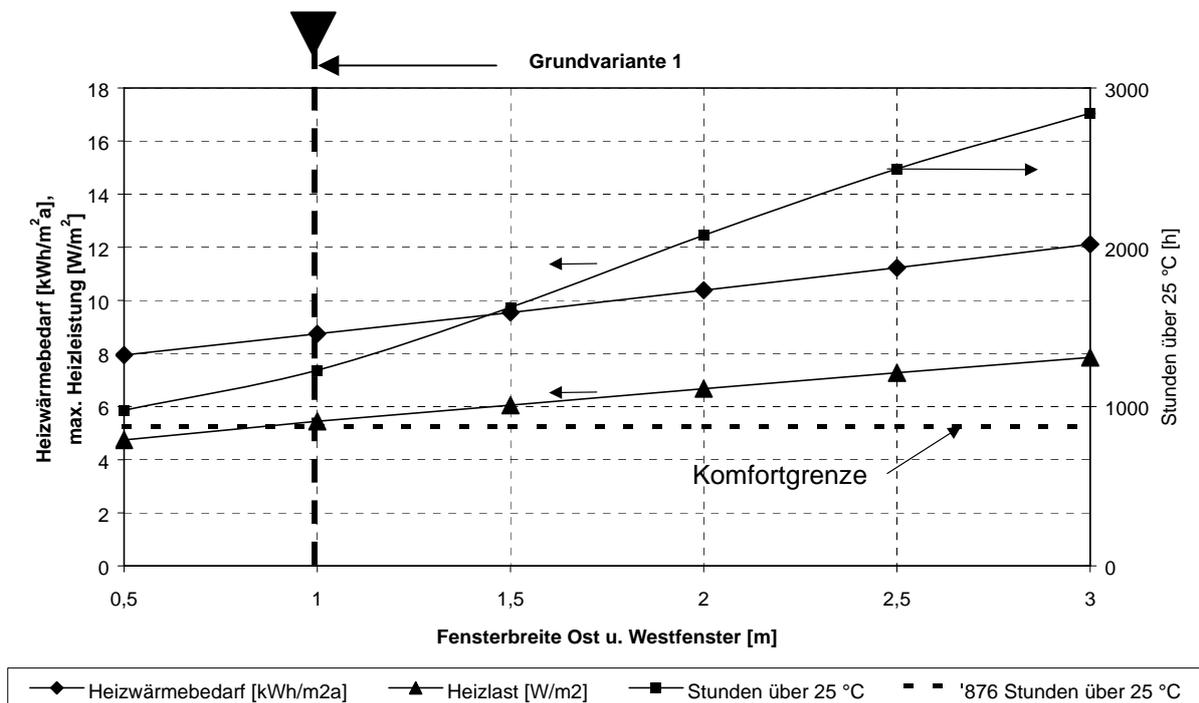
Abbildung 23: Zunahme der spez. Heizleistung im OG1 (Zone 7) bei 14-tägiger Abwesenheit der Bewohner im OG2 gegenüber der isothermen Beheizung des Gesamtgebäudes (Grundvariante 2).

## 5.5 Fensterfläche

In den Grundvarianten wurde von einem Verglasungsanteil der Ost- bzw. Westfassade von 46 % bzw. 45% ausgegangen. Die raumhohen Verglasungen in den Wohneinheiten weisen jeweils eine Breite von 1m auf, ebenso die verglasten Balkon bzw. Terrassentüren.

Die Größe der Fensterfläche wirkt sich sowohl auf den Heizwärmebedarf als auch auf die Zahl der Stunden über 25 °C aus. Dabei hängt die Auswirkung nicht nur von der Ausrichtung der Fenster ab, sondern auch von der Verglasungsqualität, der Art und dem Einbau des Fensterrahmens, der Geometrie der Fenster und von den Eigenschaften des Gebäudes wie z. B. dem Dämmstandard oder der Luftdichtheit.

Bei den Fenstern im Geschosswohnungsbau handelt es sich sehr häufig um raumhohe Verglasungen. Die Verglasung vor dem Balkon ist dabei zweigeteilt, wobei ein Teil als Balkontüre genutzt wird. Daher wurde in der folgenden Variation lediglich die Fensterbreite variiert (von 0,5 bis 3m). Die Balkontürbreite wurde auf 1m festgesetzt, die Verglasungshöhe blieb durchweg konstant auf 2,5 m. Die Variation der Fensterbreite wurde zunächst für die Grundvariante 1 durchgeführt, wobei die Fenster an der West- wie an der Ostfassade gleichermaßen variiert wurden (siehe Abbildung 24). Mit zunehmender Fensterbreite steigt sowohl der Heizwärmebedarf als auch die Heizlast annähernd linear an. Übermäßige Vergrößerung der Fensterfläche wirkt sich darüber hinaus ungünstig auf das Sommerverhalten aus.



**Abbildung 24: Variation der Fensterbreite (Grundvariante 1, Fensterflächen in Ost- und Westrichtung variiert)**

Im Diagramm wurde die Grenze von 876 h eingezeichnet. Als komfortabel ist das Sommerklima in einem nicht aktiv klimatisierten Gebäude nach Kolmetz [8] zu bezeichnen, wenn die Temperatur in weniger als 10 % der Stunden im Jahr (d.h. weniger als 876 h) die Grenze von 25 °C überschreitet. Diese Grenze wird in keinem

der Fälle unterschritten. Das bedeutet auch, daß der Einsatz von temporärer Verschattung speziell in den oberen Stockwerken notwendig ist.

Der Heizwärmebedarf steigt mit zunehmender Fensterbreite monoton an, das bedeutet, daß die Fenster trotz hoher Qualität unter der Verschattungssituation im städtischen Wohnumfeld in Ost/West-Ausrichtung keine Bauteile mit Netto-Wärmegewinnen darstellen: ein weiterer Grund, die Fensterflächen unter diesen Umständen nicht übermäßig großflächig zu dimensionieren.

Wesentlich günstiger sowohl im Sommer- wie im Winterfall stellt sich die Situation bei einer Südausrichtung der Hauptfassade dar. Um diesen Fall näher zu untersuchen, wurde das Gebäudemodell der Grundvariante um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht, die Balkonseite zeigt demnach nach Süden. Bei der Variation der Fensterbreite wurden in diesem Fall nur die südlichen Fenster verändert, die Fensterbreite der Zonen 2, 8 und 12 wurden auf dem Wert der Grundvariante konstant gehalten.

Wie in Abbildung 25 dargestellt, nimmt der Heizwärmebedarf mit zunehmender Fensterbreite ab, in diesem Fall handelt es sich also um Fenster mit Netto-Wärmegewinnen. Die Heizlast steigt mit der Fensterfläche geringfügig an, was darauf hindeutet, daß der Tag mit der maximalen Heizlast strahlungsarm ist, d.h. daß an diesem Tag kaum solare Gewinne zur Verfügung stehen.

Die Zahl der Stunden über 25 °C fällt geringer aus als bei der Grundvariante, der Anstieg mit der Südfensterbreite ist ebenfalls geringer, d.h. die Gefahr der sommerlichen Überhitzung ist wesentlich geringer als bei Ost/West- orientierten Hauptfassaden.

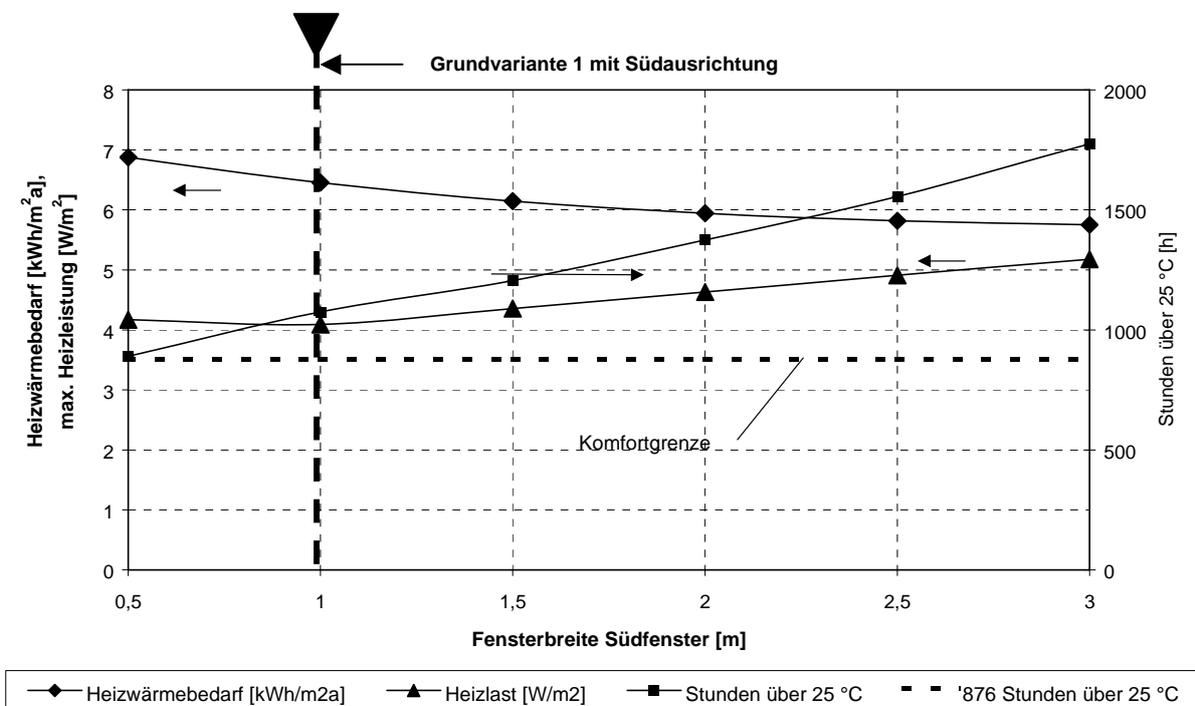


Abbildung 25: Variation der Südfensterbreite (Grundvariante 1, Südausrichtung)

## 5.6 Außenwanddämmung

Der Schichtaufbau der Außenwände ist in Tabelle 4 angegeben, der U-Wert beträgt  $0,127 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Für die Grundvarianten 1 und 2 wurde dieser Wandaufbau für alle Außenwände eingesetzt.

Schicht	Dicke [cm]	$\rho$ [ $\text{kg/m}^3$ ]	C [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]
Außenputz	1,5	1800	1080	0,8
WDVS	30	20	1800	0,04
KS 2000	17,5	2000	936	1,1
Innenputz	1,5	1800	1080	0,35

Tabelle 4: Schichtaufbau der Außenwände (Grundvariante 1 und 2)

Für die Grundvariante 2 mit zusätzlicher Außenwand (Nord) wurde der Einfluß unterschiedlicher Dämmstoffstärke (25, 30 und 40cm) auf den Wärmebedarf und die Heizlast untersucht (siehe und Tabelle 5).

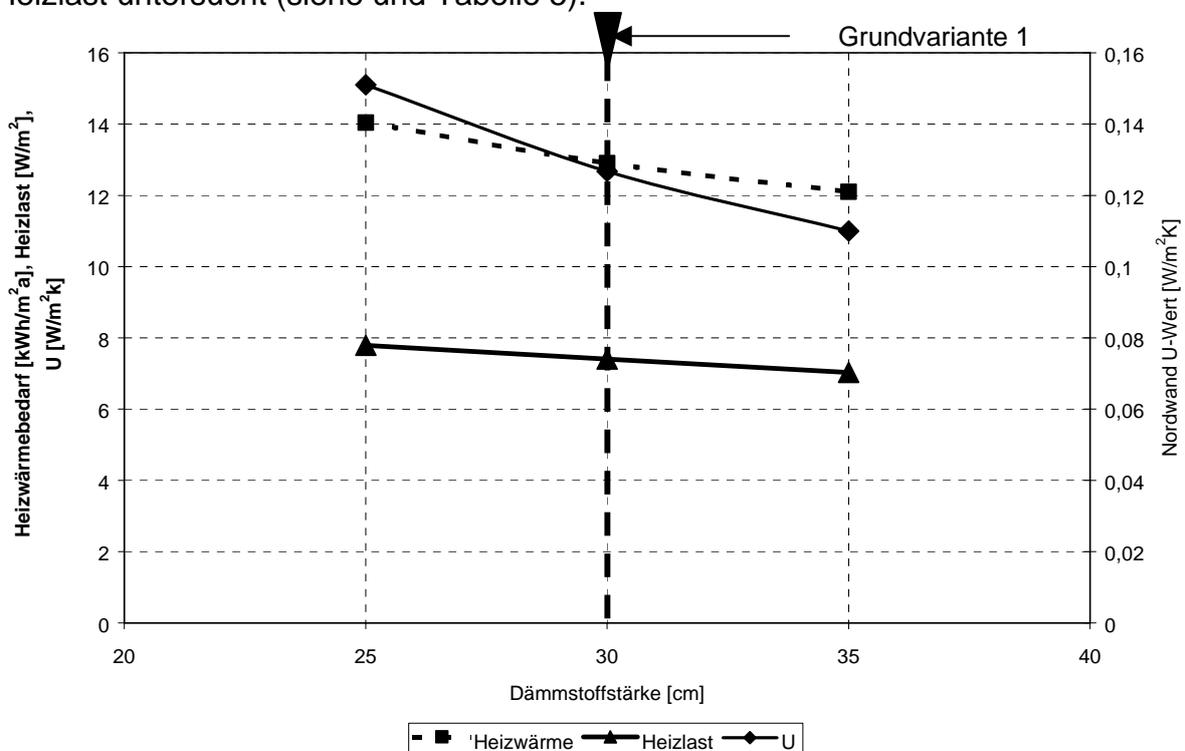


Abbildung 26: Einfluß der Nordwanddämmung auf Heizwärmebedarf und Heizlast

Dämmstoffdicke [cm]	25	30	35
U-Wert [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	0,15	0,13	0,11
Heizwärmebedarf [ $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ]	14,0	12,9	12,1
Heizlast [ $\text{W/m}^2$ ]	7,8	7,4	7,0

Tabelle 5: Heizwärmebedarf und Heizlast der Grundvariante 2 mit unterschiedlicher Dämmstoffstärke an der Nordwand

Der Heizwärmebedarf steigt auch bei einer Dämmstoffstärke von 25 cm (WLG 04) noch nicht über die Grenze von 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

## 5.7 Nachtabsenkung

Die in Altbauten übliche und energetisch sinnvolle Nachtabsenkung der Raumlufttemperaturen um einige Kelvin hat in gut gedämmten Gebäuden nur wesentlich schwächere Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf, weil die Temperaturen während der Nacht nicht sehr weit absinken können. Für einen raschen Wiederaufheiz-Vorgang müssen auf der anderen Seite aber relativ hohe Heizleistungen vorgehalten werden.

Die Auswirkungen der Nachtabsenkung auf den Heizwärmebedarf und die Heizlast sind in Tabelle 6 eingetragen. Die Reduzierung des Heizwärmebedarfs fällt absolut gesehen für die Grundvariante 2 mit 187 kWh/a etwas höher aus als für die Grundvariante 1 mit 150 kWh/a, weil die Wärmeverlustflächen durch die zusätzliche Außenwand größer sind.

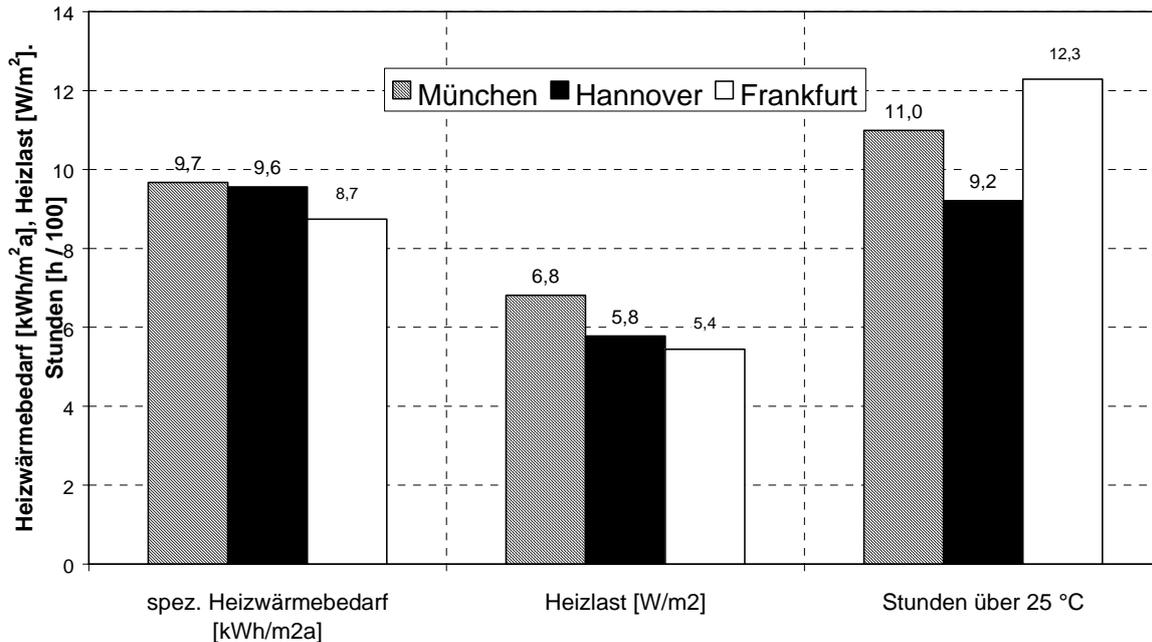
	Grundvariante 1	Grundvariante 2
Heizwärmebedarf [kWh/a]	-150 (-7 %)	-187 (-6 %)
Heizlast [kW]	-0,072 (-6 %)	-0,100 (-6 %)
Max. stündl. Heizleistung [kW]	+1,44 (+79 %)	+1,65 (+75 %)

**Tabelle 6: Auswirkung der Nachtabsenkung (Änderung gegenüber der Grundvariante ohne Nachtabsenkung)**

Eine Nachtabsenkung ist demnach im Kernwinter nicht zu empfehlen, weil hohe Heizleistungen für rasches Wiederaufheizen erforderlich sind.

## 5.8 Wetter

Die Referenzvarianten wurden jeweils mit dem Wetterdatensatz des Testreferenzjahres (TRY) der Region Frankfurt a. M. berechnet. Um die Abhängigkeit der Kenndaten vom Standort zu untersuchen, wurde die Grundvariante 1 zusätzlich mit den Wetterdatensätzen für Hannover und München berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 27 dargestellt.



**Abbildung 27: Abhängigkeit der Kenndaten (Grundvariante 1, Standort Frankfurt ) vom Standort: München, Frankfurt (Grundvariante), Hannover**

Der Heizwärmebedarf ist für das Testreferenzjahr München um 11%, für Hannover um 10% höher. Stärker wirkt sich der Einfluß auf die Heizlast aus, diese ist für München 26% bzw. für Hannover 7% höher als im Referenzfall (Frankfurt).

## 6 Fazit

Für die Untersuchung von Passivhäusern in Geschosswohnungsbautypologie wurden zwei Gebäudemodelle erstellt, welche einen Gebäudeabschnitt in Gebäudemitte (Grundvariante 1) bzw. am Nordende des Gebäudes (Grundvariante 2) darstellen. Die Hauptfassaden sind in den Grundvarianten nach Westen bzw. Osten ausgerichtet. Für den spezifischen Heizwärmebedarf wurden hierfür 8,7 bzw. 12,9 kWh/m<sup>2</sup>a (Grundvariante 1 bzw. 2) berechnet. Damit wird das Passivhaus-Kriterium mit 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) für das gesamte Gebäude unterschritten. Dieses Ergebnis zeigt, daß auch unter ungünstiger Orientierung und Verschattungssituation Passivhäuser errichtet werden können, wenn, wie im Geschosswohnungsbau üblich, günstige A/V-Verhältnisse vorliegen.

Der Anteil der Stunden über 25 °C liegt für die Grundvariante (ohne temporäre Verschattungseinrichtungen) im Mittel bei 14 %. Die Komfortgrenze von 10 % wird aufgrund der ungünstigen Ost-West -Orientierung überschritten. Ohne zusätzlichen temporären Sonnenschutz tritt speziell im 1. und 2. OG unbehagliches Sommerklima auf. Balkonüberstände sind in Westrichtung als feststehende Verschattungseinrichtung praktisch wirkungslos, der Einfluß der Balkone auf den Heizwärmebedarf ist aber ebenfalls sehr gering. Ein günstigeres thermisches Verhalten weist das Gebäudemodell bei Südausrichtung der Hauptfassade mit einem Mittelwert von 12 % der Stunden über 25°C auf. Die Überschreitung der Komfortgrenze tritt speziell in der Südzone im 2. OG auf, welche keinen

darüberliegenden Balkon aufweist, hier ist in jedem Fall ein zusätzlicher temporärer Sonnenschutz anzuraten.

Zur Untersuchung der Verschattungseinflüsse der Nachbarbebauung wurde sowohl der Abstand als auch die Höhe der Horizontverschattung variiert. Für Abstände unter 30 m tritt eine deutliche Zunahme des Heizwärmebedarfs auf, gleichzeitig sinkt jedoch auch die Zahl der Stunden über 25 °C rasch ab. Der Einfluß der Höhe der gegenüberliegenden Bebauung wird besonders bei Südausrichtung dann signifikant, wenn die Höhe des verschattenden Gebäudes die des untersuchten Gebäudes selbst übersteigt (in diesem Fall ab 3 Stockwerken).

Die gegenseitige Beeinflussung (Kopplungsverhalten) der Wohneinheiten untereinander bewirkt, daß die Lufttemperatur einer einzelnen Wohneinheit auch ohne Beheizung nicht unter 16 °C absinkt, sie wird quasi von den Nachbarwohnungen mitbeheizt, die hierfür in den angrenzenden Zonen nötige Heizleistung übersteigt das Passivhaus-Heizlastkriterium nicht. Mit reiner Beheizung über die Zuluft können einzelne Wohneinheiten auf maximal 5 K höhere Raumtemperaturen beheizt werden als die angrenzenden Wohneinheiten.

Darüber hinaus wurde untersucht, welchen Einfluß die temporäre Solltemperaturabsenkung (Nachtabsenkung bzw. Winterurlaub) auf Heizwärmebedarf und Heizlast haben. Die Heizwärmeeinsparungen durch Nachtabsenkung fallen mit ca. 55 kWh/a pro Wohneinheit gering aus und rechtfertigen im allgemeinen nicht die Mehraufwendungen für das Vorhalten höherer Heizleistungen für ein rasches morgentliches Wiederaufheizen. Eine ähnliche Problematik stellt sich für den Wiederaufheizvorgang nach einem Winterurlaub. Soll die Beheizung ausschließlich über die Zuluft erfolgen (Passivhaus-Heizlastkriterium) so sind im ungünstigsten Fall zwei bis drei Tage erforderlich, um die Behaglichkeit im Raum wieder herzustellen, wenn im Urlaub die Heizung abgestellt wurde.

Die Parametervariationen haben gezeigt, daß ein Geschosswohnungsbau auch unter urbanen, und damit gegenüber Reihenhäusern i. a. ungünstigeren Randbedingungen, den Passivhaus-Standard erreichen kann. Läßt sich die Ausrichtung der Hauptfassade in Ost- bzw. Westrichtung nicht vermeiden, so ist auf ausreichenden Sonnenschutz zu achten.

## 7 Literatur

- [1] Källblad, K.: Calculation Methods to Predict Energy Savings in Residential Buildings, Swedish Council for Building Research; D4; 1983
- [2] Morck, O. (Editor): Simulation Medel Validation Using Test Cell Data; Technical University of Denmark, June 1986
- [3] Feist, Wolfgang: Thermische Gebäudesimulation, Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, Verlag C. F. Müller, Heidelberg, 1994
- [4] Feist, Wolfgang, Loga Tobias: Vergleich von Messung und Simulation, in Fachdokumentation Nr. 5, Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, "Energiebilanz, Temperaturverhalten", Darmstadt, Januar 1997
- [5] Ebel, Witta: Interne Wärmequellen -Erfahrungen aus dem Passivhaus. In: Wolfgang Feist (Hrsg.): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 5, Energiebilanz und Temperaturverhalten. Passivhaus Institut, Darmstadt 1997
- [6] Feist, Wolfgang: Passivhäuser in Mitteleuropa, Dissertation, Gesamthochschule Kassel 1993
- [7] Feist, Wolfgang, Baffia, Enikö, Schnieders, Jürgen: Passivhaus Projektierungs Paket '99, Fachinformation PHI-1999/1, Darmstadt 1999
- [8] Kolmetz, S.: Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen - Ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Raumtemperaturen in Gebäuden im Sommer und deren Häufigkeit, Dissertation Universität Gesamthochschule Kassel 1996