



Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
Annastraße 15  
64285 Darmstadt  
06151/2904-0



Ingenieurbüro für  
Energieberatung, Haustechnik  
und ökologische Konzepte GbR  
Reutlinger Straße 16  
72072 Tübingen  
07071/9394-0

## Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung

Korrekturfaktoren zur  
Berücksichtigung in  
stationären  
Energiebilanzverfahren

Autoren: IWU Tobias Loga  
ebök Dr. Claus Kahlert  
Matthias Laidig  
Gerhard Lude

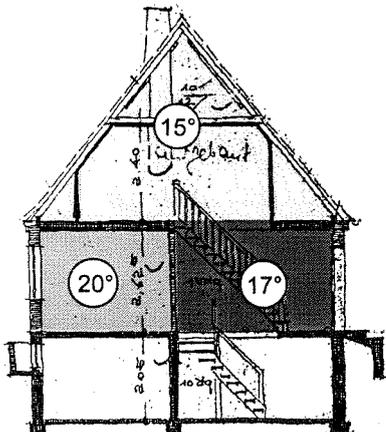
Sachbearbeitung: Rolf Born

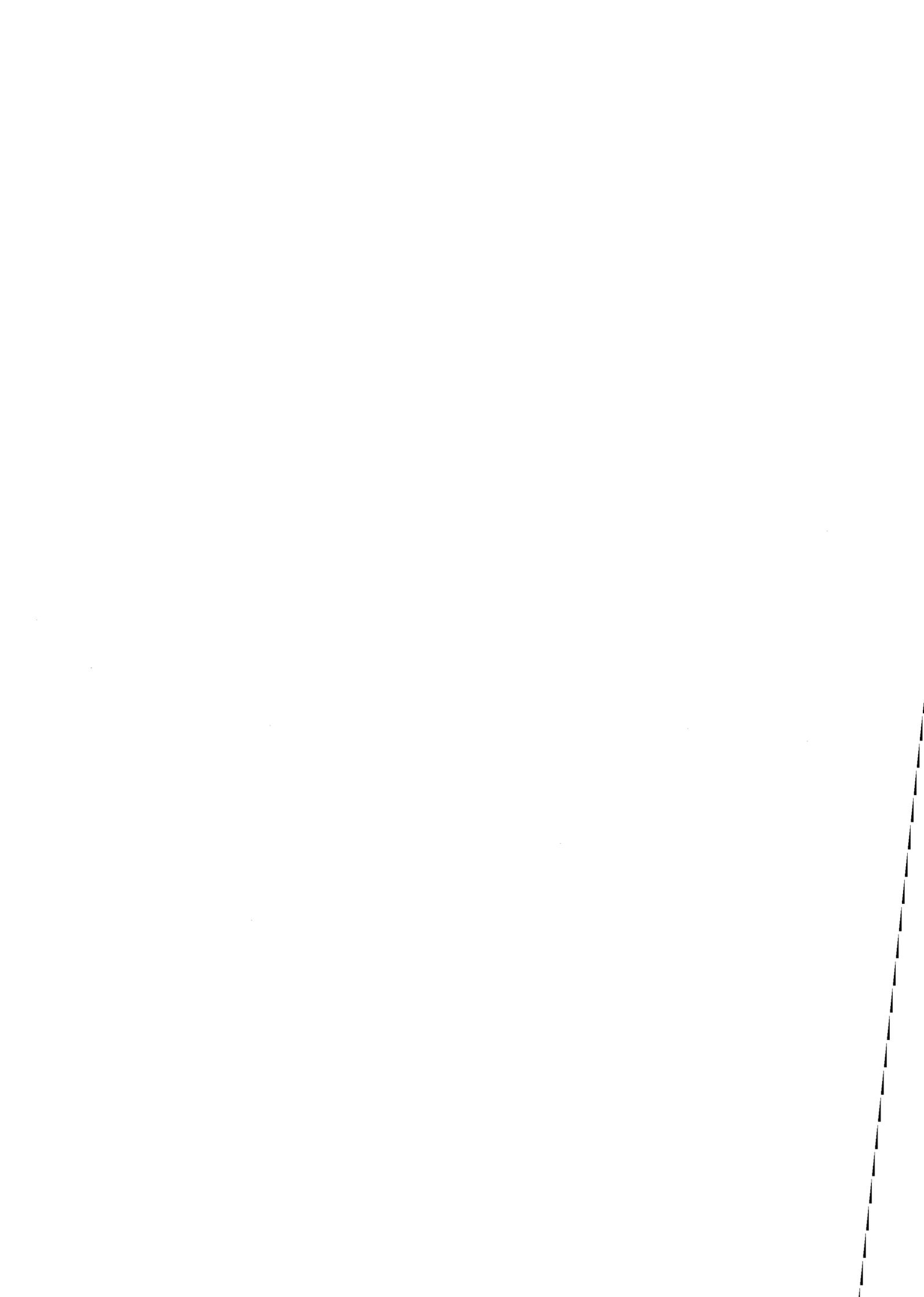
Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage  
Darmstadt, Dezember 1999

ISBN-Nr. 3-932074-34-3

IWU-Bestell-Nr. 09/99





**Inhalt**

Vorwort .....	i
<b>Teil I Ergebnisse im Überblick: Korrekturfaktoren für stationäre Bilanzverfahren .....</b>	<b>I-1</b>
1 Definition der Korrekturfaktoren .....	I-1
2 Korrekturfaktoren für räumlich eingeschränkte Beheizung .....	I-2
3 Korrekturfaktoren für Nacht- und Wochenendabsenkung .....	I-5
4 Definition einer „typischen Nutzung“ .....	I-8
<b>Teil II Parameterstudie zu Korrekturfaktoren für räumlich eingeschränkte Beheizung .....</b>	<b>II-1</b>
1 Das Modellgebäude .....	II-1
2 Berechnungsverfahren .....	II-2
3 Parametervariation .....	II-5
4 Monatsbilanzen .....	II-7
5 Ergebnisse der Parameter-Variation: Äquivalente Temperaturen bzw. Korrekturfaktoren für Teilbeheizung .....	II-10
6 Praxisgerechte Vereinfachungen und Übertragbarkeit .....	II-14
7 Anhang .....	II-17
<b>Teil III Parameterstudie zu Korrekturfaktoren für Nacht- und Wochenendabsenkung .....</b>	<b>III-1</b>
1 Aufgabenstellung und Untersuchungsziel .....	III-1
2 Untersuchungsmethoden .....	III-1
3 Ergebnisse .....	III-4
4 Vereinfachtes Rechenmodell und Algorithmus .....	III-7
5 Zusammenfassung .....	III-12
Anhang .....	III-13



## Vorwort

Die durch Wärmeschutzmaßnahmen bei Altbauten erzielbare Energieeinsparung wird in der Regel mit Hilfe von stationären Wärmebilanzverfahren berechnet. Dabei machen Energieberater vielfach die Erfahrung, dass die verwendeten Berechnungsverfahren für den Ausgangszustand Energiebedarfswerte liefern, die erheblich über den beobachteten Verbrauchswerten liegen. Dies betrifft insbesondere Einfamilienhäuser mit schlechtem Wärmeschutz. Entsprechend optimistisch ist die Bestimmung der Einsparung durch wärmetechnische Sanierung, wenn sie auf der Basis der unkorrigierten Rechenwerte erfolgt. Die möglichen Ursachen für die Überschätzung des Heizenergiebedarfs sind vielfältig und können im Einzelfall meist nur vermutet werden:

- geringere Raumtemperaturen durch Nachtabsenkung;
- geringere Raumtemperaturen durch zeitweises Nicht-Beheizen von Räumen oder Gebäudeteilen;
- ein gegenüber den Standardannahmen geringerer Luftwechsel (weil die Fenster wenig oder gar nicht geöffnet werden);
- gegenüber den Standardannahmen erhöhte innere Wärmequellen
- gegenüber den vom Wetterdienst gemessenen Klimadaten günstigere Bedingungen (z.B. höhere Umgebungstemperatur durch dichte Bebauung)
- ein gegenüber Standardannahmen deutlich geringerer Wärmeübergang innen (Strahlungstemperatur liegt niedriger als die Lufttemperatur am Heizungsregler (Sollwert), zusätzliche Behinderung durch Gardinen, Schränke, Bücherregale) und außen (Fassadenbegrünung, Balkone, Nachbarbebauung, absorbierte Solarstrahlung bei dunklen Fassaden),
- pessimistisch angenommene Wärmeleitfähigkeiten von Baustoffen (Annahmen für Rohdichte und Baufeuchte);
- zusätzlich vorhandene Schichten (Wand- und Deckenvertäfelungen, mehrlagige Tapetenschichten).

Im Rahmen einer Energieberatung erfolgt meist eine Anpassung der berechneten Bedarfswerte an die gemessenen Verbrauchswerte durch Absenken der Raum-Solltemperatur in der Energiebilanzberechnung gegenüber dem Standardwert von 20°C, z.T. auch zusätzlich durch Absenken des Luftwechsels. Damit kann die mögliche Energieeinsparung realistischer eingeschätzt werden. Allerdings liegen keine Anhaltspunkte für Raumtemperaturen nach

Sanierung vor, so dass meist die gleichen Werte wie vor der Sanierung verwendet werden. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die mittlere Raumtemperatur nach erfolgter wärmetechnischer Sanierung in der Regel höher liegt.

Liegen gar keine Verbrauchswerte vor, wird meist mit einer mittleren Raumtemperatur von 20°C gerechnet.

Um die durch Wärmeschutzmaßnahmen erzielbare Energieeinsparung nicht zu überschätzen, sollten die oben genannten verbrauchsreduzierenden Effekte bei der Modellierung der Gebäude berücksichtigt werden. In der vorliegenden Studie wird versucht, ein leicht handhabbares Verfahren für die Berücksichtigung der ersten beiden Punkte abzuleiten: der Nachtabsenkung und der eingeschränkten Beheizung von Räumen.

Im Teil 1 dieser Untersuchung werden hierzu Korrekturfaktoren angegeben, die bei der Anwendung stationärer Bilanzverfahren (Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung; Energiepass Heizung/Warmwasser, EN832 ...) hilfreich sein können.

Die Faktoren wurden im Rahmen von zwei Parameterstudien an Beispielgebäuden gewonnen. Teil 2 gibt die Untersuchung für die räumlich, Teil 3 die für die zeitlich eingeschränkte Beheizung wieder.

Auf Basis der Ergebnisse können die Standard-Nutzungsbedingungen stärker differenziert werden. Ziel ist eine bessere Übereinstimmung zwischen Rechenwert und realem Verbrauch bei unterschiedlichen Sanierungszuständen. Wichtig ist dies vor allem für die Erstellung von Energiepässen und für die Bestimmung von Energiesparpotentialen größerer Gebäudebestände mit Hilfe einer Gebäudetypologie.

# Teil I Ergebnisse im Überblick: Korrekturfaktoren für stationäre Bilanzverfahren

Autor: Tobias Loga

## 1 Definition der Korrekturfaktoren

Die Energiebilanzgleichung eines Gebäudes zur Berechnung des jährlichen Heizwärmebedarfs  $Q_H$  lautet gemäß [EN 832], [SIA 380/1], [LEG] oder [EPHW] (Heizperiodenbilanz):

$$Q_H = Q_V - \eta \cdot Q_G \quad [\text{kWh / a}] \quad (\text{Gl. 1})$$

mit:

- $Q_V$  Wärmeverlust [kWh/a]
- $Q_G$  Wärmeangebot in der Heizzeit [kWh/a]
- $\eta$  Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne [-]

Werden einzelne Zonen eines Gebäudes nicht direkt beheizt oder wird die Raum-Solltemperatur des Gebäudes nachts abgesenkt, so ergibt sich in der Heizzeit eine Reduktion der mittleren Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Diese Reduktion wird im folgenden in der Bilanzgleichung in Form von Korrekturfaktoren  $f_{ze}$  und  $f_{re}$  berücksichtigt, die auf die jährlichen Wärmeverluste wirken.

$$Q_V = f_{ze} \cdot f_{re} \cdot (H_T + H_L) \cdot \Theta \quad [\text{kWh / a}] \quad (\text{Gl. 2})$$

mit:

- $H_T$  Temperatur-spezifischer Transmissionswärmeverlust [W/K]
- $H_L$  Temperatur-spezifischer Lüftungswärmeverlust [W/K]
- $\Theta$  Gradstunden [kKh/a]
- $f_{ze}$  Korrekturfaktor zeitlich eingeschränkte Beheizung [-]
- $f_{re}$  Korrekturfaktor räumlich eingeschränkte Beheizung [-]

## 2 Korrekturfaktoren für räumlich eingeschränkte Beheizung

Die Wirkung der räumlich eingeschränkten Beheizung auf die Wärmeverluste hängt von der thermischen Kopplung zwischen der beheizten und unbeheizten Zone ab, sowie zwischen der unbeheizten Zone und der Umgebung. Die thermische Kopplung wird im Prinzip bestimmt durch die Größe und die k-Werte der jeweiligen Trennflächen sowie durch den Luftaustausch.

In Teil II der vorliegenden Dokumentation wird für den *Korrekturfaktor für räumlich eingeschränkte Beheizung*  $f_{re}$  eine Näherungsformel abgeleitet. Es geht der Grad der räumlich eingeschränkten Beheizung (Flächenanteil der entsprechenden Zone, damit auch indirekt die Größe der Trennfläche zwischen beheizter und nicht beheizter Zone) und der Wärmeschutzstandard des Gebäudes ein. Die Näherungsformel für  $f_{re}$  lautet:

$$f_{re} = \left( \frac{1}{0,5\sqrt{h} \cdot n^2 + 1} \right) \quad [-] \quad \text{(Gl. 3)}$$

mit:

- $h$  Temperatur- und Nutzflächen-spezifischer Wärmeverlust des Gebäudes [W/(m<sup>2</sup>K)]
- $n$  Anteil der teilbeheizten Wohnfläche (für  $n < 0,5$ )

Der Temperatur- und Nutzflächen-spezifische Wärmeverlust wird in der Folge vereinfachend „spezifischer Wärmeleitwert“ genannt und ist wie folgt definiert:

$$h = \frac{H_T + H_L}{A_{EB}} \quad [\text{W} / (\text{m}^2\text{K})] \quad \text{(Gl. 4)}$$

Der nicht direkt beheizte Wohnflächenanteil eines Gebäudes  $n$  nimmt im Allgemeinen mit der Zahl der Zimmer bzw. der Wohnungsgröße zu. Auf der Basis von Erfahrungswerten wird folgende Abhängigkeit von der mittleren Wohnungsgröße eines Gebäudes  $A_{WE}$  definiert:

$$\text{für } A_{WE} \leq 80 \text{ m}^2: \quad n = 0 \quad [-]$$

$$\text{für } A_{WE} > 80 \text{ m}^2: \quad n = 0,75 \frac{A_{WE} - 80\text{m}^2}{A_{WE}} \quad [-]$$

Dabei wird die beheizte Wohnfläche je Wohnung berechnet aus:

$$A_{WE} = \frac{A_{EB}}{n_{WE}} \quad [m^2] \quad (Gl. 5)$$

mit:

$A_{EB}$  Energiebezugsfläche des Wohngebäudes [ $m^2$ ]

$n_{WE}$  Anzahl der Wohneinheiten des Gebäudes [-]

Die in den Formeln beschriebene Abhängigkeit des Korrekturfaktors  $f_{re}$  vom spezifischen Wärmeleitwert  $h$  (Definition s.o.) zeigt folgende grafische Darstellung für verschiedene Stufen der Teilbeheizung:

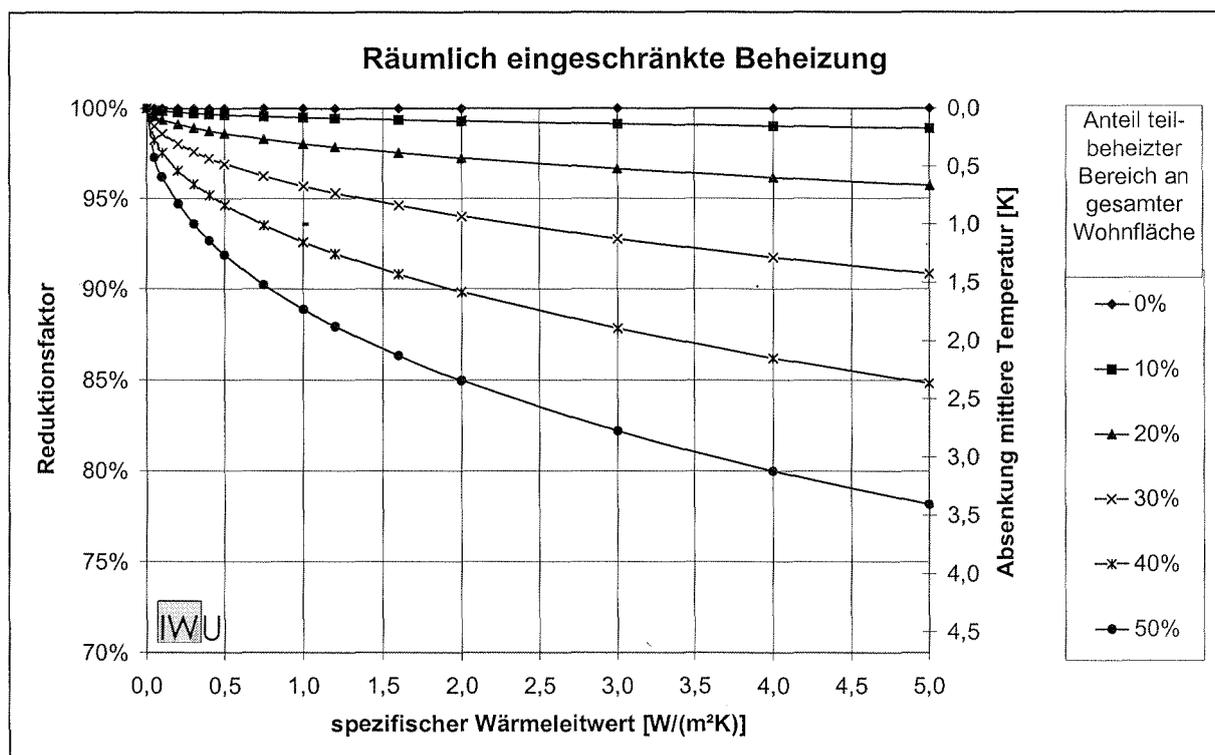


Abb. 1: Korrekturfaktor  $f_{re}$  in Abhängigkeit vom „spezifischen Wärmeleitwert“ für verschiedene Stufen der Teilbeheizung

Für schnelle Abschätzungen (z.B. bei Berechnung von Hand) kann auch die folgende Tabelle verwendet werden.

Korrekturfaktor Wärmeverluste bei räumlicher Teilbeheizung					
	spezif. Heizlast* [W/m <sup>2</sup> ]	spezif. Wärmeleitwert** [W/(m <sup>2</sup> K)]	Gebäudetyp		
			EFH	RH	MFH
			Wohnfläche pro Wohnung		
			160 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
			nicht direkt beheizter Anteil		
			38%	25%	0%
Altbau, schlechter Wärmeschutz	150	5,0	0,86	0,93	1,00
Altbau, verbessert	100	3,3	0,89	0,95	1,00
1. + 2. WSchV	80	2,7	0,90	0,95	1,00
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,91	0,96	1,00
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,92	0,97	1,00
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,95	0,98	1,00

Zwischenwerte können linear interpoliert werden

\*) Heizlast bei Auslegungsbedingungen pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

\*\*) Wärmeverluste (Transmission und Lüftung) pro K Temperaturdifferenz und m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche

Tab. 1: Tabellierte Korrekturfaktoren  $f_{re}$  für räumlich eingeschränkte Beheizung

### 3 Korrekturfaktoren für Nacht- und Wochenendabsenkung

Die Auswirkung einer zeitweise eingeschränkten Beheizung hängt prinzipiell ab von der Dauer der Absenkung, von der Raum-Solltemperatur, die als Stütztemperatur gehalten wird und von der Zeitkonstanten des Gebäudes, also dem Abklingverhalten der Raumtemperatur bei Abschalten der aktiven Beheizung.

Aus der in Teil 3 der vorliegenden Dokumentation beschriebenen Parameterstudie konnte durch Interpolation und Näherung der in der folgenden Tabelle wiedergegebenen Abhängigkeit des Korrekturfaktors  $f_{ze}$  ermittelt werden:

Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nacht-/Wochenendabsenkung															
Solltemperatur Absenkung [°C]	15						5								
Dauer Wochenendabsenkung [h]	60						60								
Dauer Nachtabsenkung [h]	4	8	12	16	8	12	16	4	8	12	16	8	12	16	
Gebäude- zeitkonstante [h]	25	0,97	0,92	0,86	0,83	0,87	0,81	0,79	0,97	0,91	0,81	0,77	0,79	0,70	0,67
	50	0,98	0,94	0,89	0,86	0,89	0,84	0,81	0,98	0,94	0,87	0,84	0,82	0,76	0,73
	75	0,98	0,94	0,91	0,88	0,89	0,85	0,83	0,98	0,94	0,89	0,86	0,84	0,79	0,76
	100	0,99	0,95	0,91	0,88	0,89	0,86	0,83	0,99	0,95	0,90	0,87	0,85	0,80	0,78
	150	0,99	0,96	0,92	0,90	0,90	0,87	0,85	0,99	0,96	0,92	0,89	0,87	0,83	0,81
	200	0,99	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,99	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
250	0,99	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	

Tab. 2: Aus der Parameterstudie abgeleitete Abhängigkeit des Korrekturfaktors  $f_{ze}$  von der Dauer der Absenkung und der Gebäudezeitkonstante

Die Gebäude-Zeitkonstante ist definiert:

$$\tau = \frac{c}{h} \quad [\text{h}] \quad (\text{Gl. 6})$$

mit:

- $c$  Temperatur- und Nutzflächen-spezifische Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes [Wh/(m²K)]
- $h$  Temperatur- und Nutzflächen-spezifischer Wärmeverlust des Gebäudes (siehe oben) [W/(m²K)]

Die spezifische Wärmespeicherfähigkeit  $c$  eines Gebäudes wird generell nach der Vorgabe der [EN 832 : 1998] ermittelt (siehe Teil 3). Sie bewegt sich üblicherweise zwischen den Extremwerten 50 (ausschließlich Leichtbauteile) und 150 Wh/(m²K) (ausschließlich massive

Bauteile mit guter thermischer Kopplung an die Raumluft). Bei konventionell errichteten Gebäuden kann ein Wert von 100 Wh/(m²K) angesetzt werden. Die für den Standardwert und die beiden Extremwerte errechneten Korrekturfaktoren geben die folgenden Tabellen wieder, die bereits in [EPWH 1997] abgedruckt wurden. Eine explizite Bestimmung der Zeitkonstanten ist nicht erforderlich, die Einordnung erfolgt über den Wärmeschutzstandard und die drei Klassen der Wärmespeicherfähigkeit.

Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nachtabsenkung*					
	spezif. Heizlast**	spezif. Wärmeleitwert**	spezif. Wärmespeicherfähigkeit**		
			[Wh/(m²K)]		
	[W/m²]	[W/(m²K)]	50	100	150
Bauweise***					
			leicht	mittel	schwer
Altbau	100	3,3	0,90	0,92	0,93
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,92	0,94	0,95
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,93	0,95	0,96
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,95	0,96	0,97

\*) Nachtabsenkung 8 h, Nacht-Solltemperatur 15°C / Zwischenwerte können interpoliert werden

\*\* pro m² Energiebezugsfläche

\*\*\* Bauweise (betr. Bauelemente Außen-, Innenwände, Geschoßdecken, Dach):

"leicht": ausschließlich Leichtbauteile; "schwer": ausschließlich massive Bauteile

**Tab. 3 Korrekturfaktoren  $f_{ze}$  für Nachtabsenkung**  
(aus: [EPHW 1997])

Reduktionsfaktor Wärmeverluste bei Nacht- und Wochenendabsenkung*					
	spezif. Heizlast**	spezif. Wärmeleitwert**	spezif. Wärmespeicherfähigkeit**		
			[Wh/(m²K)]		
	[W/m²]	[W/(m²K)]	50	100	150
Bauweise***					
			leicht	mittel	schwer
Altbau	100	3,3	0,79	0,82	0,84
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,82	0,84	0,85
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,83	0,85	0,86
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,86	0,89	0,92

\*) Nachtabsenkung 12 h, Wochenendabsenkung 60 h, Nacht/Wochenend-Solltemperatur 15°C

Zwischenwerte können interpoliert werden

\*\* pro m² Energiebezugsfläche

\*\*\* Bauweise (betr. Bauelemente Außen-, Innenwände, Geschoßdecken, Dach):

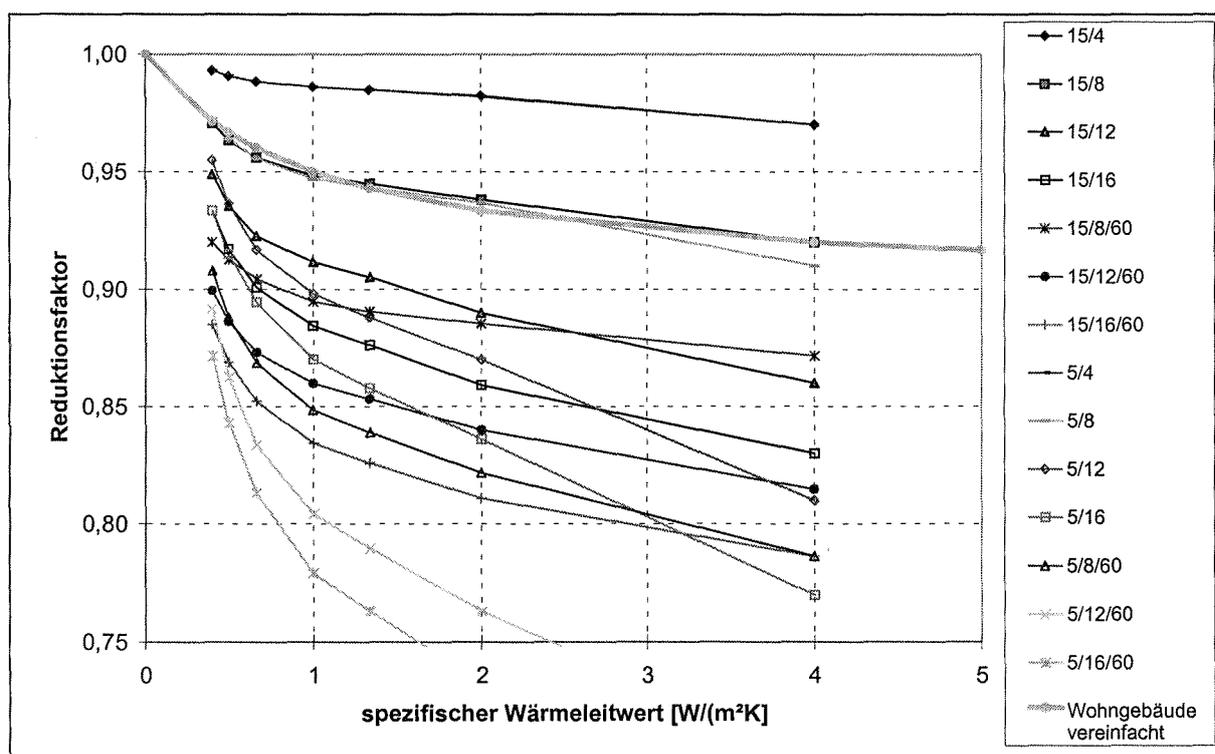
"leicht": ausschließlich Leichtbauteile; "schwer": ausschließlich massive Bauteile

**Tab. 4 Korrekturfaktoren  $f_{ze}$  für Nacht- und Wochenendabsenkung**  
(aus: [EPHW 1997])

Die Tab. 2, Tab. 3 und Tab. 4 können insbesondere für die Bilanzierung von Verwaltungsgebäuden und Schulen mit sehr unterschiedlichen Randbedingungen verwendet werden. Für Wohngebäude kann standardmäßig eine 8-stündige Nachtabsenkung auf eine Soll-Temperatur von 15°C angesetzt werden. Für diesen Fall lässt sich aus den Ergebnissen folgende vereinfachte Formel ableiten:

$$f_{ze} = 0,9 + \frac{0,1}{1+h} \quad [-] \quad (\text{Gl. 7})$$

Im Grenzfall  $h \rightarrow \infty$  geht der Wert gegen 0,9, was bei der verwendeten Gradtagszahl einer Raumtemperatur von 18,4°C entspricht. Diese ist gleich dem zeitlich gewichteten Mittel der Solltemperatur (16 Stunden 20°C, 8 Stunden 15°C), da die Zeitkonstante im Grenzfall sehr klein wird. Den Verlauf der Näherungsformel für Wohngebäude im Vergleich mit den differenzierteren Tabellenwerte zeigt Abb. 2.



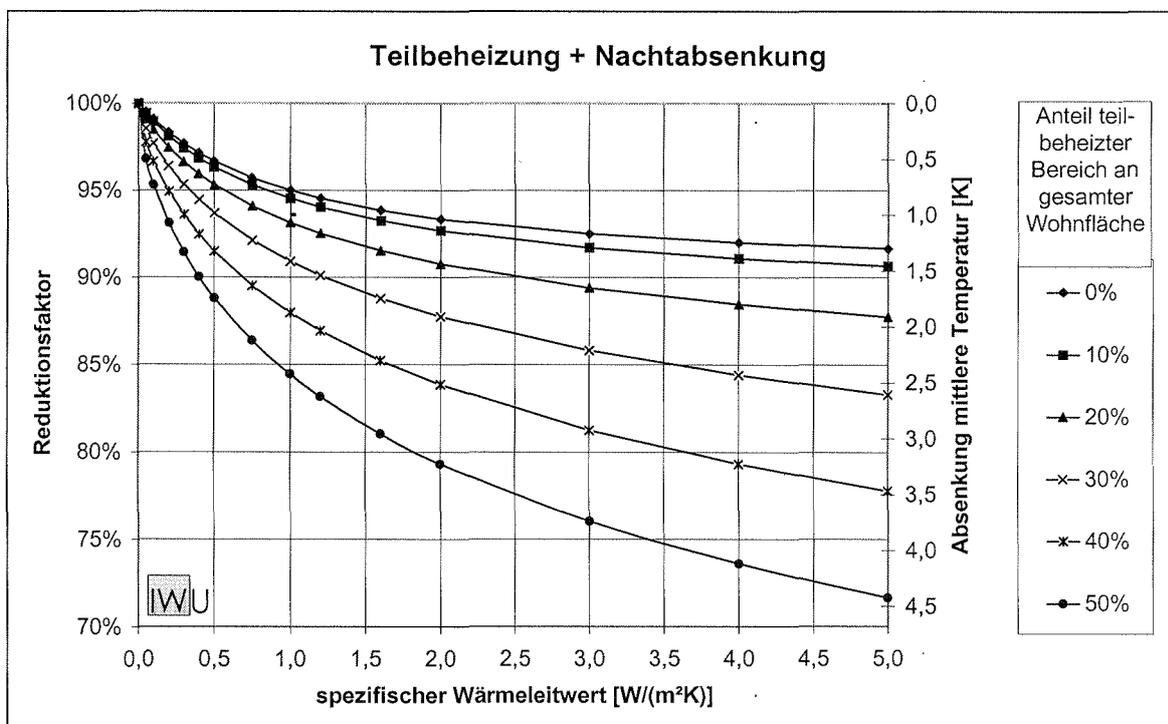
**Abb. 2:** Korrekturfaktoren  $f_{ze}$  für Nacht- und Wochenendabsenkung in Abhängigkeit vom spezifischen Wärmeleitwert für verschiedene Absenkezeiten und -temperaturen

#### 4 Definition einer „typischen Nutzung“

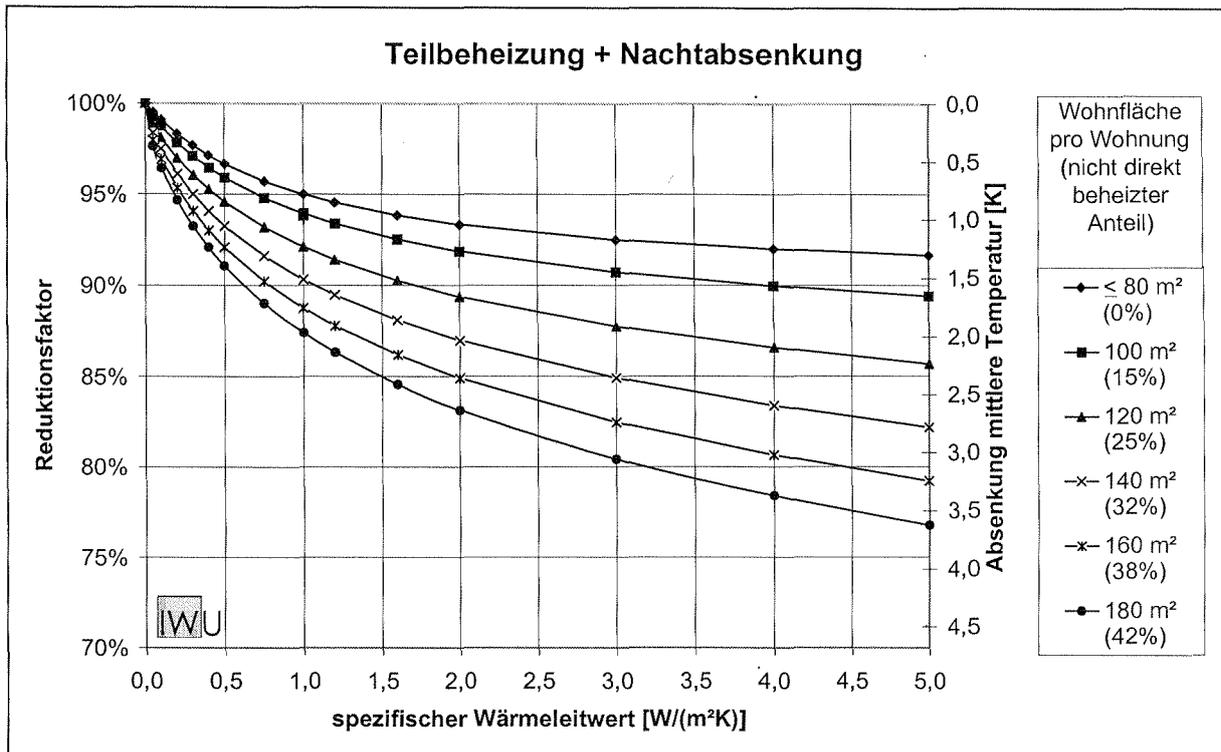
Für Wohngebäude kann der Effekt der räumlich und zeitlich eingeschränkten Beheizung in einem Korrekturfaktor  $f_e$  zusammengefasst werden. Dieser wird durch Multiplikation der beiden Faktoren aus Gl. 3 und 7 gebildet.

$$f_e = \left( \frac{1}{0,5\sqrt{h} \cdot n^2 + 1} \right) \cdot \left( 0,9 + \frac{0,1}{1+h} \right) \quad [-] \quad (\text{Gl. 8})$$

Die Abhängigkeit des Korrekturfaktors  $f_e$  von Teilbeheizungsgrad und Wärmeschutz-Standard gibt Abb. 3 grafisch wieder. In Abb. 13 wird die oben definierte Abhängigkeit des Teilbeheizungsgrades von der Wohnfläche mit berücksichtigt, der Korrekturfaktor wird für verschiedene Wohnflächen beispielhaft dargestellt. Tab. 5 gibt die entsprechenden Tabellenwerte an, Zwischenwerte können linear interpoliert werden.



**Abb. 3:** Kombination der Näherungsformeln für räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung ( $f_e$ )  
Parameter: Anteil teilbeheizter Nutzflächen



**Abb. 4:** Kombination der Näherungsformeln für räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung ( $f_e$ )  
 Parameter: Wohnfläche pro Wohnung

Korrekturfaktor Wärmeverluste bei räumlich und zeitlich eingeschränkter Beheizung					
	spezif. Heizlast* [W/m²]	spezif. Wärmeleitwert** [W/(m²K)]	Gebäudetyp		
			EFH	RH	MFH
			Wohnfläche pro Wohnung		
			160 m²	120 m²	60 m²
			nicht direkt beheizter Anteil		
			38%	25%	0%
Altbau, schlechter Wärmeschutz	150	5,0	0,79	0,86	0,92
Altbau, verbessert	100	3,3	0,82	0,87	0,92
1. + 2. WSchV	80	2,7	0,83	0,88	0,93
Neubau nach WSchV95	60	2,0	0,85	0,89	0,93
Niedrigenergie-Standard	40	1,3	0,87	0,91	0,94
Passivhaus-Standard	15	0,5	0,92	0,95	0,97

Zwischenwerte können linear interpoliert werden

\*) Heizlast bei Auslegungsbedingungen pro m² Energiebezugsfläche

\*\*) Wärmeverluste (Transmission und Lüftung) pro K Temperaturdifferenz und m² Energiebezugsfläche

**Tab. 5:** Tabellierte Korrekturfaktoren für räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung ( $f_e$ )

Bei der Bestimmung der Energiesparpotentials von Altbauten können die Korrekturfaktoren für die Definition einer „typischen Nutzung“ verwendet werden. Die Energieeinsparung durch Wärmeschutzmaßnahmen wird damit etwas pessimistischer beurteilt als bei Standardnutzung mit durchgängig 20°C Raumtemperatur.

Wird bei der Energieberatung für konkrete Gebäude festgestellt, dass keine Nachtabsenkung betrieben wird (meist bei MFH mit zentraler Regelung), können auch die Korrekturfaktoren ohne Nachtabsenkung (Gl. 3 bzw. Tab. 1) verwendet werden.

Die unter diesen Randbedingungen bestimmten Energiekennwerte sind nach wie vor reine Gebäudekennwerte, das standardisierte Nutzerverhalten wird jedoch etwas differenzierter angesetzt (Einstellung des Heizungsreglers auf 8 Stunden Nachtabsenkung, dauerhaftes Herunterregeln von Heizkörpern in einem festgelegten Teil der Wohnung).

## Quellen

- [DIN V 4108-6] Vornorm DIN 4108-6: Wärmeschutz im Hochbau - **Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs von Gebäuden**; Deutsches Institut für Normung, Berlin 1995
- [EN 832 : 1998] Europäische Norm prEN 832: **Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude**; Schlußentwurf Februar 1998
- [EPHW 1997] Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, Ulrich: **Energie-Paß Heizung/Warmwasser**. Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem (Entwurf); Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1997
- [LEG] **Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung**; Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten; Wiesbaden 1995
- [SIA 380/1] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: **SIA 380/1 "Energie im Hochbau"** ; Zürich 1988

## Weiterführende Literatur zum Thema „Zeitlich und räumlich eingeschränkte Beheizung“

- Mügge, Günter: **Die Bandbreite des Heizenergieverbrauchs**. Analyse theoretischer Einflußgrößen und praktischer Verbrauchsmessungen; Dissertation an der Technischen Universität Berlin; in: VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 19, Nr. 69; VDI-Verlag, Düsseldorf 1993
- Feist, Wolfgang: **Passivhäuser in Mitteleuropa**; Dissertation an der Gesamthochschule Kassel, 1992

## Teil II Parameterstudie zu Korrekturfaktoren für räumlich eingeschränkte Beheizung

Autor: Tobias Loga

### 1 Das Modellgebäude

Für die Untersuchung wurde exemplarisch ein Einfamilienhaus gewählt, da hier räumlich eingeschränkte Beheizung typischerweise auftritt. Es handelt sich um das Gebäude EFHD der deutschen Gebäudetypologie: Ein kompaktes Einfamilienhaus der 50er Jahre mit Satteldach und einem kleinen Anbau. Das Haus eignet sich gut für die Untersuchung, weil verschiedene Arten von Zonenbildung möglich sind (unterschiedlich ausgeprägte thermische Kopplung zwischen verschiedenen Zonen).

Abb. 5 gibt die Grundrisse, Ansichten und einen Schnitt des Gebäudes wieder. Im Grundriss und Schnitt sind die vier für die Untersuchung definierten Zonen entsprechend kenntlich gemacht.

Im Ausgangszustand weist das Gebäude folgende Wärmedurchgangskoeffizienten auf:

Bauteil	Konstruktionsart	U-Wert in W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand	24 cm Ziegelsplittsteine	1,44
Dach	11,5 cm Bimssteine zwischen Sparren	1,41
Fußboden gegen Keller	12 cm Stahlbetondecke, oberseitig 6-8 cm Schlackenschüttung + Dielung auf Lagerhölzern	1,01
Fenster	Holzfenster, einfachverglast	4,17
Innenwand (incl. Türen)	11,5 cm Ziegelsplittsteine	2,0
Decke EG	Holzbalkendecke, oberseitig Dielung, unterseitig verputzt	1,5

Tab. 6: Annahmen für Konstruktionen und U-Werte in Anlehnung an [Eicke-Hennig/Siepe 1997]

	Energie- bezugs- fläche	Temperatur-spezifische Wärmeverluste						
		Trans- mission	Lüftung	nach außen	nach Zone 1	nach Zone 2	nach Zone 3	nach Zone 4
		m <sup>2</sup>	W/K	W/K	W/K	W/K	W/K	W/K
Zone 1	39,7	123,4	13,5	136,9		44,8	72,1	19,74
Zone 2	13,9	50,0	4,7	54,7	44,8		23,7	
Zone 3	40,9	200,2	13,9	214,1	72,1	23,7		8,4
Zone 4	13,0	116,3	4,4	120,7	19,7		8,4	
<b>Summe</b>	<b>107,4</b>	<b>489,8</b>	<b>36,5</b>	<b>526,4</b>				

**Tab. 7: Temperatur-spezifische Wärmeverluste der einzelnen Zonen**

Die Flächen und U-Werte für die thermische Hülle der einzelnen Zonen sind im Anhang dargestellt.

## 2 Berechnungsverfahren

Die Energiebilanz des Gebäudes wird mit dem Monatsverfahren nach [EN 832] und mit dem Jahresverfahren nach [LEG] bzw. [EPHW] berechnet. Für die quantitative Bestimmung des Effektes der räumlich eingeschränkten Beheizung wird allerdings nur das genauere Monatsverfahren herangezogen.

Den Energiekennwert Heizwärme für eine Raumsolltemperatur von konstant 20°C berechnet das Monatsverfahren nach [EN 832] zu 382 kWh/(m<sup>2</sup>a), das Jahresverfahren nach [LEG] bzw. [EPHW] zu 378 kWh/(m<sup>2</sup>a) - die Ergebnisse der beiden Verfahren liegen also nahe beieinander. In Abb. 6 ist beispielhaft für das Gebäude die Berechnung nach dem Jahresverfahren dargestellt.



### Energiekennwert Heizwärme

Objekt:  Gebäudetyp/Nutzung:   
 Standort:  Energiebezugsfläche A<sub>EB</sub>:

Bauteile	Fläche m²	k-Wert W/(m²K)	Reduktionsfaktor f <sub>T</sub>	Θ KKh/a	kWh/a
1. Boden	80,6	1,010	0,50	82,7	3366
2. Außenwand	133,4	1,440	1,00	82,7	15879
3. Dach	131,1	1,410	1,00	82,7	15282
4. Fenster	17,3	4,170	1,00	82,7	5966
5.				82,7	
6.				82,7	
7.				82,7	
8.				82,7	

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>** Summe

Luftvolumen V<sub>L</sub>  \*  =  1/h

ankreuzen:  freie Lüftung (Fenster+Fugen): energetisch wirksamer Luftwechsel n = natürl. Luftwechsel  1/h  
 mechan. Lüftung:

energetisch wirksamer Luftwechsel n<sub>L</sub>  \* (1 - ) +  =  1/h

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>**  \*  \*  \*  =

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>**  +  \*  =

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m²	Globalstr. Heizzeit kWh/(m²a)	kWh/a
1. Süd	0,36	0,86	8,5	370,0	979
2. Nord	0,36	0,86	3,0	140,0	131
3. West	0,36	0,86	2,9	230,0	205
4. Ost	0,36	0,86	2,9	220,0	196
5.	0,36				
6.	0,36				

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>** Summe

Innere Wärmequellen Q<sub>I</sub>  \*  \*  \*  =

Freie Wärme Q<sub>F</sub> Q<sub>S</sub> + Q<sub>I</sub> =

Nutzungsgrad Wärmegewinne η<sub>G</sub> 1 - (0,3 \* Q<sub>F</sub> / Q<sub>V</sub>) =

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>** η<sub>G</sub> \* Q<sub>F</sub> =

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>** Q<sub>V</sub> - Q<sub>G</sub> =

**Energiekennwert Heizwärme q<sub>H</sub>** Q<sub>H</sub> / A<sub>EB</sub> =

Anforderung Bauwerksart max.  Anforderung erfüllt?

Abb. 6: Energiebilanzberechnung nach [LEG]/[EPHW] für das Gebäude als 1-Zonen-Modell

Tab. 8 gibt den Heizwärmebedarf für die einzelnen Zonen bei Vollbeheizung wieder.

		Wohnfläche m <sup>2</sup>	Heizwärmebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
			EN832	EPHW
Zone 1	EG Wohnen/Küche	39,7	10103	10319
Zone 2	EG Treppe/Waschküche	13,9	3714	4016
Zone 3	DG	40,9	17564	16934
Zone 4	Anbau	13,0	9620	9351
Summe		107,4	41001	40620
Energiekennwert Heizwärme in kWh/(m <sup>2</sup> a)			<b>381,7</b>	<b>378,2</b>

**Tab. 8: Wohnflächen und Heizwärmebedarf (20°C Soll-Temperatur) der einzelnen Zonen des Gebäudes (unsanierter Altbau)**

### 3 Parametervariation

Für die Parameterstudie wurde das EN 832-Monatsverfahren für 4 Zonen in Form eines Excel-Worksheet implementiert.

Die Wärmeströme durch Trennflächen zwischen den Zonen werden innerhalb der Heizzeit durch die Raumsolltemperaturen bestimmt. Im Rahmen der Untersuchung wird in den direkt beheizten Zonen die Raumsolltemperatur auf 20°C, in den nicht direkt beheizten Zonen auf 12°C festgesetzt.

Bei Reduktion der Raumsolltemperatur einer Zone auf die Absenkttemperatur 12°C verkürzt sich - insbesondere infolge der Wärmeströme von der Nachbarzone - die Heizzeit. In einem Monat, in dem kein Heizwärmebedarf besteht, stellen sich hier Raumtemperaturen zwischen dem Sollwert der betreffenden Zone und der der Nachbarzone ein. Diese „Balance-Temperatur“ (von z.B. 15°C) wird in diesem Fall für die Bestimmung des Verluststroms der Nachbarzone hin zu der betreffenden Zone zugrundegelegt. Sie wird aus der Wärmebilanzgleichung bestimmt und entspricht der Raumtemperatur, bei der die Verluste gerade genau so hoch sind wie die Gewinne. Da die Balance-Temperatur einer Zone von der der jeweiligen Nachbarzonen abhängt, ist eine iterative Berechnung für die Bestimmung des Heizwärmebedarfs des Gebäudes erforderlich.

Der Einfluss des Wärmeschutzes auf den Effekt der Teilbeheizung wurde vereinfacht ermittelt, indem die Transmissionswärmeverluste aller Bauteile sowie der Lüftungswärmeverlust mit einem Faktor reduziert wird. Auf diese Weise konnte der energetische Standard zwischen einem Altbau im unsanierten Zustand und einem Passivhaus variiert werden.

Reduktionsfaktor Wärmeverluste	Wärmeleitwert (Transmission + Lüftung)	spezifischer Wärmeleitwert (Wärmeleitwert pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche)	entspricht energetischem Standard
	W/K	W/(m <sup>2</sup> K)	
100%	526	4,90	Altbau
50%	263	2,45	sanierter Altbau
25%	132	1,23	Niedrigenergiehaus
10%	53	0,49	Passivhaus

**Tab. 9: Abbildung unterschiedlicher energetischer Standards durch Reduktion der Wärmeverluste**

Als Maßstab für den Grad der Teilbeheizung dient der Anteil des nicht direkt beheizten Bereichs an den gesamten spezifischen Wärmeverlusten. Er wird gebildet aus dem Quotienten des Temperatur-spezifischen Wärmeverlustes (nach außen) der betrachteten nicht beheizten Zone und dem gesamten Temperatur-spezifischen Wärmeverlust („Wärmeleitwert“) des Gebäudes. Geht man in 1. Näherung davon aus, dass die Kopplung zwischen beheiztem und unbeheiztem Bereich (d.h. der Nutzflächen-bezogene Wärmeleitwert) immer gleich groß ist, so ist mit dem so definierten Parameter eine Übertragung auf jede andere Gebäudeart möglich.

Zur weiteren Vereinfachung wird der Grad der Teilbeheizung später nur noch aus dem Verhältnis der nicht beheizten zur gesamten Energiebezugsfläche gewonnen (s. Abschnitt 5).

Um möglichst verschiedenartige und unterschiedlich große unbeheizte Zonen zu verwenden, wurden Zone 1 bis 4 miteinander zu 8 Fällen kombiniert:

		Fall	1	2	3	4	5	6	7	8
nicht beheizt	Zone 1					X				
	Zone 2			X	X				X	X
	Zone 3						X	X	X	X
	Zone 4		X		X			X		X
Anteil an gesamter EBF			12%	13%	25%	37%	38%	50%	51%	63%
Anteil an gesamtem spezif. WV.			23%	10%	33%	26%	41%	64%	51%	74%

**Tab. 10: Übersicht über die untersuchten 8 Fälle**

## 4 Monatsbilanzen

Die folgenden Grafiken zeigen exemplarisch Monatsbilanzen für die Berechnung nach EN 832. Da hier nur der qualitative Verlauf interessiert, beschränken wir uns auf die beiden extremen energetischen Standards „Altbau“ und „Passivhaus“, jeweils vollbeheizt und teilbeheizt (direkte Beheizung nur für Wohnzimmer + Küche im Erdgeschoss = Zone 1). Für jede Zone wird die sich als Monatsmittel einstellende Raumtemperatur (abhängig von der Außentemperatur, den internen und solaren Wärmegewinnen und den Temperaturen in den Nachbarzonen) und der davon abhängige Heizwärmebedarf dargestellt.

Der Wärmeschutz des Gebäudes wirkt sich sehr stark auf das Verhalten bei räumlich eingeschränkter Beheizung aus: Beim Altbau liegt die Raumtemperatur der schlecht gekoppelten Zonen 3 und 4 von Oktober bis April bei der Stütztemperatur von 12°C. Für die besser gekoppelte Zone 2 verkürzt sich dieser Zeitraum auf November bis März. In dieser Zeit entsteht auch in den abgesenkten Zonen ein Heizwärmebedarf. Beim Passivhaus bleiben die Heizkörper in den abgesenkten Zonen das ganze Jahr über kalt, da die indirekte Beheizung viel stärker wirkt. Die tiefsten Temperaturen liegen im Dezember und Januar je nach thermischer Kopplung zur beheizten Zone zwischen 16 und 19°C

Noch eine Anmerkung zum Temperaturniveau im Passivhaus: Die beim Passivhaus-Standard außerhalb der Heizzeit festzustellenden hohen Raumtemperaturen von über 26°C würden sich nur bei durchgängig geschlossenen Fenstern einstellen. In der Praxis werden durch Fensteröffnen deutlich geringere Temperaturen erreicht. Dies bestätigen auch Temperaturmessungen bei Modellprojekten.

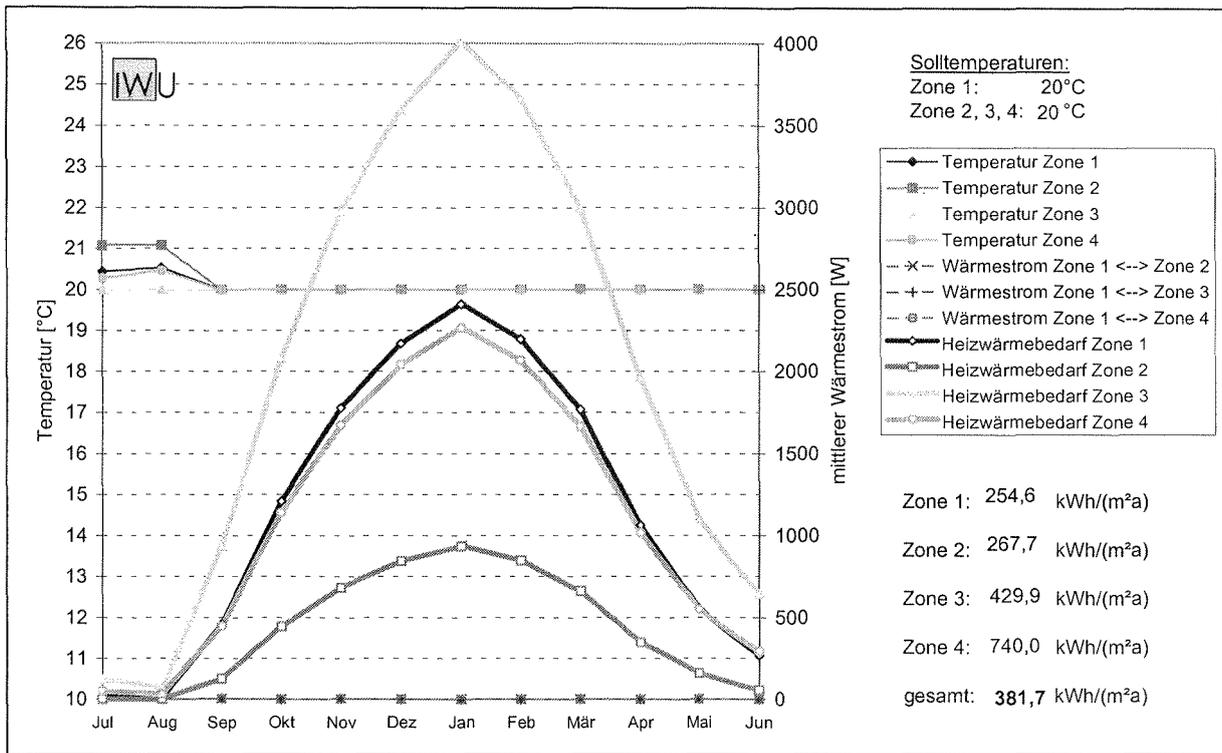


Abb. 7: Monatswerte der Raumtemperaturen und des Heizwärmebedarfs für 4 Zonen des Altbaus („spezif. Wärmeleitwert“ 4,9 W/(m²K)), vollbeheizt

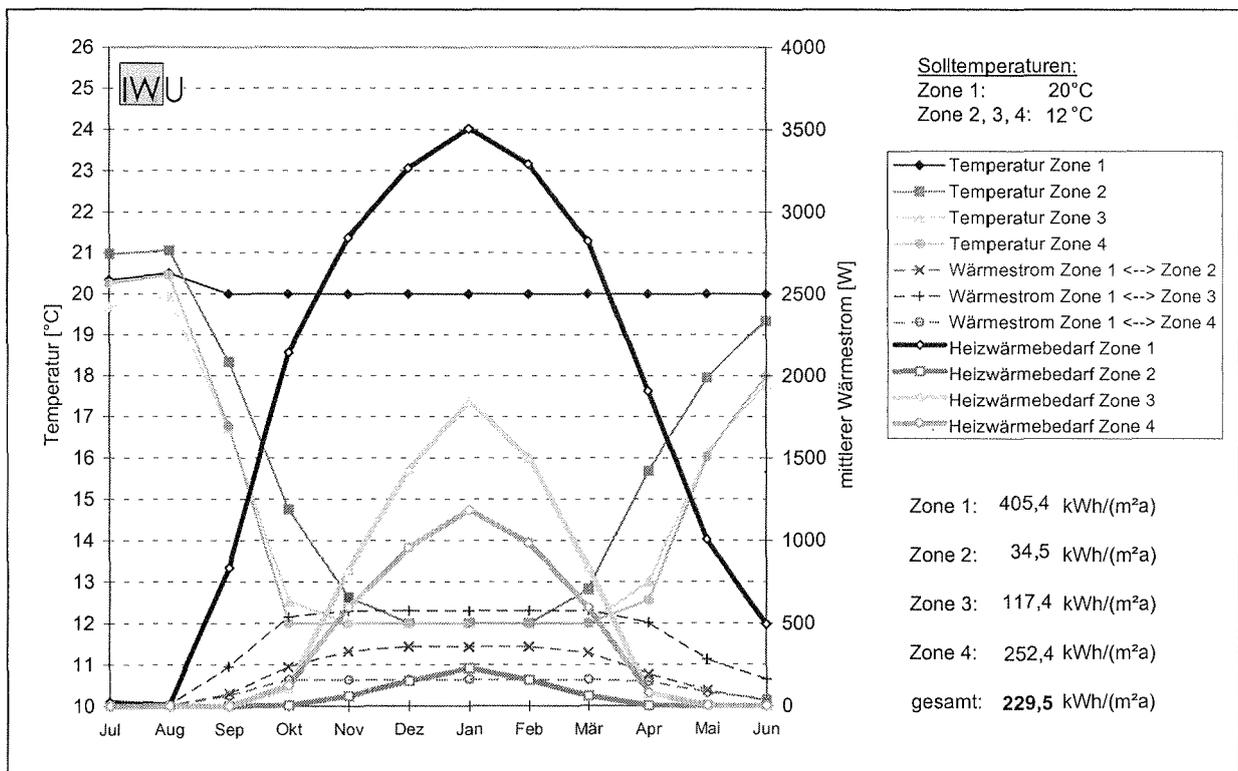
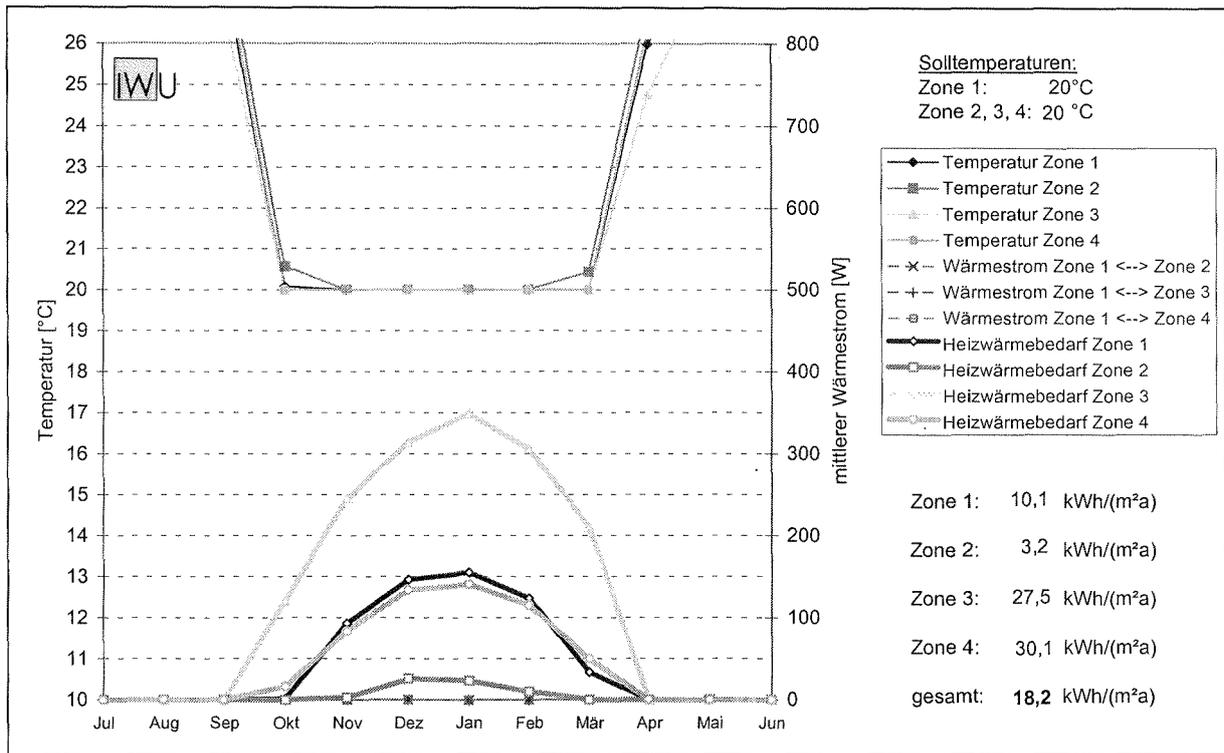
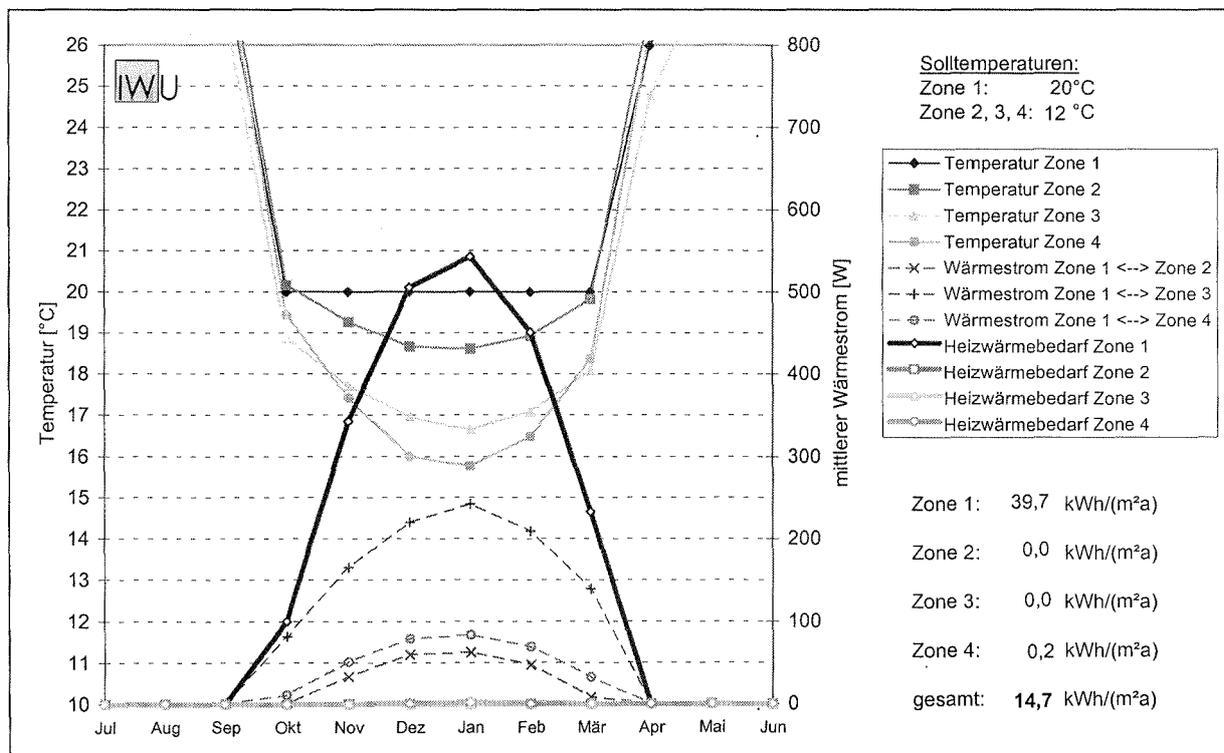


Abb. 8: Monatswerte der Raumtemperaturen und des Heizwärmebedarfs für 4 Zonen des Altbaus („spezif. Wärmeleitwert“ 4,9 W/(m²K)), Zone 2 bis 4 abgesenkt



**Abb. 9:** Monatswerte der Raumtemperaturen und des Heizwärmebedarfs für 4 Zonen des Gebäudes mit Passivhaus-Standard („spezif. Wärmeleitwert“ 0,5 W/(m²K)), vollbeheizt



**Abb. 10:** Monatswerte der Raumtemperaturen und des Heizwärmebedarfs für 4 Zonen des Gebäudes mit Passivhaus-Standard („spezif. Wärmeleitwert“ 0,5 W/(m²K)), Zone 2 bis 4 abgesenkt

## 5 Ergebnisse der Parameter-Variation: Äquivalente Temperaturen bzw. Korrekturfaktoren für Teilbeheizung

Durch eine einfache Korrektur soll die räumliche Teilbeheizung im Monatsverfahren nach EN 832 und im Jahresverfahren nach LEG/EPHW berücksichtigt werden. Hierzu wird im Prinzip die Raumsolltemperatur für das gesamte Gebäude  $\theta_{\text{äquiv}}$  bestimmt, bei der der gleiche Heizwärmebedarf erreicht wird wie im teilbeheizten Betrieb. Für das Jahresverfahren („Heizperiodenbilanzverfahren“) wird daraus ein Korrekturfaktor  $f_{re}$  ermittelt, der sich auf die jährlichen Wärmeverluste auswirkt (analog zum Korrekturfaktor Nacht-/Wochenendabsenkung aus Teil 1 Abschnitt 3).

Die einzelnen Schritte sind:

1. Bestimmung des Heizwärmebedarfs nach EN 832 im jeweiligen Teilheizbetrieb.
2. Ermittlung der äquivalenten Raumsolltemperatur  $\theta_{\text{äquiv}}$ , bei der der Heizwärmebedarf nach EN 832 *ohne* Teilbeheizung dem nach Punkt 1 ermittelten entspricht.
3. Bestimmung des Korrekturfaktors für das Jahresverfahren entsprechend folgendem Schema:

$$f_{re} = \frac{\theta_{\text{äquiv}} - \theta_e}{20^\circ\text{C} - \theta_e} \quad [-] \quad (\text{Gl. 9})$$

Dabei ist  $\theta_e$  die mittlere Außentemperatur in der Heizzeit für eine Heizgrenze von 12 °C.

Bei Punkt 3 ist zu beachten, dass die Gleichung nur für das Jahresverfahren exakt gilt. Wird der so abgeleitete Faktor  $f_{re}$  im Monatsverfahren der EN 832 angewendet (was streng genommen wegen der hier nicht definierten Heizgrenze nicht zulässig ist), so ergibt sich - insbesondere für schlecht gedämmte Gebäude - ein leicht höherer Heizwärmebedarf. Im Vergleich zur genauen Berechnung wird die Energieeinsparung durch räumlich eingeschränkte Beheizung durch den Reduktionsfaktor  $f_{re}$  also etwas pessimistischer abgeschätzt.

Die Ergebnisse der Parametervariation gibt Abb. 11 wieder. Für die vier Wärmeschutzstandards ist die Abhängigkeit des Korrekturfaktors von dem Verhältnis des Wärmeleitwerts der teilbeheizten Zone zum Gesamt-Wärmeleitwert dargestellt.

Bei einer 10-prozentigen Teilbeheizung liegt die erzielbare Energieeinsparung generell noch unter 3%. Dagegen werden bei einer 50-prozentigen Teilbeheizung beim Altbau ca. 20%, beim Niedrigenergiehaus ca. 13%, beim Passivhaus ca. 6% Energieeinsparung erreicht.

Abb. 12 zeigt die Ergebnisse noch einmal für die 8 verschiedenen Teilbeheizungsgrade als Funktion des Wärmeschutzstandards.

Trotz der extrem unterschiedlichen Geometrien der 8 verschiedenen unbeheizten Bereiche zeigt Abb. 11 tendenziell monoton fallende Kurven. Die auffälligen Sprünge bei ca. 25% ist

durch die sehr unterschiedliche thermische Kopplung der bezüglich des Wärmeverlustes nach außen etwa gleichwertigen Zonen 1 und 4 bedingt (der Absenkbetrieb in Zone 4 = Anbau bringt eine deutlich höhere Energieeinsparung als der im Wohnzimmer = Zone 1). Der Unterschied zeigt die Größe des Fehlers, der durch Vernachlässigung der Abhängigkeit von der thermischen Kopplung der Zonen in der folgenden Näherungsformel entsteht.

Die gefundene Abhängigkeit kann näherungsweise wie folgt beschrieben werden:

$$f_{re} = \left( \frac{1}{0,5\sqrt{h} \cdot n_V^2 + 1} \right) \quad [\text{W} / (\text{m}^2\text{K})] \quad (\text{Gl. 10})$$

mit:

$h$  der Temperatur- und Nutzflächen-spezifische Wärmeverlust des Gebäudes  
[W/(m<sup>2</sup>K)]

$n_V$  Anteil der teilbeheizten Zone an den gesamten Wärmeverlusten (für  $n_V \leq 0,5$ )

Der Temperatur- und Nutzflächen-spezifische Wärmeverlust wird vereinfachend „spezifischer Wärmeleitwert“ genannt und ist wie folgt definiert:

$$h = \frac{H_T + H_L}{A_{EB}} \quad [\text{W} / (\text{m}^2\text{K})] \quad (\text{Gl. 11})$$

In Abb. 11 und Abb. 12 ist neben den exakten Ergebnissen der Parametervariation auch der Verlauf der Näherungsfunktion dargestellt.

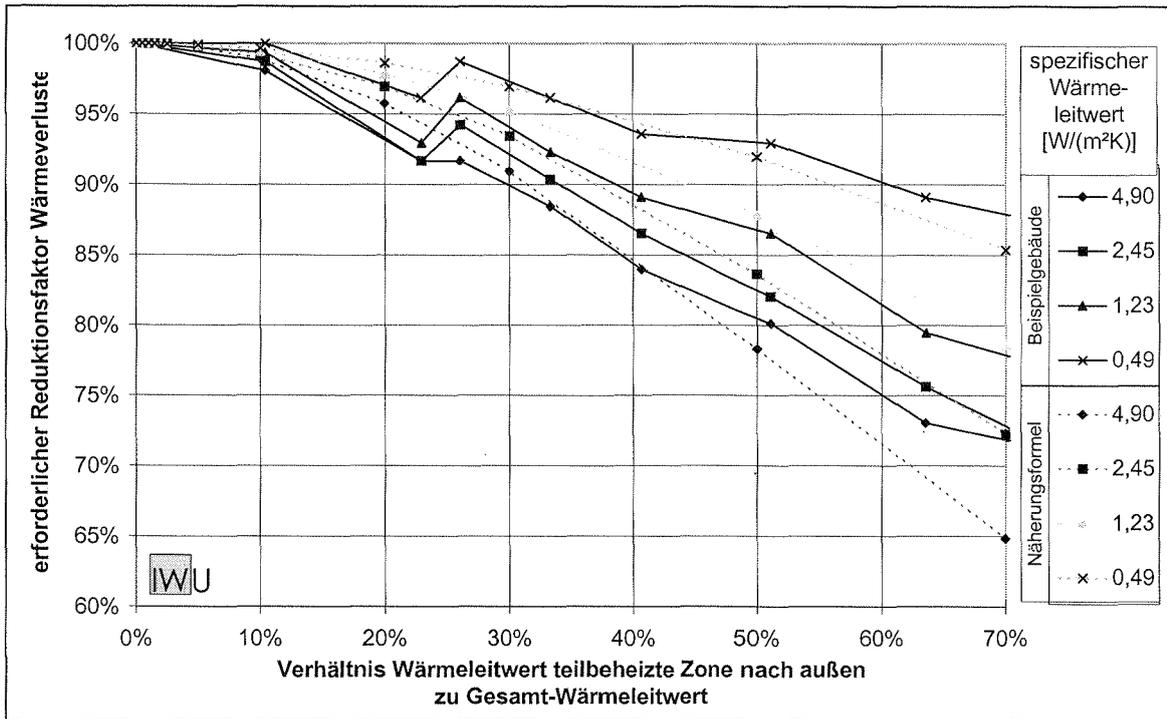


Abb. 11: Rechnerisch ermittelte Korrekturfaktoren und Näherungsformel für verschiedene Wärmeschutzstandards in Abhängigkeit vom Grad der Teilbeheizung

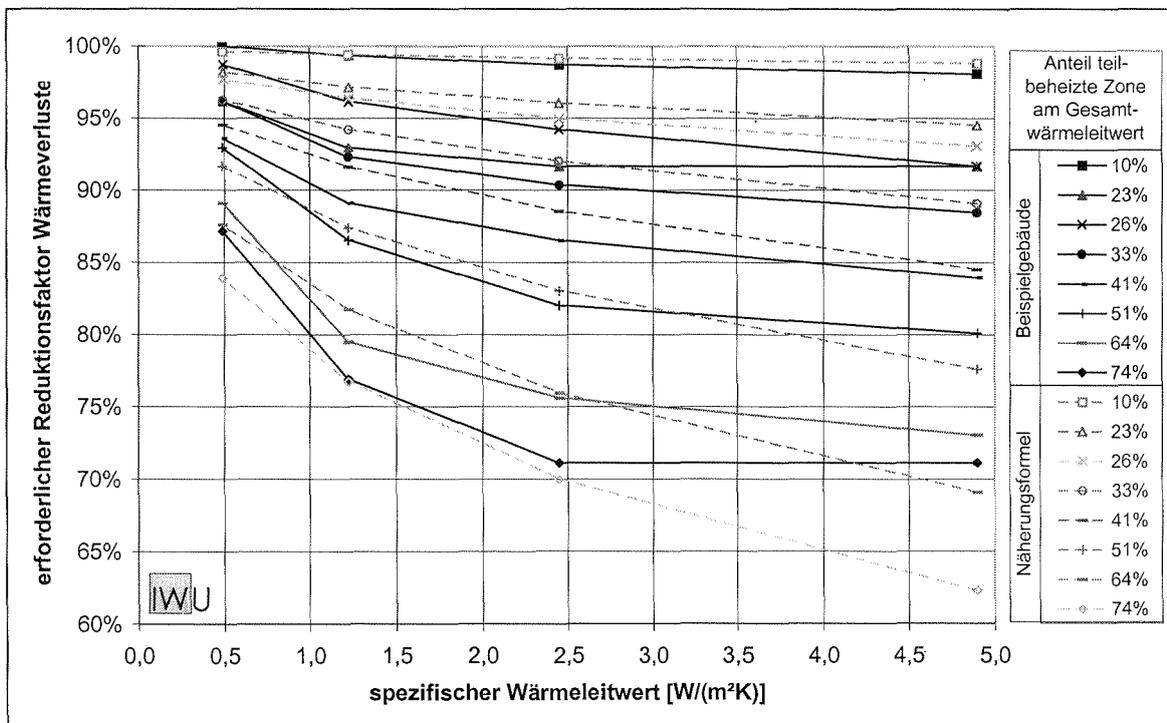


Abb. 12: Rechnerisch ermittelte Korrekturfaktoren und Näherungsformel für verschiedene Stufen der Teilbeheizung in Abhängigkeit vom Wärmeschutzstandard

Abb. 13 zeigt die Auswirkung des Korrekturfaktors im Jahresverfahren im Vergleich zur exakten Berechnung des Monatsverfahrens für die 4 Wärmeschutzstandards und 8 Teilbeheizungsgrade. Die Übereinstimmung ist sehr gut. Die beim schlechten Wärmeschutzstandard gegenüber der Idealkurve etwas geringere Steigung hängt oben dargestellten methodischen Unterschieden zwischen EN-Monatsverfahren (Bilanzzeitraum jeweils ganzer Monat) und Heizperioden-Verfahren (Gradtage bei gegebener Heizgrenze) zusammen.

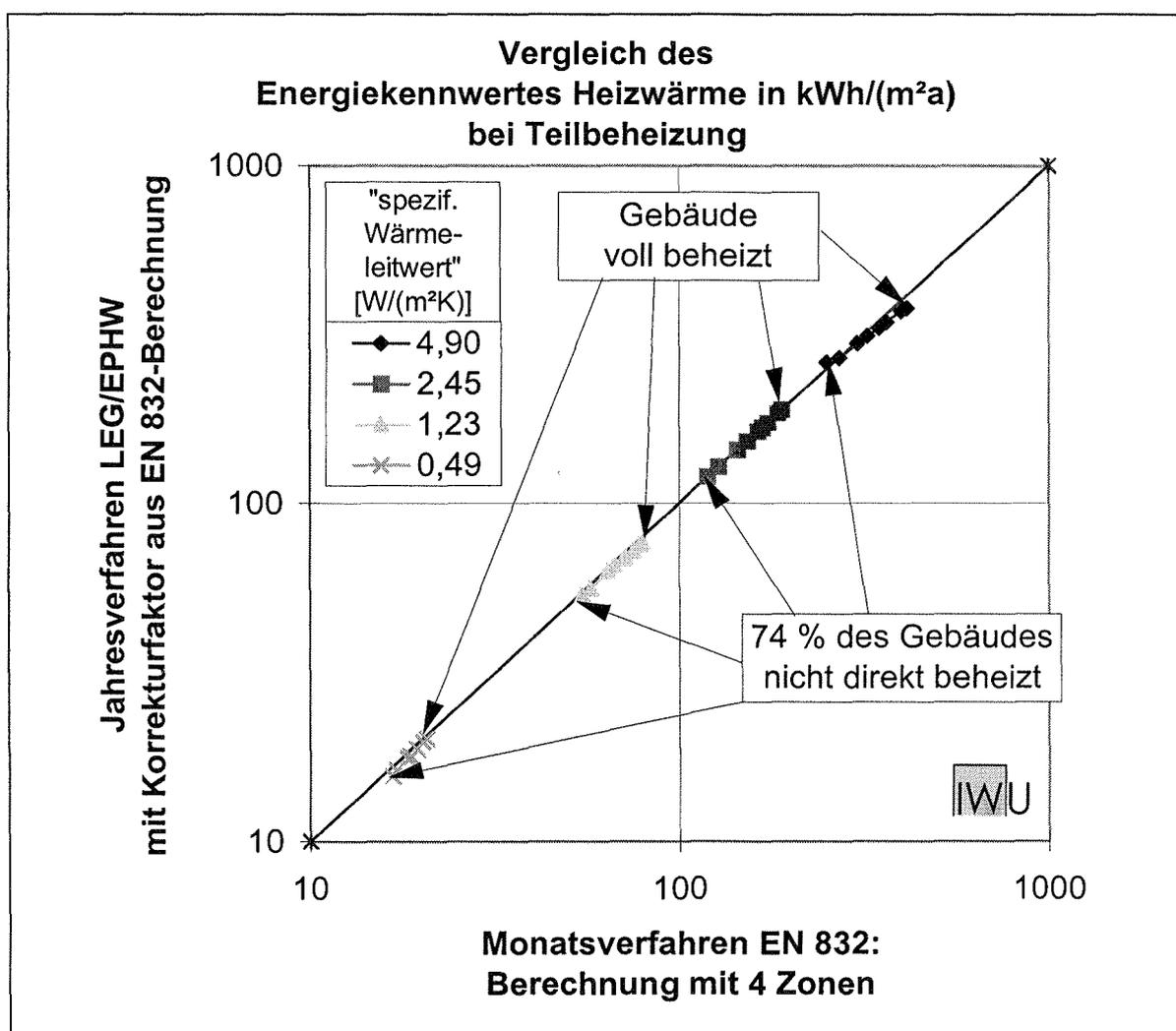


Abb. 13: Ergebnisse des Jahresbilanzverfahrens LEG/EPHW mit Korrekturfaktor im Vergleich mit den exakten Berechnung mit dem Monatsverfahren der EN 832 (4-Zonen-Modell)

## 6 Praxisgerechte Vereinfachungen und Übertragbarkeit

Da in der Praxis die Bestimmung der Wärmeverluste einer nicht direkt beheizten Zone aufwendig ist, wurde untersucht, welche Ungenauigkeit die Verwendung der nicht beheizten Wohnfläche als Maß für den Grad der Teilbeheizung bei dem Beispielgebäude mit sich bringt. Abb. 14 zeigt die Korrelation zwischen den beiden Größen, jeweils als relative Werte. Die Streuung gibt die Unterschiede der Wohnflächen-bezogenen Wärmeverluste der einzelnen Zonen wieder (abhängig von der Außenfläche und den jeweiligen k-Werten, damit insbesondere auch vom Fensterflächen-Anteil). Die Korrelationsgrafik zeigt, dass die Unsicherheit in der Größenordnung von  $\pm 10$  Prozentpunkten liegt.

Die nicht beheizte Wohnfläche kann daher nur für grobe Aussagen und für eine Definition von typischen Nutzungsdaten herangezogen werden. Soll z.B. im Rahmen der Energieberatung ein einzelnes Gebäude analysiert werden, so ist die Verwendung des Verlustanteils empfehlenswert.

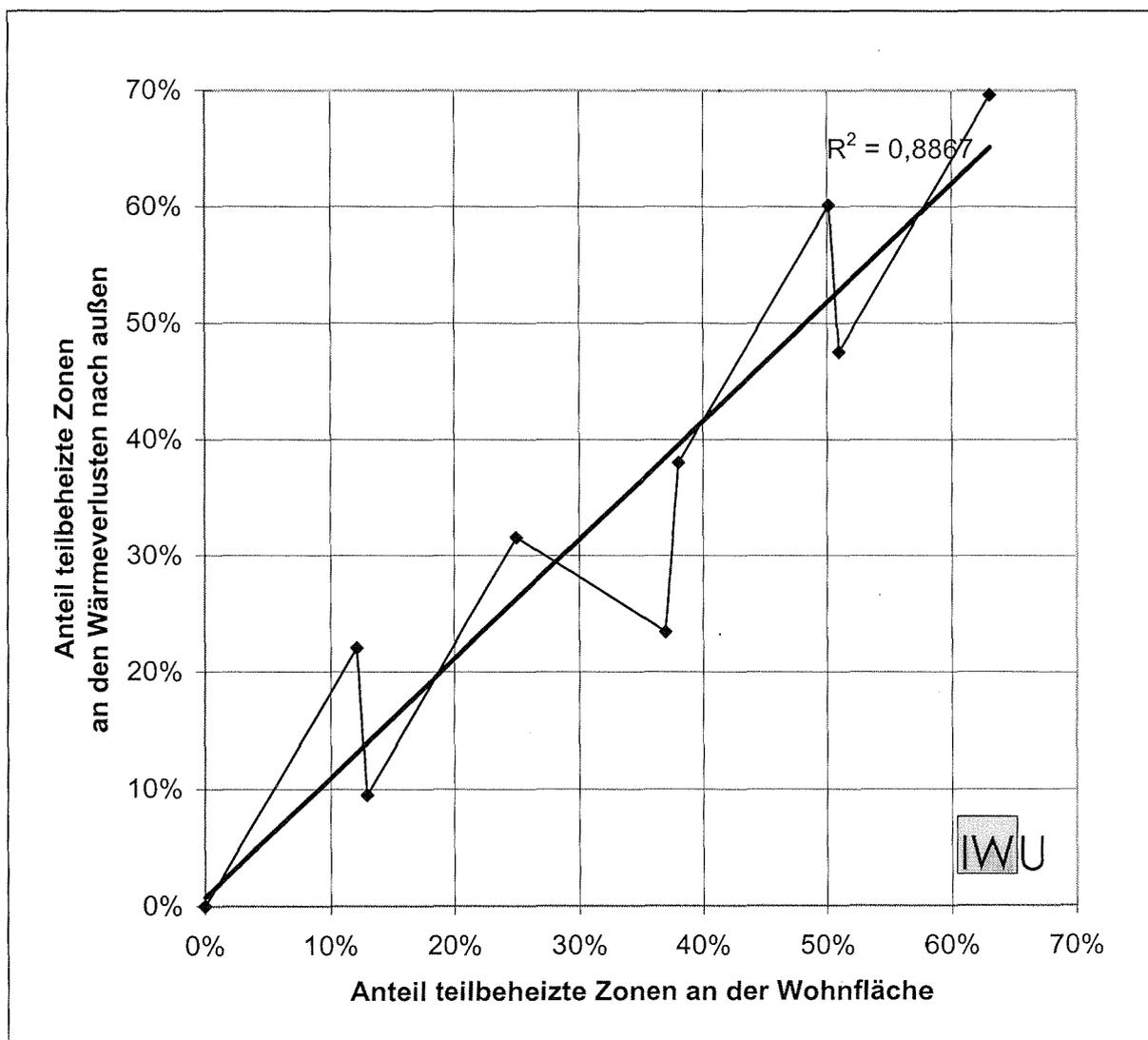


Abb. 14: Korrelation zwischen dem Wärmeverlustanteil und dem Wohnflächenanteil der nicht beheizten Gebäudezonen

Abschließend stellt sich die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Gebäude mit anderen Eigenschaften und für andere Randbedingungen. Hierzu einige Anmerkungen, die bei der Anwendung der abgeleiteten Näherungsfunktionen beachtet werden sollten:

- Durch die Verwendung des Anteils der spezifischen Wärmeverluste an den gesamten Wärmeverlusten als Parameter ist eine Übertragbarkeit auf andere Gebäude grundsätzlich gegeben. Allerdings hat die Homogenität der thermischen Hülle (z.B. auch Fensterflächenanteil) und - insbesondere bei kleineren nicht beheizten Zonen - die Lage innerhalb des Gebäudes einen deutlichen Einfluss auf die Genauigkeit.
- Um die Zahl der variierten Parameter in Grenzen zu halten, wurden die Wärmedurchgangskoeffizienten der Trennfläche zwischen den Zonen nicht weiter variiert (Innenwand:  $U = 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; Decke:  $U = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ). In der abgeleiteten Näherungsformel wird diese Abhängigkeit daher nicht berücksichtigt. Die damit einhergehende Unsicherheit wirkt sich jedoch nur geringfügig auf die im Rahmen einer Energieberatung notwendigen Aussagen aus, da die thermische Kopplung der Zonen untereinander
  - sehr viel unsicherer ist als die zur Umgebung (Innentüren offen oder geschlossen, thermisch angetriebene Durchströmung).
  - sich bei der Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen nicht ändert.
- Die Energieeinsparung durch räumlich eingeschränkte Beheizung hängt - insbesondere bei Gebäuden mit schlechtem Wärmeschutz und bei größeren nicht direkt beheizten Flächen - auch von der Höhe der Raumsolltemperatur in der nicht direkt beheizten Zone und von den Außentemperatur-Daten ab. Für grobe Abschätzungen ist es jedoch zulässig, diese zu vernachlässigen.

## Quellen (weitere Angaben siehe Teil 1)

[Eicke-Hennig/Siepe 1997] Eicke-Hennig, Werner; Siepe, Benedikt: **Die Heizenergie-Einsparmöglichkeiten durch Verbesserung des Wärmeschutzes typischer hessischer Wohngebäude**; IWU, Darmstadt 1997



## 7 Anhang

Flächen und U-Werte für die 4 Zonen des Beispielgebäudes

Flächenermittlung

Projekt: EFH\_D komplett

Kennung	Bezeichnung/Lage	Ausführung	zugeordnet			Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl	Zusatz- fläche [m²]	Fläche Brutto [m²]	Fläche Netto [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
			Bauteil 1...8	transp. Fläche 1...6	Abzugs- fläche = A									
FB EG			1			7,45	8,57				63,8	1,01	64,5	
FB Anbau			1			4,28	3,92					16,8	1,01	16,9
AW Süd			2				8,57	2,82			24,2	19,2	1,44	27,7
FE Süd Treppe und Waschküche			4	1	A	1,01		2,07				2,1	4,17	8,7
FE Süd			4	1	A	2,27		1,26				2,9	4,17	11,9
AW Nord			2				8,57	2,82			24,2	22,7	1,44	32,7
FE Nord			4	2	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
AW West EG			2			7,45		2,82			21,0	19,6	1,44	28,2
FE West EG			4	3	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
AW West DG			2			7,45		4,8	0,5		17,9	16,4	1,44	23,7
FE West DG			4	3	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
AW Ost EG			2			7,45		2,82			21,0	9,7	1,44	14,0
Wand zum Anbau EG					A	3,5		2,82				9,9		
FE Ost EG			4	4	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
AW Ost DG			2			7,45		4,8	0,5		17,9	12,2	1,44	17,6
Wand zum Anbau DG					A	3,5		2,4	0,5			4,2		
FE Ost DG			4	4	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
DA			3			5	8,57		2			102,8	1,41	145,0
DG FE Nord			4	2		0,9	0,5					0,5	4,17	1,9
AW Anbau Süd			2			4,28		2,82			12,1	8,5	1,44	12,2
FE Anbau Süd			4	1	A	1,48		1,28				1,9	4,17	7,9
FE Anbau Süd			4	1	A	0,86		1,98				1,7	4,17	7,1
AW Anbau Nord			2			4,28		2,82			12,1	1,44	17,4	
FE Anbau Nord			4	2		1		0,8				0,8	4,17	3,3
FE Anbau Nord			4	2		0,51		0,64				0,3	4,17	1,4
AW Anbau Ost EG			2			3,5		2,82				9,9	1,44	14,2
AW Anbau Ost DG			2			3,5		2,4	0,5			4,2	1,44	6,0
DA Anbau			3			4,56	3,1		2			28,3	1,41	39,9
Gesamt:											363,6	532,2		

Bauteil Nr.	Bezeichnung	Red.- faktor	Gesamt- fläche [m²]	mittl. k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
1	Böden		80,6	1,010	81,4
2	Äußenwand		134,5	1,440	193,7
3	Dach		131,1	1,410	184,9
4	Fenster		17,3	4,170	72,2
5					
6					
7					
8					
<b>Summe</b>			<b>363,6</b>		<b>532,2</b>

Nr.	Bezeichnung	Orientierung	Fläche [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	g-Wert (senkr.)	Reduktionsfaktoren				
						transp. Anteil	Ver- schattung	Ver- schmutz- ung	nicht-senkr. Strahlungs- einfall	gesamt
1	Süd		8,5	4,2					0,85	0,85
2	Nord		3,0	4,2					0,85	0,85
3	West		2,9	4,2					0,85	0,85
4	Ost		2,9	4,2					0,85	0,85
5									0,85	0,85
6									0,85	0,85

### Flächenermittlung

Projekt: BRH\_D\_Kölnen; Ausgabe: Zone 1 (BG Hauptbaus ohne Treppe/Waschküche)

Kennung	Bezeichnung/Lage	Ausführung	transp. Fläche		Abzugsfläche = A	Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl	Zusatzfläche [m²]	Fläche Brutto [m²]	Fläche Netto [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
			1...8	1..6										
FB BG			1			7,45	8,57				63,8	47,8	1,01	48,3
FB Treppe und Waschküche					A	4	4					16,0	1,01	16,2
AW Süd Wohnen			2				4,57	2,82			12,9	10,0	1,44	14,4
FE Süd Wohnen			4	1	A	2,27		1,26				2,9	4,17	11,9
AW Süd Treppe/Waschküche							4	2,82				11,3	1,44	16,2
FE Süd Treppe/Waschküche								1,01				2,1	4,17	8,7
AW Nord			2				8,57	2,82			24,2	22,7	1,44	32,7
FE Nord			4	2	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
AW West EG			2				7,45	2,82			21,0	19,6	1,44	28,2
FE West EG			4	3	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
IW Treppe/Waschküche								7,95	2,82			22,4		44,8
DE BG gesamt			6			7,45	8,57				63,8	48,0	1,5	72,1
DE Treppe/Waschküche					A	3,95	4					15,8	1,5	23,7
IW BG/Anbau			7				3,5	2,82				9,9		19,7
AW Ost EG							3,95	2,82				11,1	1,44	16,0
FE Ost EG						1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
FB Anbau						4,28	3,92					16,8	1,01	16,9
AW West DG						7,45		4,8	0,5			17,9	1,44	25,7
FE West DG						1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
AW Ost DG						7,45		4,8	0,5			17,9	1,44	25,7
IW DG/Anbau						3,5		2,4	0,5			4,2		8,4
FE Ost DG						1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
DA						6	8,57		2			102,8	1,41	145,0
FE DG Nord						0,9	0,5					0,5	4,17	1,9
AW Anbau Süd						4,28		2,82				12,1	1,44	17,4
FE Anbau Süd						1,48		1,28		1,7028		3,6	4,17	15,0
AW Anbau Nord						4,28		2,82				12,1	1,44	17,4
FE Anbau Nord						1		0,8		0,3264		1,1	4,17	4,7
AW Anbau Ost						3,5		2,82				14,1	1,44	20,3
DA Anbau						4,56	3,1		2			28,3	1,41	39,9
<b>Gesamt:</b>												<b>186,2</b>	<b>721,4</b>	

Bauteil Nr.	Bezeichnung	Red.-faktor	Gesamtfläche [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
1	Boden		47,8	1,010	48,3
2	Außenwand		52,3	1,440	75,4
3	Dach				
4	Fenster		5,7	4,170	23,9
5	Innenwand EG		22,4	2,000	44,8
6	Decke BG/DG		48,0	1,500	72,1
7	Innenwand EG/Anbau		9,9	2,000	19,7
8					
<b>Summe</b>			<b>186,2</b>		<b>284,2</b>

Nr.	Bezeichnung	Orientierung	Fläche [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	g-Wert (senkr.)	Reduktionsfaktoren				
						transp. Anteil	Ver-schattung	Ver-schmutzung	nicht-senkr. Strahlungs-einfall	
1	Süd	Süd	2,9	4,2	0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	<b>0,36</b>
2	Nord	Nord	1,4	4,2	0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	<b>0,36</b>
3	West	West	1,4	4,2	0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	<b>0,36</b>
4	Ost	Ost			0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	<b>0,36</b>
5									0,85	<b>0,85</b>
6									0,85	<b>0,85</b>

Flächenermittlung

Projekt: BTH D Zonen Ausgabe: Zone 1 (EG Haupthaus Treppe/Waschküche)

Kennung	Bezeichnung/Lage	Ausführung	zugeordnet			Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl	Zusatz- fläche [m²]	Fläche Brutto [m²]	Fläche Netto [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
			Bauteil 1..8	transp. Fläche 1..6	Abzugs- fläche = A									
FB EG					7,45	8,57						63,8	1,01	64,5
FB Treppe und Waschküche			1			4	4					16,0	1,01	16,2
AW Süd Wohnen							4,57	2,82				12,9	1,44	18,6
FB Süd Wohnen					2,27		1,26				11,3	2,9	4,17	11,9
AW Süd Treppe/Waschküche			2				4	2,82				9,2	1,44	13,2
FB Süd Treppe/Waschküche			4	1	A	1,01		2,07				2,1	4,17	8,7
AW Nord							8,57	2,82				24,2	1,44	34,8
FB Nord					1,26		1,14					1,4	4,17	6,0
AW West EG						7,45	2,82					21,0	1,44	30,3
FB West EG					1,26		1,14					1,4	4,17	6,0
IW Treppe/Waschküche			5			7,95	2,82					22,4	2	44,8
DB EG gesamt					7,45	8,57						63,8	1,05	95,8
DB Treppe/Waschküche			6			3,95	4					15,8	1,05	23,7
IW EG/Anbau						3,5	2,82					9,9	2	19,7
AW Ost EG			7			3,95	2,82				11,1	9,7	1,44	14,0
FB Ost EG			4	4	A	1,26		1,14				1,4	4,17	6,0
FB Anbau					4,28	3,92						16,8	1,01	16,9
AW West DG					7,45		4,8	0,5				17,9	1,44	25,7
FB West DG					1,26		1,14					1,4	4,17	6,0
AW Ost DG					7,45		4,8	0,5				17,9	1,44	25,7
IW DG/Anbau					3,5		2,4	0,5				4,2	2	8,4
FB Ost DG					1,26		1,14					1,4	4,17	6,0
DA					6	8,57			2			102,8	1,41	145,0
FB DG Nord					0,9	0,5						0,5	4,17	1,9
AW Anbau Süd					4,28		2,82					12,1	1,44	17,4
FB Anbau Süd					1,48		1,26		1,7028			3,6	4,17	15,0
AW Anbau Nord					4,28		2,82					12,1	1,44	17,4
FB Anbau Nord					1		0,8		0,3264			1,1	4,17	4,7
AW Anbau Ost					3,5		2,82			4,2		14,1	1,44	20,3
DA Anbau					4,56	3,1			2			28,3	1,41	39,9
Gesamt:											76,6		764,4	

Bauteil Nr.	Bezeichnung	Red.- faktor	Gesamt- fläche [m²]	mittl. k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
1	Böden		16,0	1,010	16,2
2	Äußerwand		18,9	1,440	27,2
3	Dach				
4	Fenster		3,5	4,170	14,7
5	Innenwand EG		22,4	2,000	44,8
6	Decke EG/DG		15,8	1,500	23,7
7	Innenwand EG/Anbau				
8	Summe		76,6		126,6

Nr.	Bezeichnung	Orientierung	Fläche [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	g-Wert (senkr.)	Reduktionsfaktoren				
						transp. Anteil	Ver- schattung	Ver- schmutz- ung	nicht-senkr. Strahlungs- einfall	gesamt
1	Süd	Süd	2,1	4,2	0,36	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
2	Nord	Nord			0,36	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
3	West	West			0,36	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
4	Ost	Ost	1,4	4,2	0,36	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
5									0,85	0,85
6									0,85	0,85

### Flächenermittlung

Projekt: EFH\_D Zonen; Ausgabe: Zone 3 (DG: Hauptteil)

Kennung	Bezeichnung/Lage	Ausführung	zugeordnet			Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl	Zusatzfläche [m²]	Fläche Brutto [m²]	Fläche Netto [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
			Bauteil 1..8	transp. Fläche 1..6	Abzugsfläche = A									
FB: EG					7,45	8,57					63,8	1,01	64,5	
FB: Treppe und Waschküche					4	4					16,0	1,01	16,2	
AW: Süd: Wohnen						4,57	2,82				12,9	1,44	18,6	
FB: Süd: Wohnen					2,27		1,26				2,9	4,17	11,9	
AW: Süd: Treppe/Waschküche						4	2,82				11,3	1,44	16,2	
FB: Süd: Treppe/Waschküche					1,01		2,07				2,1	4,17	8,7	
AW: Nord						8,57	2,82				24,2	1,44	34,8	
FB: Nord					1,26		1,14				1,4	4,17	6,0	
AW: West: EG						7,45	2,82				21,0	1,44	30,3	
FB: West: EG					1,26		1,14				1,4	4,17	6,0	
IW: Treppe/Waschküche						7,95	2,82				22,4		2	44,8
DE: EG: gesamt			6			7,45	8,57				63,8	48,0	1,5	72,1
DE: Treppe/Waschküche			7		A	3,95	4				15,8	1,5	23,7	
IW: DG/Anbau						3,5	2,82				9,9		2	19,7
AW: Ost: EG						3,95	2,82				11,1	1,44	16,0	
FB: Ost: DG					1,26		1,14				1,4	4,17	6,0	
FB: Anbau					4,28	3,92					16,8	1,01	16,9	
AW: West: DG			2			7,45	4,8	0,5			17,9	16,4	1,44	23,7
FB: West: DG			4	3	A	1,26		1,14			1,4	4,17	6,0	
AW: Ost: DG			2			7,45	4,8	0,5			17,9	12,2	1,44	17,6
IW: DG/Anbau			8		A	3,5		2,4	0,5		4,2		2	8,4
FB: Ost: DG			4	4	A	1,26		1,14			1,4	4,17	6,0	
DA			3			6	6,57		2		102,8	1,41	145,0	
FB: DG: Nord			4	2		0,9	0,5				0,5	4,17	1,9	
AW: Anbau: Süd					4,28		2,82				12,1	1,44	17,4	
FB: Anbau: Süd					1,48		1,28		1,7028		3,6	4,17	15,0	
AW: Anbau: Nord					4,28		2,82				12,1	1,44	17,4	
FB: Anbau: Nord					1		0,8		0,3264		1,1	4,17	4,7	
AW: Anbau: Ost					3,5		2,82		4,2		14,1	1,44	20,3	
DA: Anbau					4,56	3,1	2,82		2		28,3	1,41	39,9	
<b>Gesamt:</b>											<b>202,9</b>	<b>735,6</b>		

Bauteil Nr.	Bezeichnung	Red.-faktor	Gesamtfläche [m²]	mittl. k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
1	Boden				
2	Außenwand		28,7	1,440	41,3
3	Dach		102,8	1,410	145,0
4	Fenster		3,3	4,170	13,9
5	Innenwand: EG				
6	Decke: DG/EG: Wohnen		48,0	1,500	72,1
7	Decke: DG/EG: Trep/Waskü		15,8	1,500	23,7
8	Innenwand: DG/Anbau		4,2	2,000	8,4
<b>Summe</b>			<b>202,9</b>		<b>304,3</b>

Transparente Flächen	Nr.	Bezeichnung	Orientierung	Fläche [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	g-Wert (senkr.)	Reduktionsfaktoren				
							transp. Anteil	Ver-schattung	Ver-schmutzung	nicht-senkr. Strahlungs-einfall	gesamt
1	Süd	Süd		0,96			0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
2	Nord	Nord		0,5	4,2		0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
3	West	West		1,4	4,2		0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
4	Ost	Ost		1,4	4,2		0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
5										0,85	0,85
6										0,85	0,85

Flächenermittlung

Projekt: EFH\_D\_Zonen\_Ausgabe: Zone 4 (Anbau)

Kennung	Bezeichnung/Lage	Ausführung	zugeordnet			Breite [m]	Länge [m]	Höhe [m]	Anzahl	Zusatz- fläche [m²]	Fläche Brutto [m²]	Fläche Netto [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
			Bauteil 1..8	transp. Fläche 1..6	Abzugs- fläche = A									
FB EG					7,45	8,57						63,8	1,01	64,5
FB Treppe und Waschküche					4	4						16,0	1,01	16,2
AW Süd Wohnen						4,57	2,02					12,9	1,44	18,6
FE Süd Wohnen					2,27	1,26						2,9	4,17	11,9
AW Süd Treppe/Waschküche						4	2,02					11,3	1,44	16,2
FE Süd Treppe/Waschküche					1,01	2,07						2,1	4,17	8,7
AW Nord						8,57	2,02					24,2	1,44	34,8
FE Nord					1,26	1,14						1,4	4,17	6,0
AW West EG						7,45	2,02					21,0	1,44	30,3
FE West EG					1,26	1,14						1,4	4,17	6,0
IW Treppe/Waschküche						7,95	2,02					22,4	2	44,8
DE EG gesamt					7,45	8,57						63,8	1,5	95,8
DE Treppe/Waschküche					3,95	4						15,8	1,5	23,7
IW EG/Anbau			5			3,5	2,02					9,9	2	19,7
AW Ost EG						3,95	2,02					11,1	1,44	16,0
FE Ost EG					1,26	1,14						1,4	4,17	6,0
FB Anbau			1		4,28	3,92						16,8	1,01	16,9
AW West DG					7,45	4,0	0,5					17,9	1,44	25,7
FE West DG					1,26	1,14						1,4	4,17	6,0
AW Ost DG					7,45	4,0	0,5					17,9	1,44	25,7
IW DG/Anbau			8		3,5	2,4	0,5					4,2	2	8,4
FE Ost DG					1,26	1,14						1,4	4,17	6,0
DA					6	8,57	2					102,8	1,41	145,0
FE DG Nord					0,9	0,5						0,5	4,17	1,9
AW Anbau Süd			2		4,28	2,02					12,1	8,5	1,44	12,2
FE Anbau Süd			4	1	A	1,48	1,28	1,7028				3,6	4,17	15,0
AW Anbau Nord			2		4,28	2,02					12,1	10,9	1,44	15,8
FE Anbau Nord			4	2	A	1	0,8	0,3264				1,1	4,17	4,7
AW Anbau Ost			2		3,5	2,02	4,2					14,1	1,44	20,3
DA Anbau			3		4,56	3,1	2					28,3	1,41	39,9
Gesamt:											97,3		762,7	

Bauteil Nr.	Bezeichnung	Red.- faktor	Gesamt- fläche [m²]	mittl. k-Wert [W/(m²K)]	spezif. Verlust [W/K]
1	Boden		16,8	1,010	16,9
2	Außenwand		33,5	1,440	48,2
3	Dach		28,3	1,410	39,9
4	Fenster		4,7	4,170	19,7
5	Innenwand EG/Anbau		9,9	2,000	19,7
6					
7					
8	Innenwand DG/Anbau		4,2	2,000	8,4
<b>Summe</b>			<b>97,3</b>		<b>152,9</b>

Nr.	Bezeichnung	Orientierung	Fläche [m²]	k-Wert [W/(m²K)]	g-Wert (senkr.)	Reduktionsfaktoren				gesamt
						transp. Anteil	Ver- schattung	Ver- schmutz- ung	nicht-senkr. Strahlungs- einfall	
1	Süd	Süd	3,6	4,2	0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
2	Nord	Nord	1,1	4,2	0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
3	West	West			0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
4	Ost	Ost			0,86	0,7	0,63	0,95	0,85	0,36
5									0,85	0,85
6									0,85	0,85

## **Teil III Parameterstudie zu Korrekturfaktoren für Nacht- und Wochenendabsenkung**

**Autoren:** Dr. habil. C. Kahlert  
Dipl.-Phys. Matthias Laidig  
Dipl.-Phys. Gerhard Lude

**Ing.-Büro ebök, Tübingen**

**erstellt im Februar 1994  
im Auftrag des  
Instituts Wohnen und Umwelt, Darmstadt**



Ingenieurbüro für  
Energieberatung, Haustechnik  
und ökologische Konzepte GbR  
Reutlinger Straße 16  
72072 Tübingen  
07071/9394-0



# 1 Aufgabenstellung und Untersuchungsziel

Das Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Annastraße 15, 64285 Darmstadt beauftragte am 7. Dezember 1993 das Ingenieurbüro ebök mit einer Parameterstudie zur "Ermittlung von Korrekturfaktoren für Nacht- und Wochenendabsenkung/Nutzungsdaten öffentlicher Gebäude". Das Ziel der Studie ist es, durch die systematische Untersuchung von Parametersätzen aus einem vierdimensionalen Gitter, das Gros der in der Praxis auftretenden Nutzungsbedingungen zu erfassen und damit qualifizierte Aussagen zum Effekt von Nacht- und Wochenendabsenkungen zu liefern.

Bei den variierten Parametern handelt es sich um:

- Wärmeschutzstandard
- Wärmekapazitäten
- Dauer der Nacht- bzw. Wochenendabsenkung
- Solltemperaturniveau während der Absenkung

Für jeden Parametersatz wurde ein Gebäudemodell mit Nutzungscharakteristik erstellt, für welches der Raumwärmebedarf über eine dynamische Simulation sowie die Rechenverfahren nach SIA 380/1 /Leitfaden 93/ (Monatsverfahren) und DIN EN 832 /EN832/ ermittelt wurde.

Als Ergebnis der Untersuchung zeigte sich, daß die Zeitkonstante des Gebäudes den für die Effekte der Nachtabsenkung dominierenden Faktor darstellt. Dieses Resultat rechtfertigt ein einfaches dynamisches Modell für die Nachtabsenkung, dessen Parametrisierung anhand der Simulationsergebnisse erfolgt. Der in Abschnitt IV entwickelte Algorithmus verallgemeinert das Monatsverfahren nach SIA 380/1.

## 2 Untersuchungsmethoden

Als Basis der Untersuchung diente das in /Feist 93/ beschriebene und untersuchte Gebäudemodell zusammen mit einer modifizierten Form der dort verwendeten Bezeichnungs-codes für die verschiedenen Haustypen. In der vorliegenden Untersuchung blieb die Geometrie des Gebäudes konstant, während Wärmeschutz, thermische Massen und Nutzung einer Variation unterworfen wurden. Im Hinblick auf

die Handhabbarkeit der Datenmenge erfolgte die Abtastung der zu untersuchenden Parameter jeweils auf einem relativ groben Raster; konkret bedeutet das für die einzelnen Parameter:

#### Wärmeschutzstandard

- wie er im **Bestand** angetroffen wird (BESTAND) mit dem Typ RAExx99x, s.u.,
- nach gültiger Wärmeschutzverordnung von 1984 (**WSchVO**) mit den Typen RADxx99x, RARxx99x, RASxx99x und RATxx99x,
- auf Niedrigenergiehaus-Standard (**NEH**) mit den Typen R8Kxx79x, R8Nxx79x und R8Pxx79x.

Für die einzelnen Gebäudekomponenten wurden Aufbauten angenommen, welche die in der folgenden Tab. 1 aufgeführten k-Werte aufweisen.

Tab. 1: Wärmedurchgangswerte einzelner Bauteile für die untersuchten Dämmstandards.

	BESTAND [W/(m <sup>2</sup> K)]	WSchVO [W/(m <sup>2</sup> K)]	NEH [W/(m <sup>2</sup> K)]
Kellerdecke	0,550	0,550	0,200
Außenwand	1,441	0,680	0,186
Dach	0,651	0,299	0,143
Verglasung	2,800	2,800	1,373

#### Wärmekapazitäten

- **leichte** Bauweise (nicht BESTAND),
- **mittlere** Bauweise (nicht BESTAND),
- **schwere** Bauweise.

#### Dauer der Nacht- bzw. Wochenendabsenkung

- 4 Stunden Nachtabsenkung,
- 8 Stunden Nachtabsenkung,
- 12 Stunden Nachtabsenkung,
- 16 Stunden Nachtabsenkung,
- 60 Stunden Wochenendabsenkung (kombiniert mit 12h Nachtabsenkung an Wochentagen).

### Solltemperaturniveau während der Absenkung

- **20°C**, keine Absenkung (Referenzwert),
- **15°C**,
- **5°C**, Heizung auf "Frostschutz".

Wie oben erwähnt, diene das Codesystem aus /Feist 93/ in leicht modifizierter Form zur systematischen Bezeichnung der untersuchten Gebäudetypen. Dabei erhielten die Code-Positionen 4, 5 und 8 neue Bedeutungen, während den ursprünglich an diesen Positionen codierten Parametern die folgenden konstanten Werte zugewiesen wurden:

- Position 4: Breite der Verglasung in der Hauptfassade: 7 (4,34m)
- Position 5: Breite der Verglasung in der Rückfassade: 5 (1,665m)
- Position 8: Tag- und Nachtsolltemperaturen: K (20°C)

Die neue Codebelegung hat die Form:

- Position 4: Dauer der Nachtabsenkung mit den Werten
  - 0: 4h
  - 1: 8h
  - 2: 12h
  - 3: 16h
- Position 5: Schalter für Wochenendabsenkung mit den Werten
  - J: ja
  - N: nein
- Position 8: Solltemperaturniveau während der Absenkung (im erweiterten Hex-Code)
  - 5: 5°C
  - F: 15°C
  - K: 20°C

Die Gebäudemodelle für WSchVO-leicht (RASxx99x) und WSchVO-mittel (RARxx99x, RATxx99x) wurden neu entworfen.

Insgesamt umfaßt die Untersuchung 120 verschiedene Gebäude/Nutzungs-Modelle.

## 2.1 Simulation

Die Simulationen wurden mit dem dynamischen Simulationsprogramm DYNBIL /Feist 93/ durchgeführt, wobei die Erstellung der Eingabe-Datensätze in Anlehnung an ein vom Auftraggeber bereitgestelltes Tabellenkalkulations-Arbeitsblatt erfolgte. Abweichend von der Vorlage erfuhren die inneren Wärmequellen eine Anpassung an die Verhältnisse in öffentlichen Gebäuden, d.h., die Simulation nahm eine konstante hohe Leistung zwischen 8:00 und 18:00 Uhr und eine kleinere Leistung zwischen 18:00 und 8:00 Uhr an. Dabei wurden die Leistungen so gewählt, daß sie die räumliche Verteilung sowie die zeitlichen Mittel der Vorlage reproduzierten.

## 2.2 Rechenverfahren nach SIA 380/1 und DIN EN 832

Für die Berechnungen (Monatsverfahren) nach SIA 380/1 bzw. DIN EN 832 stand ein vom Auftraggeber bereitgestelltes Rechenblatt bereit, das die Algorithmen für den kontinuierlichen Heizbetrieb enthielt. Dieses wurde um die zwei in der DIN EN 832 beschriebenen Methoden zur Beschreibung von Nachtabsenkungen erweitert.

Als weitere Ergänzung wurde das im Abschnitt IV vorgestellte Modell als Verallgemeinerung des Monatsverfahrens nach SIA implementiert.

## 3 Ergebnisse

Tab. 3 im Anhang gibt eine vollständige Übersicht über die Resultate der sechs verwendeten Rechenverfahren (Simulation, SIA, verallg. SIA, DIN EN 832, dito mit Absenkung nach Methode 1, dito mit Absenkung nach Methode 2) für den Raumwärmebedarf der 120 behandelten Gebäude- bzw. Nutzungs-Modelle.

Aus den Ergebnissen der Simulation wird die Rolle der (nach DIN EN 832 bestimmten) Zeitkonstante des Gebäudes deutlich, sie stellt den dominierenden Ordnungsparameter für die relative Einsparung dar. Dabei ergibt sich die folgende Systematik:

- Bei kleinen Zeitkonstanten (z.B. WSchVO-leicht: 18h)
  - ist die relative Einsparung für alle Nutzungsbedingungen am größten,

- tritt, außer bei den kurzen Absenkezeiten, eine deutliche Differenzierung zwischen 5°C und 15°C Solltemperatur auf.
- Bei großen Zeitkonstanten (z.B. NEH-schwer: 234h) erfolgt dagegen der Temperaturabfall so langsam, daß
  - die mittlere Temperatur über die Absenkung relativ hoch und damit die Einsparung entsprechend gering ist,
  - auch während der Wochenenden 15°C selten unterschritten werden, d.h., unterhalb von 15°C faktisch für keine Absenkdauer eine Differenzierung nach Solltemperaturen beobachtet wird.

Abb. 3 - Abb. 7 im Anhang zeigt die relativen Einsparungen, wie sie aus den Simulationen ermittelt wurden, nach der Zeitkonstante der Gebäude geordnet.

Ein Vergleich der verschiedenen Rechenverfahren nach SIA und DIN EN 832 mit den Simulationsergebnissen zeigt, daß die statischen Berechnungen den Fall des kontinuierlichen Heizbetriebs für alle Gebäudetypen mit befriedigender Genauigkeit abbilden. Bei der Behandlung der Nachtabenkung, die einen dynamischen Effekt darstellt, wird die Übereinstimmung deutlich schlechter. Die besten Resultate liefert hier, innerhalb ihres Gültigkeitsbereichs (Zeitkonstanten zwischen 20 und 80h, Absenkdauern zwischen 6 und 16h), die empirische Methode (M2) nach DIN EN 832 bei einer Solltemperatur von 15°C. Die anderen Fälle werden dagegen von dieser Methode meist zu optimistisch bewertet.

Die an ein dynamisches Modell angelehnte Methode M1 der DIN EN 832 liefert dagegen durchgehend eine zu pessimistische Einschätzung der Einsparraten. Ein wichtiger Grund hierfür dürfte sein, daß bei dieser Methode der Nutzungsgrad der Wärmegewinne sowie die Variation der Außentemperaturen nicht hinreichend differenziert betrachtet werden. Darüber hinaus wird bei diesem Verfahren die Zeitkonstante des Gebäudes nicht korrigiert.

Das im Kapitel IV vorgestellte Einkapazitäten-Modell berechnet im Bereich kleiner Zeitkonstanten und kurzer Absenkdauern zu geringe Einsparraten, wohingegen es die Einsparungen bei großen Zeitkonstanten eher zu optimistisch beurteilt. Im Bereich mittlerer Zeitkonstanten ist eine relativ gute Übereinstimmung mit der Simulation für alle Dauern der Nachtabenkung wie auch für die verschiedenen Solltemperaturniveaus zu beobachten.

Die gefundenen Abweichungen besitzen im wesentlichen sechs Gründe:

- Aufgrund der Nichtlinearität, die von der Solltemperatur herrührt, ist die Dynamik der gemittelten Temperaturen nicht gleich dem Erwartungswert der täglichen Temperaturverläufe.

- Während die Geschwindigkeit des Temperaturabfalls von der Zeitkonstante abhängt, ist die Grenztemperatur, gegen die der Abfall erfolgt, auch eine Funktion des Wärmeschutzstandards. Dieser Effekt wird in dem Modell nur grob summarisch berücksichtigt.
- Das Modell differenziert nicht zwischen Raumlufthtemperatur und der Temperatur der wärmespeichernden Massen.
- Die verschiedenen Bauteile eines Gebäudes führen, wie sie in der Simulationsrechnung korrekt abgebildet werden, auf eine Vielzahl von Zeitkonstanten, deren zeitliches Verhalten durch ein Einkapazitäten-Modell mit lediglich einer Zeitkonstante nur grob näherungsweise wiedergegeben wird.
- Die vorgeschlagene Funktion zur Ermittlung der rechnerischen Zeitkonstante des Gebäudes aus der über DIN EN 832 ermittelten Zeitkonstante ist ein rein heuristischer Ansatz und damit sicherlich verbesserungsfähig.
- Für längere Absenkungen (16h und Wochenende) ist der zeitliche Verlauf der Leistungen nicht zu vernachlässigen und zu Beginn der Absenkung befinden sich die Massen im Gebäude nicht unbedingt auf Tagsolltemperatur.

In Abb. 8 bis Abb. 12 im Anhang sind die relativen Einsparungen für den Raumwärmebedarf, wie sie aus den Simulationen ermittelt wurden, mit dem Ergebnissen des Einkapazitäten-Modells sowie den nach DIN EN 832 bestimmten relativen Einsparungen verglichen.

## 4 Vereinfachtes Rechenmodell und Algorithmus

Den Ausgangspunkt unserer Modellbildung liefert das folgende einfache elektrische RC-Netzwerk mit zwei Stromquellen.

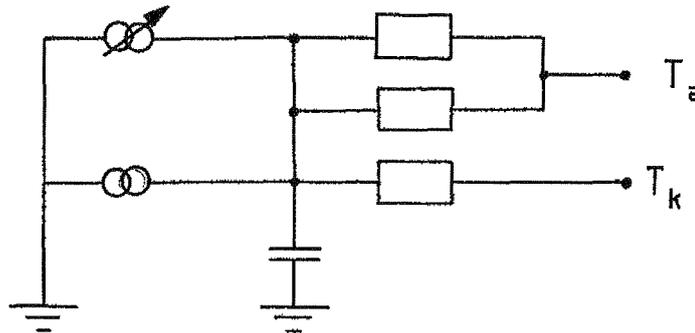


Abb. 1: Einkapazitäten-Modell für ein Gebäude.

Dabei wird der Kondensator (die wärmespeichernden Massen des Gebäudes) über drei Widerstände entladen, diese stellen die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste gegen Außentemperatur sowie die Transmission gegen den Keller dar. Die beiden Stromquellen repräsentieren die Heizung sowie die Leistungen innerer Wärmequellen und der Sonne. Durch Einführung einer effektiven Verlusttemperatur vereinfacht sich die Schaltung zu der in Abb. 2 dargestellten.

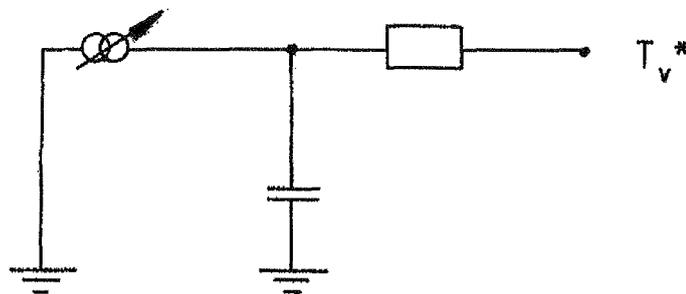


Abb. 2: Einkapazitäten-Modell mit effektiver Verlusttemperatur für ein Gebäude.

Dieses dynamische Modell läßt sich analytisch behandeln. Da der statische Teil des Rechenmodells (Tagbetrieb) und der dynamische Anteil (Entladung der Kapazitäten während der Absenkung) getrennt berechnet werden, erlaubt das Modell in natürlicher Weise eine Differenzierung der mittleren Außentemperaturen während des Tag- und Nachbetriebs sowie der Verlustleitwerte (speziell der Lüftungsleitwerte) während der zwei Betriebsmodi.

## 4.1 Symbole und Rechengrößen

Die folgende Tab. 2 gibt einen Überblick über die im Gebäudemodell verwendeten Symbole und ihre Bedeutung.

Tab. 2: Verwendete Symbole mit Kurzbeschreibung.

### Zeiten:

$\tau$	Zeitkonstante des Gebäudes nach DIN EN 832
$\tau^*$	rechnerische Zeitkonstante für den freien Temperaturabfall
$\tau_0, \alpha, \beta$	Parameter für die Bestimmung der rechnerischen Zeitkonstante
$t_{ab}$	Dauer der Absenkung
$t_s$	Zeit, während der die Temperatur abfällt
$t_z$	Zeit, nach der im ungestörten Fall die Solltemperatur der Absenkung erreicht wäre

### Leitwerte:

$L_{a,T}$	Leitwert (Lüftung und Transmission) gegen Außentemperatur während des Tagbetriebs
$L_{a,N}$	Leitwert (Lüftung und Transmission) gegen Außentemperatur während der Absenkung
$L_k$	Leitwert gegen Keller/Erdreich

## Leistungen:

$P_T$  mittlere Leistung (innere Quellen und Sonne) während des Tagbetriebs

$P_N$  mittlere Leistung (innere Quellen und Sonne) während der Absenkung

## Temperaturen:

$T_T$  Tagsolltemperatur

$T_N$  Solltemperatur während der Absenkung

$T_a$  mittlere Außentemperatur (Monatsmittel)

$\Delta T_a$  Differenz der mittleren Tag- und Nachttemperaturen über eine Heizperiode, bestimmt aus dem Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes (Standort Flughafen Frankfurt/Main)

$T_{a,6-18}$  mittlere Außentemperatur zwischen 6:00 und 18:00 Uhr

$$T_{a,6-18} = T_a + \Delta T_a / 2$$

$T_{a,18-6}$  mittlere Außentemperatur zwischen 18:00 und 6:00 Uhr

$$T_{a,18-6} = T_a - \Delta T_a / 2$$

$T_{a,T}^{\#}$  mittlere Außentemperatur während des Tagbetriebs, gewichtetes Mittel aus  $T_{a,6-18}$  und  $T_{a,18-6}$

$$T_{a,T} = \begin{cases} T_{a,6-18} & \text{für } t_{ab} > 12h \\ (12 * T_{a,6-18} + (12-t_{ab}) * T_{a,18-6}) / (24-t_{ab}) & \text{sonst} \end{cases}$$

$T_{a,N}^{\#}$  mittlere Außentemperatur während der Absenkung, gewichtetes Mittel aus  $T_{a,6-18}$  und  $T_{a,18-6}$

$$T_{a,N} = \begin{cases} T_{a,18-6} & \text{für } t_{ab} < 12h \\ (12 * T_{a,18-6} + (t_{ab}-12) * T_{a,6-18}) / t_{ab} & \text{sonst} \end{cases}$$

$T_k$  mittlere Temperatur des Kellers/Erdreichs

$T_a^*$       Temperaturniveau, gegen das die Verluste während der Absenkung erfolgen

$$T_a^* = (L_k * T_k + L_{a,N} * T_{a,N}) / (L_k + L_{a,N})$$

$T_v^*$       effektives Temperaturniveau, gegen das der dynamische Temperaturabfall erfolgt. Diese Größe hängt vom Wärmeschutzstandard ab!

$$T_v^* = T_a^* + P_N / (L_k + L_{a,N})$$

$T_s^\#$       mittlere Innentemperatur während des freien Absinkens (Heizung aus)

$T_{ab}^\#$       mittlere Innentemperatur während der Absenkperiode

Die rechnerische Zeitkonstante des Gebäudes wird empirisch zu

$$\tau^* = -\beta * \tau_0 + \alpha * \tau + \beta | \tau - \tau_0 |$$

bestimmt.

## 4.2 Ein Algorithmus für Absenkungen

Der vorgeschlagene Algorithmus basiert auf dem Monatsverfahren nach SIA 380/1 und erweitert dieses. Bei der Lösung der Differentialgleichung für das Netzwerk wird dabei davon ausgegangen, daß die wärmespeichernden Massen sich zu Beginn der Absenkung auf Tagsolltemperatur befinden.

Die Einzelschritte sind in der folgenden Zusammenstellung erläutert:

- 1:      Wärmeverluste nach SIA mit  $T_{a,T}$ ,  $L_{a,T}$ ,  $T_k$ ,  $L_k$  und  $P_T$  bewichtet mit dem Faktor (Stunden Tagbetrieb pro Woche)/168 bestimmen.
- 2:       $T_v^*$  berechnen, s.o.
- 3:      Ist  $T_v^*$  größer als  $T_T$ , so erfolgt kein Temperaturabfall;  
 $T_{ab}^\# = T_T$  setzen, weiter mit Schritt 9.
- 4:      Ist  $T_v^*$  größer als  $T_N$ , so kann die Solltemperatur nicht erreicht werden;  
 $t_s = t_{ab}$  setzen, weiter mit Schritt 7.
- 5:       $t_z$  berechnen:  $t_z = \tau^* \ln[(T_T - T_v^*) / (T_N - T_v^*)]$

6:  $t_s$  berechnen:  $t_s = \text{MIN}(t_{ab}, t_z)$ .

7:  $T_s^\#$  berechnen:  $T_s^\# = t_s^{-1} \int_0^{t_s} T_v^* + (T_T - T_v^*) \exp(-t/\tau^*) dt$   
 $= T_v^* + (\tau^*/t_s) * (T_T - T_v^*) * [1 - \exp(-t_s/\tau^*)]$

8:  $T_{ab}^\#$  berechnen:  $T_{ab}^\# = [T_s^\# * t_s + T_N(t_{ab} - t_s)]/t_{ab}$

9: Verluste während der Absenkung berechnen:  
 $(T_{ab}^\# - T_a^*) * (L_{a,N} + L_k) * t_{ab} * (\text{Anzahl der Absenkungen im Monat})$

10: Verluste aus Tagbetrieb und Absenkung addieren.

11: Gewinne nach SIA aus dem Gewinn-Verlust-Verhältnis bestimmen.

Für die oben vorgelegten Resultate wurden dabei die folgenden Parameterwerte angenommen:

- $\tau_0 = 32,5h$
- $\alpha = 0.393$
- $\beta = -0.328$
- $\Delta T_a = 3K$
- Bei 16h Absenkung werden 75% der Solargewinne dem Tagbetrieb und 25% der Absenkung zugeschlagen, für kürzere Absenkungen erhält die Absenkung keine solaren Gewinne.
- Für Wochenendabsenkungen wird der obige Algorithmus für fünf Tage und vier Nächte (12h Absenkung) durchgeführt. Während der 60h Wochenendabsenkung werden die Solargewinne von zwei Tagen berücksichtigt.

Die relativen Einsparungen für den Heizenergiebedarf, die aus diesem Modell resultieren, sind in Tab. 4 im Anhang zusammengestellt. Tab. 5 schließlich zeigt die Wärmeverluste, wie sie aus einer Ausgleichsgeraden (mit logarithmischer Ö-Skala) mit den Resultaten des beschriebenen Algorithmus erhalten werden.

## 5 Zusammenfassung

Durch ein einfaches dynamisches Modell mit einer Kapazität läßt sich das in /Leitfaden 93/ beschriebene Energiekennzahl-Verfahren dahingehend erweitern, daß Nacht- und Wochenendabsenkungen mit befriedigender Genauigkeit abgebildet werden. Neben der Zeitkonstante als dominierendem Einflußfaktor, wird auch der Einfluß des Wärmeschutzes auf die Einsparungen durch Heizunterbrechungen berücksichtigt. In Übereinstimmung mit Erfahrungswerten sowie den durchgeführten Simulationen, weisen Gebäude mit hohem Wärmeschutz-Standard neben großen Zeitkonstanten auch hohe Effektivtemperaturen ( $T_v^*$ ) und damit relativ gering Einsparraten auf.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß sich die Einsparungen durch Absenkung mit vertretbarem rechnerischem Aufwand ermitteln lassen. Dabei handelt es sich in der Regel jedoch um sekundäre Effekte, welche die vom Wärmeschutz dominierte Energiekennzahl modifizieren.

## Literatur

/EN 832/ Institut für Normung e.V. (Herausgeber), DIN EN 832, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Beuth Verlag, Berlin, 1992.

/Feist 93/ W. Feist, Passivhäuser in Mitteleuropa, Dissertation Kassel, 1993.

/Leitfaden 93/ Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Herausgeber), Leitfaden energiebewußte Gebäudeplanung, Wiesbaden, 1993.

## **Anhang**

### **Tabellen und Abbildungen**



### Nachtabsenkung 4h

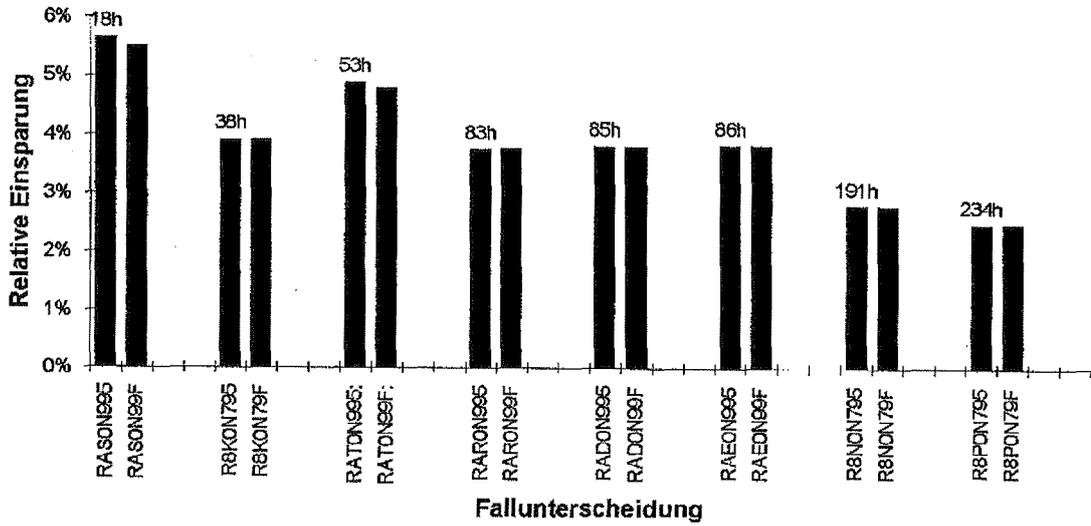


Abb. 3: Simulationsergebnisse für 4h Nachtabsenkung.

### Nachtabsenkung 8h

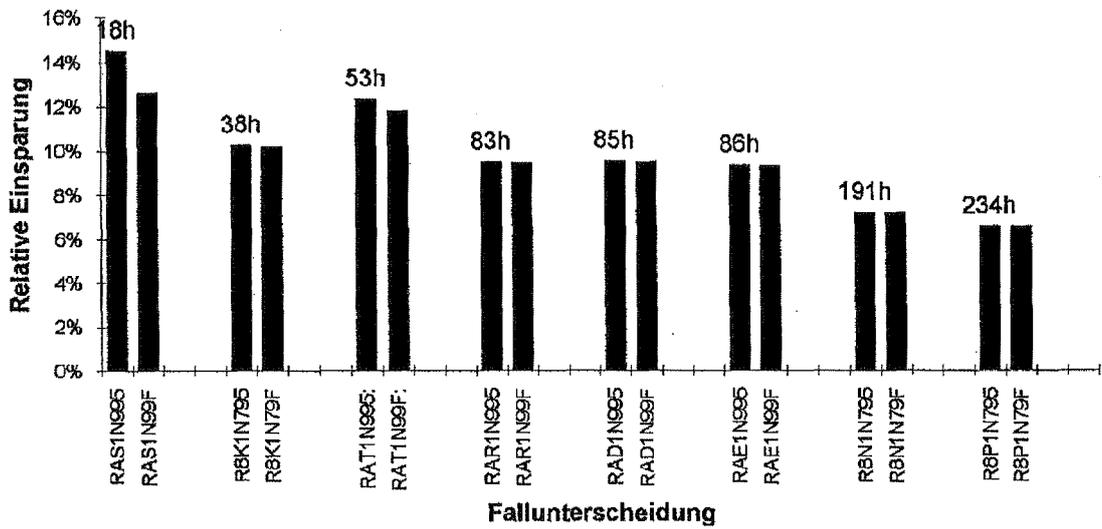


Abb. 4: Simulationsergebnisse für 8h Nachtabsenkung.

### Nachtabseukung 12h

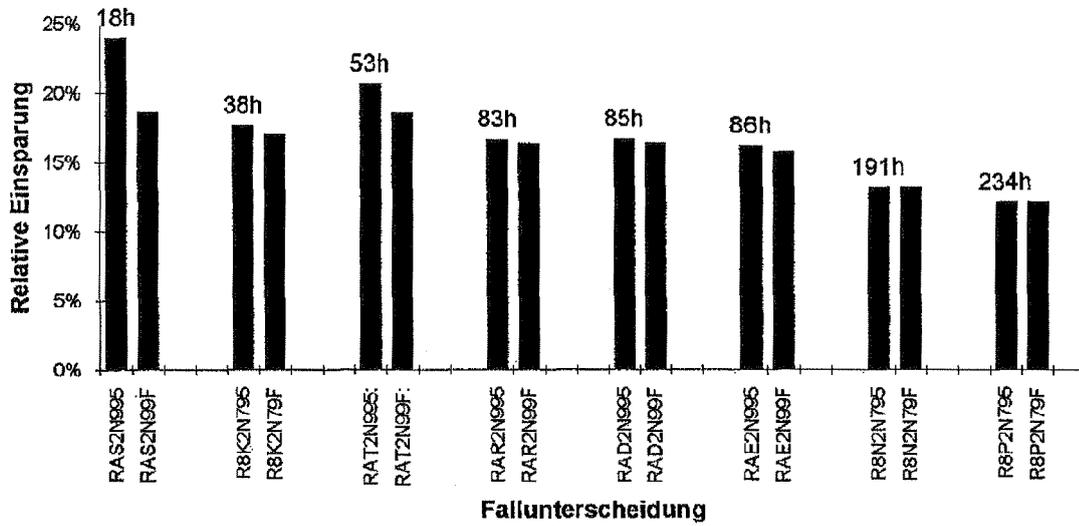


Abb. 5: Simulationsergebnisse für 12h Nachtabseukung.

### Absenkung 16h

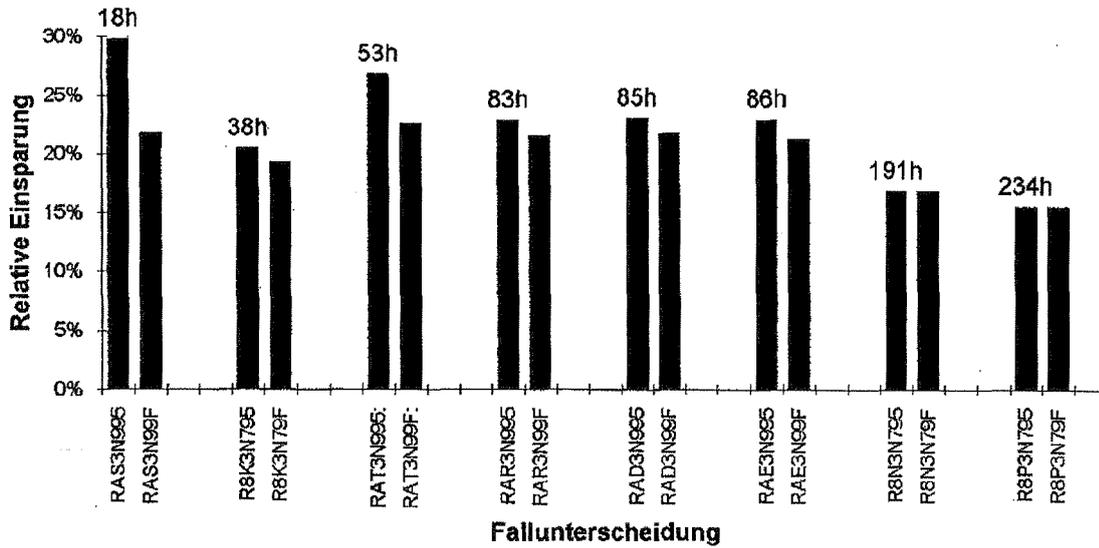


Abb. 6: Simulationsergebnisse für 16h Nachtabseukung.

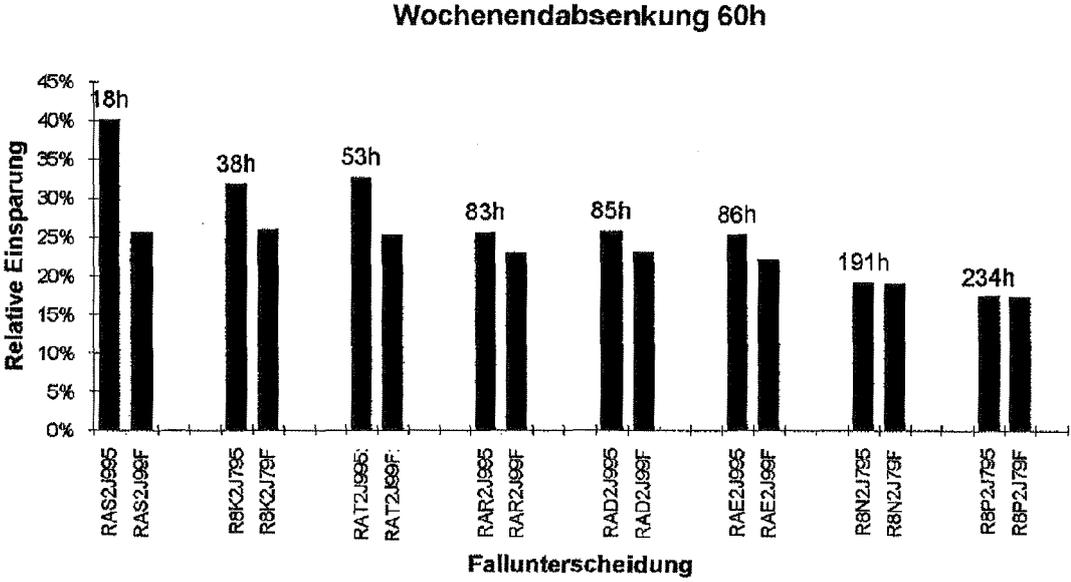


Abb. 7: Simulationsergebnisse für 60h Wochenendabsenkung.

### Nachtab senkung 4h

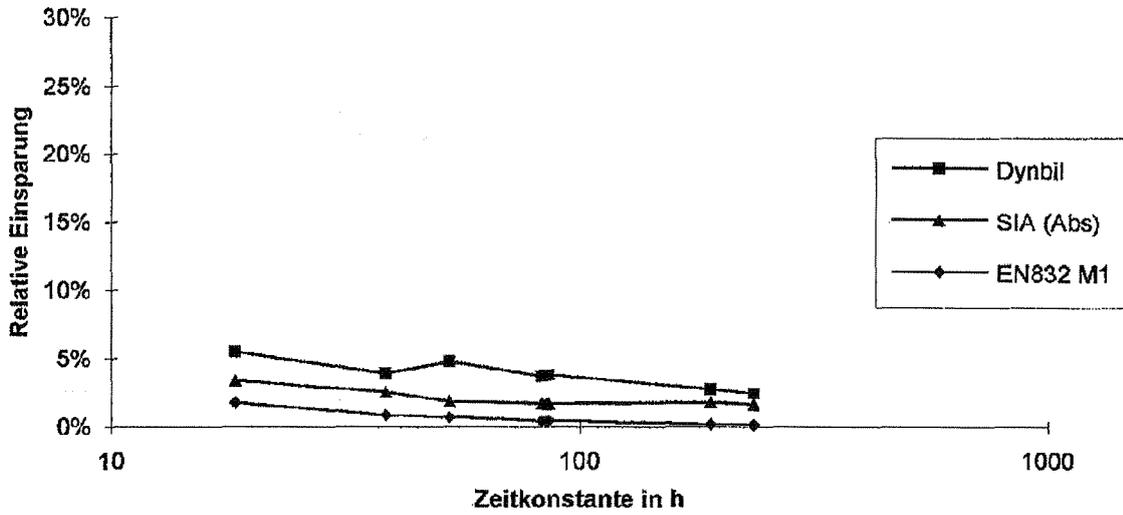


Abb. 8: Vergleich der Resultate für 4h Nachtab senkung.

### Nachtab senkung 8h

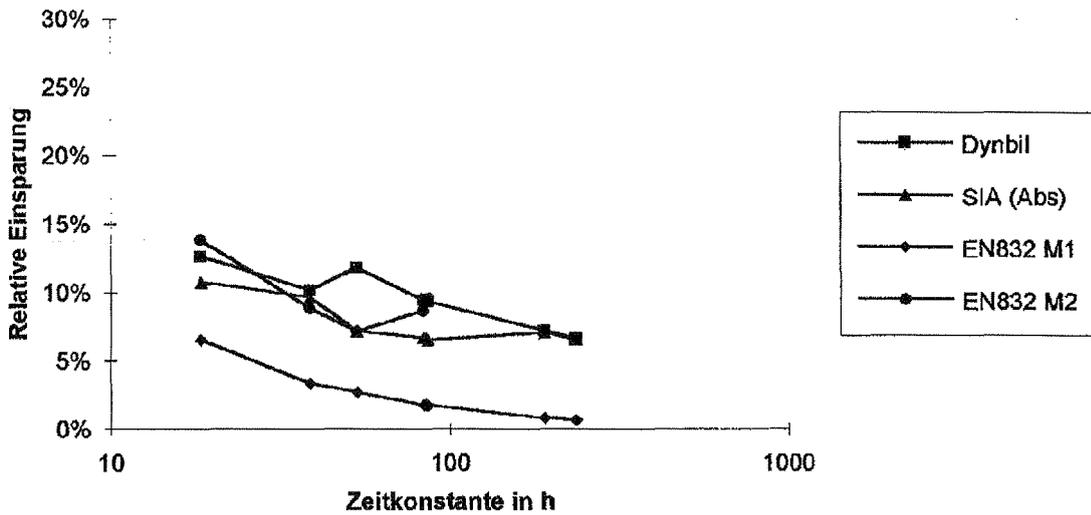


Abb. 9: Vergleich der Resultate für 8h Nachtab senkung.

### Nachtabsenkung 12h

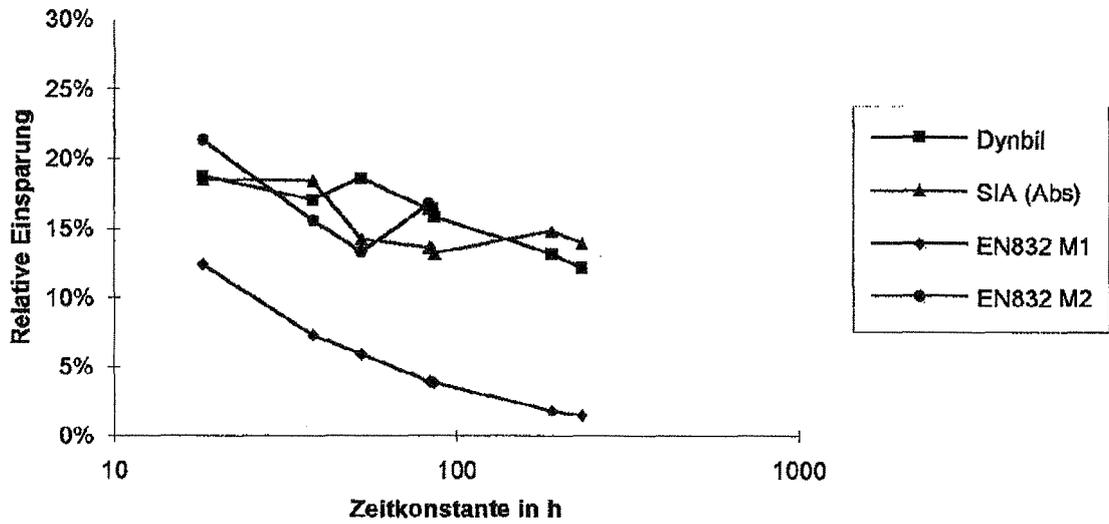


Abb. 10: Vergleich der Resultate für 12h Nachtabsenkung.

### Absenkung 16h

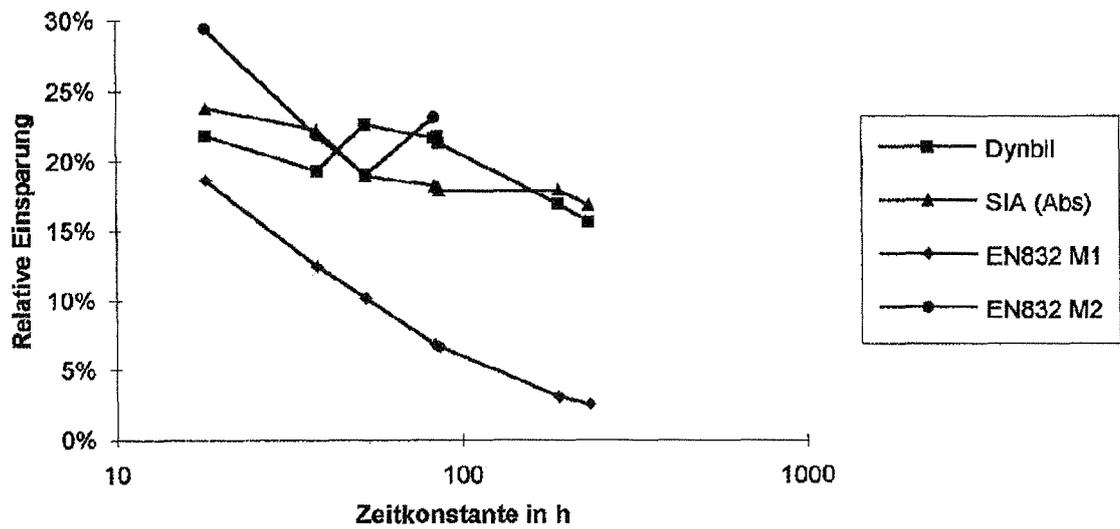


Abb. 11: Vergleich der Resultate für 16h Nachtabsenkung.

### Wochenendabsenkung 60h

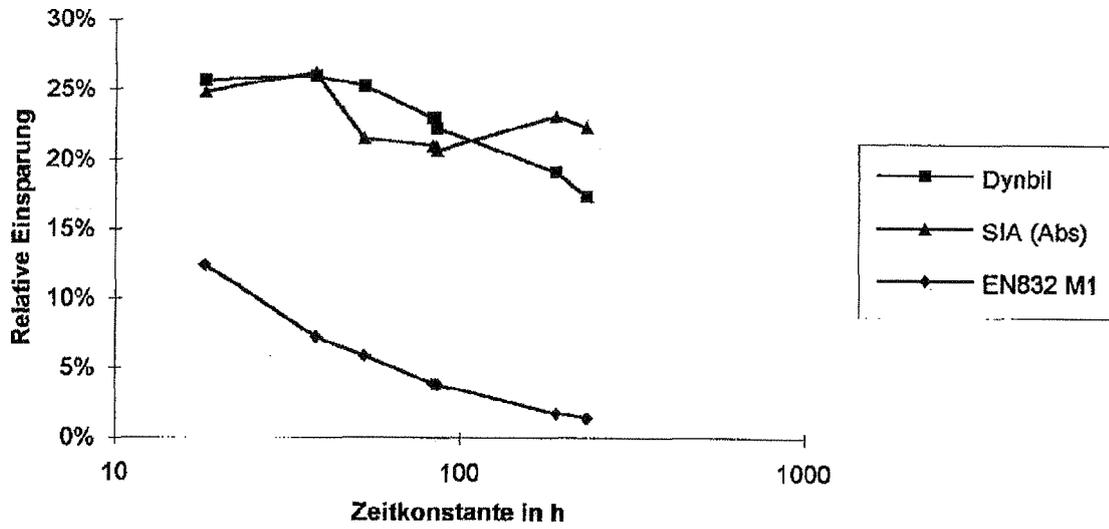


Abb. 12: Vergleich der Resultate für 60h Wochenendabsenkung.

Tab. 3: Übersicht der Berechnungsergebnisse für alle Methoden.

Codes	Zeit- konst. [h]	Dynbil		Einsp. durch Absenkung [kWh]	rel. Einsp.	SIA	SIA (Abs)	EN832	EN832 (M1)	EN832 (M2)
		[kWh]				ohne Absenkung [kWh]	rel. Einsp.	ohne Absenkung [kWh]	rel. Einsp.	rel. Einsp.
RAS0N995	18	18352		1100	6%	19383	3%	20232	2%	3%
RAS0N99F	18	18382		1070	6%	19383	3%	20232	2%	7%
RAS0N99K	18	19451				19383		20232		
RAS1N995	18	16624		2827	15%	19383	12%	20232	7%	23%
RAS1N99F	18	16995		2456	13%	19383	11%	20232	7%	14%
RAS1N99K	18	19451				19383		20232		
RAS2N995	18	14784		4667	24%	19383	25%	20232	14%	41%
RAS2N99F	18	15809		3642	19%	19383	18%	20232	12%	21%
RAS2N99K	18	19451				19383		20232		
RAS3N995	18	13659		5793	30%	19383	34%	20232	23%	52%
RAS3N99F	18	15204		4247	22%	19383	24%	20232	19%	29%
RAS3N99K	18	19451				19383		20232		
RAS2J995	18	11643		7808	40%	19383	43%	20232	14%	41%
RAS2J99F	18	14459		4992	26%	19383	25%	20232	12%	21%
RAS2J99K	18	19451				19383		20232		
R8K0N795	38	5844		238	4%	5394	3%	5449	1%	0%
R8K0N79F	38	5844		238	4%	5394	3%	5449	1%	2%
R8K0N79K	38	6082				5394		5449		
R8K1N795	38	5458		624	10%	5394	10%	5449	3%	19%
R8K1N79F	38	5463		619	10%	5394	10%	5449	3%	9%
R8K1N79K	38	6082				5394		5449		
R8K2N795	38	5009		1073	18%	5394	20%	5449	7%	37%
R8K2N79F	38	5046		1036	17%	5394	18%	5449	7%	16%
R8K2N79K	38	6082				5394		5449		
R8K3N795	38	4834		1248	21%	5394	24%	5449	12%	48%
R8K3N79F	38	4907		1175	19%	5394	22%	5449	12%	22%
R8K3N79K	38	6082				5394		5449		
R8K2J795	38	4144		1938	32%	5394	35%	5449	7%	37%
R8K2J79F	38	4504		1578	26%	5394	28%	5449	7%	16%
R8K2J79K	38	6082				5394		5449		
RAT0N995	53	17661		907	5%	19383	2%	19235	1%	0%
RAT0N99F	53	17678		890	5%	19383	2%	19235	1%	1%
RAT0N99K	53	18568				19383		19235		
RAT1N995	53	16282		2286	12%	19383	7%	19235	3%	17%
RAT1N99F	53	16380		2188	12%	19383	7%	19235	3%	7%
RAT1N99K	53	18568				19383		19235		
RAT2N995	53	14732		3836	21%	19383	15%	19235	6%	36%
RAT2N99F	53	15115		3453	19%	19383	14%	19235	6%	13%
RAT2N99K	53	18568				19383		19235		
RAT3N995	53	13593		4975	27%	19383	21%	19235	10%	47%
RAT3N99F	53	14369		4199	23%	19383	19%	19235	10%	19%
RAT3N99K	53	18568				19383		19235		
RAT2J995	53	12501		6067	33%	19383	32%	19235	6%	36%
RAT2J99F	53	13877		4691	25%	19383	22%	19235	6%	13%
RAT2J99K	53	18568				19383		19235		
RAR0N995	83	16809		653	4%	19383	2%	18960	0%	0%
RAR0N99F	83	16808		654	4%	19383	2%	18960	0%	0%
RAR0N99K	83	17462				19383		18960		
RAR1N995	83	15806		1656	9%	19383	7%	18960	2%	19%
RAR1N99F	83	15811		1651	9%	19383	7%	18960	2%	9%
RAR1N99K	83	17462				19383		18960		
RAR2N995	83	14551		2911	17%	19383	14%	18960	4%	40%
RAR2N99F	83	14603		2859	16%	19383	14%	18960	4%	17%
RAR2N99K	83	17462				19383		18960		
RAR3N995	83	13461		4001	23%	19383	20%	18960	7%	51%
RAR3N99F	83	13688		3774	22%	19383	18%	18960	7%	23%
RAR3N99K	83	17462				19383		18960		
RAR2J995	83	12983		4479	26%	19383	31%	18960	4%	40%
RAR2J99F	83	13444		4018	23%	19383	21%	18960	4%	17%
RAR2J99K	83	17462				19383		18960		
RAD0N995	85	17793		704	4%	19395	2%	18962	0%	0%
RAD0N99F	85	17783		704	4%	19395	2%	18962	0%	0%

Codes	Zeit- konst.	Dynbil		Einsp. durch Absenkg.	rel. Einsp.	SIA	SIA (Abs)	EN832	EN832 (M1)	EN832 (M2)
		[h]	[kWh]			[kWh]	ohne Absenkg.	rel. Einsp.	ohne Absenkg.	rel. Einsp.
RAD0N99K	85	18497				19395		18962		
RAD1N995	85	16734	1764	10%	10%	19395	7%	18962	2%	19%
RAD1N99F	85	16737	1760	10%	10%	19395	7%	18962	2%	9%
RAD1N99K	85	18497				19395		18962		
RAD2N995	85	15404	3093	17%	17%	19395	14%	18962	4%	40%
RAD2N99F	85	15461	3036	16%	16%	19395	14%	18962	4%	17%
RAD2N99K	85	18497				19395		18962		
RAD3N995	85	14220	4277	23%	23%	19395	20%	18962	7%	51%
RAD3N99F	85	14469	4028	22%	22%	19395	18%	18962	7%	23%
RAD3N99K	85	18497				19395		18962		
RAD2J995	85	13733	4764	26%	26%	19395	30%	18962	4%	40%
RAD2J99F	85	14235	4262	23%	23%	19395	21%	18962	4%	17%
RAD2J99K	85	18497				19395		18962		
RAE0N995	86	23569	938	4%	4%	24070	2%	23634	0%	0%
RAE0N99F	86	23568	938	4%	4%	24070	2%	23634	0%	0%
RAE0N99K	86	24507				24070		23634		
RAE1N995	86	22212	2295	9%	9%	24070	7%	23634	2%	19%
RAE1N99F	86	22222	2285	9%	9%	24070	6%	23634	2%	9%
RAE1N99K	86	24507				24070		23634		
RAE2N995	86	20531	3976	16%	16%	24070	14%	23634	4%	40%
RAE2N99F	86	20629	3878	16%	16%	24070	13%	23634	4%	17%
RAE2N99K	86	24507				24070		23634		
RAE3N995	86	18871	5635	23%	23%	24070	20%	23634	7%	51%
RAE3N99F	86	19286	5220	21%	21%	24070	18%	23634	7%	23%
RAE3N99K	86	24507				24070		23634		
RAE2J995	86	18287	6220	25%	25%	24070	30%	23634	4%	40%
RAE2J99F	86	19056	5450	22%	22%	24070	21%	23634	4%	17%
RAE2J99K	86	24507				24070		23634		
R8N0N795	191	4928	141	3%	3%	5394	2%	4936	0%	0%
R8N0N79F	191	4928	141	3%	3%	5394	2%	4936	0%	0%
R8N0N79K	191	5070				5394		4936		
R8N1N795	191	4703	366	7%	7%	5394	7%	4936	1%	26%
R8N1N79F	191	4703	366	7%	7%	5394	7%	4936	1%	16%
R8N1N79K	191	5070				5394		4936		
R8N2N795	191	4400	669	13%	13%	5394	15%	4936	2%	54%
R8N2N79F	191	4400	669	13%	13%	5394	15%	4936	2%	32%
R8N2N79K	191	5070				5394		4936		
R8N3N795	191	4212	857	17%	17%	5394	18%	4936	3%	67%
R8N3N79F	191	4213	857	17%	17%	5394	18%	4936	3%	41%
R8N3N79K	191	5070				5394		4936		
R8N2J795	191	4095	975	19%	19%	5394	28%	4936	2%	54%
R8N2J79F	191	4099	971	19%	19%	5394	23%	4936	2%	32%
R8N2J79K	191	5070				5394		4936		
R8P0N795	234	4899	125	2%	2%	5396	2%	4927	0%	0%
R8P0N79F	234	4899	125	2%	2%	5396	2%	4927	0%	0%
R8P0N79K	234	5024				5396		4927		
R8P1N795	234	4693	330	7%	7%	5396	7%	4927	1%	26%
R8P1N79F	234	4693	330	7%	7%	5396	7%	4927	1%	18%
R8P1N79K	234	5024				5396		4927		
R8P2N795	234	4415	609	12%	12%	5396	14%	4927	1%	59%
R8P2N79F	234	4415	609	12%	12%	5396	14%	4927	1%	37%
R8P2N79K	234	5024				5396		4927		
R8P3N795	234	4239	784	16%	16%	5396	17%	4927	3%	73%
R8P3N79F	234	4239	785	16%	16%	5396	17%	4927	3%	47%
R8P3N79K	234	5024				5396		4927		
R8P2J795	234	4152	872	17%	17%	5396	27%	4927	1%	59%
R8P2J79F	234	4153	871	17%	17%	5396	22%	4927	1%	37%
R8P2J79K	234	5024				5396		4927		

Tab. 4: Relative Einsparraten aus dem vorgeschlagenen Modell.

Relative Einsparung durch Absenkung										
Absenkt <span>em</span> peratur [°C]	5					15				
Absenk <span>da</span> uer [h]	4	8	12	16	60	4	8	12	16	60
Zeitkon <span>st</span> ante [h]										
18	3%	12%	25%	34%	43%	3%	11%	18%	24%	25%
38	3%	10%	20%	24%	35%	3%	10%	18%	22%	26%
53	2%	7%	15%	21%	32%	2%	7%	14%	19%	22%
83	2%	7%	14%	20%	31%	2%	7%	14%	18%	21%
85	2%	7%	14%	20%	30%	2%	7%	14%	18%	21%
86	2%	7%	14%	20%	30%	2%	6%	13%	18%	21%
191	2%	7%	15%	18%	28%	2%	7%	15%	18%	23%
234	2%	7%	14%	17%	27%	2%	7%	14%	17%	22%

Tab. 5: Reduktionsfaktoren für die Wärmeverluste. Die dargestellten Werte wurden einer Ausgleichsgeraden durch die aus dem vorgeschlagenen Modell bestimmten Werte für die untersuchten Haustypen entnommen.

Minderungsfaktor der Wärmeverluste durch Absenkung										
Absenktemperatur [°C]	5					15				
Absenkdauer [h]	4	8	12	16	60	4	8	12	16	60
Zeitkonstante [h]										
20	0,98	0,93	0,86	0,83	0,76	0,98	0,94	0,88	0,86	0,84
30	0,98	0,94	0,86	0,84	0,76	0,98	0,94	0,88	0,86	0,84
40	0,98	0,94	0,87	0,84	0,77	0,98	0,94	0,88	0,86	0,84
50	0,98	0,94	0,87	0,85	0,78	0,98	0,94	0,88	0,87	0,85
60	0,98	0,94	0,87	0,85	0,78	0,98	0,94	0,89	0,87	0,85
70	0,98	0,94	0,88	0,86	0,79	0,98	0,94	0,89	0,87	0,85
80	0,99	0,94	0,88	0,86	0,79	0,99	0,95	0,89	0,88	0,85
90	0,99	0,95	0,88	0,87	0,80	0,99	0,95	0,89	0,88	0,86
100	0,99	0,95	0,89	0,87	0,80	0,99	0,95	0,90	0,88	0,86
110	0,99	0,95	0,89	0,88	0,81	0,99	0,95	0,90	0,89	0,86
120	0,99	0,95	0,89	0,88	0,82	0,99	0,95	0,90	0,89	0,87
130	0,99	0,95	0,90	0,88	0,82	0,99	0,95	0,90	0,89	0,87
140	0,99	0,95	0,90	0,89	0,83	0,99	0,95	0,91	0,90	0,87
150	0,99	0,96	0,90	0,89	0,83	0,99	0,96	0,91	0,90	0,87
160	0,99	0,96	0,91	0,90	0,84	0,99	0,96	0,91	0,90	0,88
170	0,99	0,96	0,91	0,90	0,85	0,99	0,96	0,91	0,91	0,88
180	0,99	0,96	0,91	0,91	0,85	0,99	0,96	0,91	0,91	0,88
190	0,99	0,96	0,92	0,91	0,86	0,99	0,96	0,92	0,91	0,88
200	0,99	0,96	0,92	0,92	0,86	0,99	0,96	0,92	0,92	0,89
210	0,99	0,97	0,92	0,92	0,87	0,99	0,96	0,92	0,92	0,89
220	0,99	0,97	0,93	0,93	0,87	0,99	0,97	0,92	0,92	0,89
230	0,99	0,97	0,93	0,93	0,88	0,99	0,97	0,93	0,93	0,89
240	0,99	0,97	0,93	0,94	0,89	0,99	0,97	0,93	0,93	0,90
250	0,99	0,97	0,94	0,94	0,89	0,99	0,97	0,93	0,93	0,90