

Gerd Hauser  
 Christoph Kempkes  
 Stephan Schlitzberger

# Vergleichende Untersuchungen von Standard-Klimadatensätzen (Testreferenzjahren) mit gemessenen Langzeit-Klimadatensätzen für den Standort Kassel

Für einen innerstädtischen Standort in Kassel werden repräsentative TRY-Datensätze mit einem meßtechnisch gewonnenen Langzeit-Klimadatensatz insbesondere in Hinblick auf die Verwendung bei der thermischen Gebäudesimulation verglichen. Grundlage dieser Untersuchungen stellen Klimamessungen der Wetterstation des Fachgebiets Bauphysik an der Universität Kassel von 1994 bis 2003 dar. Sowohl die Auswertung der Temperaturmittelwerte als auch die der Übertemperaturgradstunden legen dar, daß das Testreferenzjahr im Sommer deutlich tiefere Außentemperaturen als der 10-Jahres-Durchschnitt der Messungen beinhaltet. Nicht nur das TRY-Normaljahr, sondern auch der Datensatz des DWD für einen extrem warmen Sommer erweist sich dabei als nicht repräsentativ. Im Winterfall gibt das Normaljahr die mittleren, gemessenen Verhältnisse recht gut wieder. Die TRY-Außentemperatur für den „kalten Winter“ liegt im Januar und Februar jedoch deutlich unter den Werten der kältesten Meßperioden. Der Vergleich von Simulationsergebnissen mit den verschiedenen Klimadatensätzen zeigt, daß die Abweichungen in den Klimadatensätzen auch zu deutlichen Unterschieden in den rechnerisch ermittelten Temperaturverhältnissen im Sommer und im Heizwärmebedarf führt. Die Dekade von 1990 bis 2003 ist bekanntermaßen eine der wärmsten Dekaden seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Ob die dargestellten Abweichungen hierauf oder eher auf die stark unterschiedliche Topographie des Referenzstandortes gegenüber der Meßstation zurückzuführen ist, kann anhand der Untersuchung nicht geklärt werden, vermutlich liegt eine Überlagerung beider Einflüsse vor. Die Untersuchung zeigt aber quantitativ auf, welche Fehlerbandbreite sich bei der Verwendung von Referenzklimadaten ergeben kann.

**Comparative study of standard sets of climate data (test reference years) with measured long-term climate data for the location Kassel/Germany.** For an inner-city location in Kassel representative TRY (test reference year) data sets are compared with technical measurement results of long-term climatic data especially as regards their application for the simulation of a building's thermal performance. This research study was carried out on the basis of climate measurements which were recorded over the period from 1994 to 2003 by the climate station of the building physics department at the University of Kassel. Both the analysis of the mean temperature values and that of the excess-temperature degree hours show, that the test reference year in summer comprises considerably lower outside temperatures than the 10-years average of the measurements. Not only the test reference standard year but also the data set of the German Meteorological Service for an extremely warm summer proved to be not representative. For winter, the standard year reflects the average measured conditions quite well. The outside temperature of the

test reference year for a „cold winter“, however, lies well below the values of the coldest measuring periods in January and February. The comparison of simulation results with various sets of climatic data shows that deviations in the sets of climatic data also lead to clear differences in the computed values of temperature conditions in summer and in the heating energy requirement. The decade from 1990 to 2003, as is known, is one of the warmest decades since the beginning of weather recording. Whether the deviations described are due to this or rather to the very different topography of the reference location by comparison with the measuring station cannot be clarified on the basis of this investigation, presumably there is an interaction of both influences. The research study quantitatively shows, however, the range of error which may result from the application of reference climatic data.

## 1 Hintergrund und Zielsetzung

Die thermische Gebäudesimulation stellt heutzutage ein bewährtes, in der Ingenieurpraxis häufig eingesetztes Instrument zur Bewertung des thermischen Zeitverhaltens und zur genauen Bestimmung z. B. von Energiebedarfswerten dar. Durch den Einsatz derartiger Simulationsrechnungen kann bei Vorgabe von meist stündlichen Werten für das Nutzerverhalten und die meteorologischen Randbedingungen das instationäre Zeitverhalten eines Gebäudes und/oder die zur Konditionierung erforderliche Heiz- bzw. Kühllast vorherbestimmt werden. Die gewonnenen Daten bilden meist die Berechnungsgrundlage für die Auslegung und Optimierung des Betriebsverhaltens von Anlagen und Geräten zur Gebäudekonditionierung.

Für die bei der Anwendung derartiger Rechenprogramme erforderlichen, meteorologischen Datensätze wurden anfänglich einzelne Auslegungstage [1] und Auslegungswochen [2], dann „Short Reference Years“ [3] verwendet. Seit vielen Jahren haben sich die sogenannten Testreferenzjahre – nach international gebräuchlicher Nomenklatur mit TRY (Test Reference Year) bezeichnet – etabliert, die in alter Form [4] (für die alten Bundesländer) seit 1985 und in neuer Form [5] – repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet – seit Oktober 2004 existieren. Hierzu wurde das Bundesgebiet nach den Vorgaben von DIN 4710 [6] in 15 Zonen unterteilt und für jede dieser Zonen ein repräsentativer Datensatz erstellt. Zusätzlich zu den sog. Normaljahren, die durchweg mittlere klimatische Verhältnisse repräsentieren sollen, werden jetzt auch zwei weitere

Datensätze für extreme Dreimonatsperioden im Winter und im Sommer bereitgestellt. Die Untersuchungsperiode des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Ermittlung des heißen Sommers geht von 1961 bis 1995, zur Ermittlung des kalten Winters von 1961/62 bis 1995/96.

Diese Datensätze sollen die derzeitigen standardisierten Extrembedingungen zur Anlagenauslegung für Winter nach DIN 4701 [7] und Sommer nach VDI 2078 [8] nicht ersetzen, aber bei Auslegungsberechnungen heiz- und raumlufttechnischer Anlagen vergleichende Analysen erlauben. Für die Region Kassel sind nach den Vorgaben der Zonierung in DIN 4710 die TRY-Datensätze der Region 7 anzuwenden.

Die Einteilung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland in nur 15 repräsentative Zonen bedingt, daß jeder Datensatz für eine größere Spanne hinsichtlich der geographischen Gegebenheiten (Höhenlage, Windexposition etc.) Gültigkeit besitzt. Um dem standortspezifischen Höhenunterschied im Vergleich zum jeweiligen TRY-Referenzstandort gerecht zu werden, sind für einige der Klimaelemente im TRY-Datensatz sog. Höhenkorrekturfaktoren angegeben. Anzuwenden sind diese Korrekturfaktoren, wenn die Ortshöhe des zu betrachtenden Standorts um mehr als 100 Höhenmeter von der Ortshöhe des TRY-Referenzstandorts abweicht. Um auch den innerstädtischen Klimaverhältnissen in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern gerecht zu werden, nennt DIN 4710 für einige Städte Alternativ-Klimastationen des DWD, deren Datensätze zur bestmöglichen Abschätzung abweichend von der Standardzoneneinteilung heranzuziehen sind.

Am Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e. V. (ZUB) in Kassel wurde im Auftrag des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) der für Kassel repräsentative TRY-Datensatz mit einem praktisch ausschließlich meßtechnisch gewonnenen Langzeit-Klimadatensatz insbesondere in Hinblick auf die Verwendung bei der thermischen Gebäudemodellierung verglichen. Grundlage dieser Untersuchungen stellen Klimadatensätze dar, die als Rohdaten über den Zeitraum von 1994 bis 2003 von der Wetterstation des Fachgebiets Bauphysik an der Universität Kassel aufgezeichnet wurden (Bild 1).



Bild 1. Klimastation des FG Bauphysik, Universität Kassel  
Fig. 1. Climate station of the Building Physics department, Kassel University

Die Klimastation befindet sich in städtischer und umbauter Lage und hat eine Ortshöhe von 152 m. Die Klimastation zeichnet die Daten in einem 30-Sekunden-Rhythmus auf und speichert sie als 6-Minuten-Mittelwert. Für die Verwendung als Eingabe für dynamische Simulationsrechnungen wurden die Rohdaten zunächst in geeigneter Weise als Stundenmittelwerte aufbereitet, fehlende Daten aufgrund unvermeidlicher Meßausfälle mit den Daten nahegelegener Stationen mit annähernd vergleichbarer städtischer Lage aufgefüllt sowie Schaltjahre eliminiert. Dem Institut für Solare Energietechnik (ISET) in Kassel sei an dieser Stelle für die freundliche Unterstützung und die zur Verfügung gestellten Datensätze gedankt.

Für den Standort der Meßstation ist gegenüber der Lage des Referenzstandortes der TRY-Zone 7 (Höhe 231 m) keine der oben genannten Korrekturen vorzunehmen, was einen nach den Vorgaben direkten, jedoch hinsichtlich der unterschiedlichen Standortgegebenheiten kritisch zu hinterfragenden Vergleich des so gewonnenen Langzeitdatensatzes mit den TRY-Datensätzen für den Standort Kassel ermöglicht. Kritisch zu hinterfragen ist der Vergleich deshalb, weil sich die Referenzstation des DWD am Stadtrand in unverbauter Höhenlage, die Meßstation des FG Bauphysik aber in verbauter Innenstadtlage befindet. Die sich bei der Anwendung der Datensätze als Eingabe für ein thermisches Simulationsprogramm ergebenden Unterschiede im rechnerisch ermittelten Temperaturverhalten und im prognostizierten Wärme- bzw. Kältebedarf werden am Beispiel verschiedener Wohngebäude aufgezeigt.

## 2 Vergleichende Bewertung der Klimadaten

Im folgenden werden zunächst die einzelnen Jahre der Kasseler Meßdaten untereinander und mit den Datensätzen des DWD auf der Basis von Stunden- bzw. Monatswerten verglichen. Neben der Auswertung von Überschreitungshäufigkeiten und monatlich auftretenden Maximal- und Durchschnittswerten werden dabei als integrale Beurteilungsgrößen auch sog. Über- bzw. Untertemperaturgradstunden herangezogen.

### 2.1 Vergleichsgröße Über- bzw. Untertemperaturgradstunden

Über- bzw. Untertemperaturgradstunden werden gebildet aus der Summe der positiven bzw. negativen Differenzen der Stundenwerte der Außentemperatur minus einem vorgegebenen Grenzwert während des gesamten Jahres.

Als Grenzwerte bei der Bestimmung der Gradstunden werden im Rahmen dieser Untersuchung für die Periode des meteorologischen Sommers (Juni bis August) 25 °C und für das meteorologische Winterhalbjahr (Oktober bis März) bzw. den meteorologischen Winter (Dezember bis Februar) -5 °C herangezogen. Die Temperaturgrenzen 25 °C für die Übertemperaturgradstunden und -5 °C für die Untertemperaturgradstunden wurden in Anlehnung an das Auswahlverfahren des DWD zur Bestimmung eines repräsentativen Sommers bzw. Winters für jede TRY-Zone in [5] gewählt. Bei der Erstellung der Datensätze für extreme Witterungsabschnitte wurden dort für den Sommerfall diejenigen Stunden ausgezählt, in denen die Lufttemperatur mindestens 25 °C betrug, zur Erstellung eines Datensatzes für einen extrem kalten Winter (Periode des me-

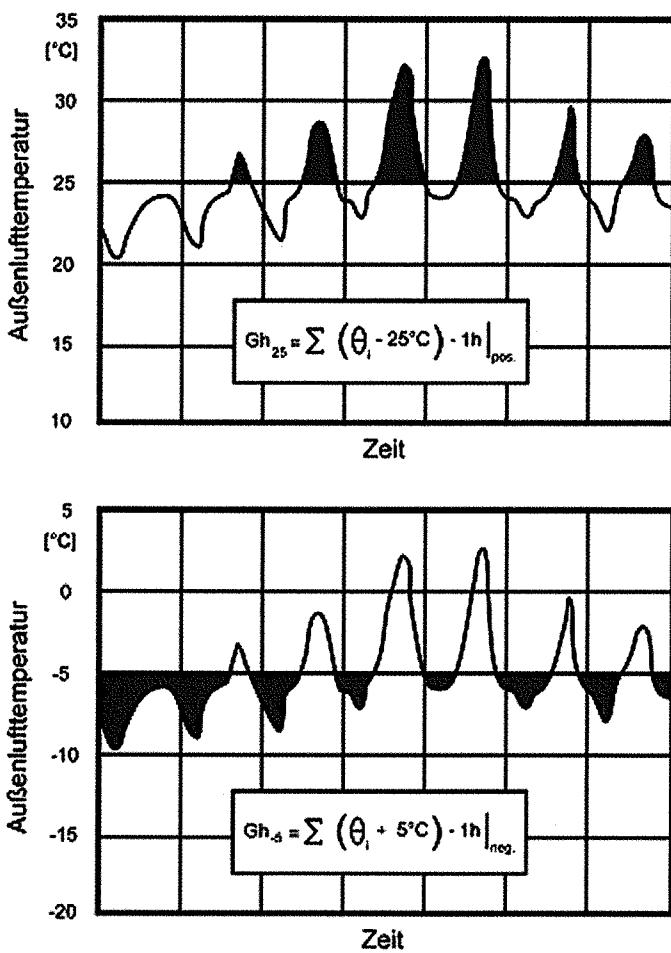


Bild 2. Schematische Darstellung von Über- bzw. Untertemperaturgradstunden

Fig. 2. Schematic diagram of excess or sub temperature degree hours

Tabelle 1. Monats- und Jahresmittelwerte der Lufttemperatur der Jahre 1994 bis 2003 und der TRY-Datensätze  
Table 1. Mean values per month and year of the air temperature for the years 1994 to 2003 and of the sets of data for the test reference year

Zeitraum	mittlere Lufttemperatur $\bar{\theta}$ [°C]												Kassel 10-Jahres-			DWD TRY7		
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Min.	Max.	Schnitt	normal	warm	kalt		
Januar	3,7	0,8	-2,5	-2,7	3,1	3,8	2,2	1,5	1,6	0,9	-2,7	3,8	1,2	1,9	-5,3 -2,8	13,9		
Februar	0,7	5,2	-1,2	4,7	4,9	1,6	4,7	3,4	6,0	-1,2	-1,2	6,0	2,9	0,8				
März	7,4	3,8	2,4	6,9	5,7	6,7	6,8	4,9	6,1	6,6	2,4	7,4	5,7	2,8				
April	9,3	9,6	9,1	7,3	9,6	9,9	11,5	8,3	9,0	9,4	7,3	11,5	9,3	6,0				
Mai	13,5	12,9	11,3	13,7	15,4	14,6	16,2	15,6	14,6	15,1	11,3	16,2	14,3	13,9				
Juni	16,8	15,1	15,3	16,3	17,4	16,3	17,8	15,3	18,2	20,0	15,1	20,0	16,8	15,2	16,4	20,4	1,9	
Juli	22,1	21,1	15,9	17,8	17,1	20,0	15,9	19,4	18,2	20,0	15,9	22,1	18,8	16,9	20,4			
August	18,3	19,1	17,3	23,0	17,6	17,6	18,5	19,9	20,1	21,8	17,3	23,0	19,3	17,4	18,9			
September	13,7	13,2	11,3	15,4	14,2	17,9	15,0	12,6	14,0	14,2	11,3	17,9	14,2	12,9				
Oktober	7,8	12,2	9,2	8,4	9,0	9,5	11,1	12,8	9,1	6,5	6,5	12,8	9,6	9,4				
November	7,5	3,7	5,1	5,0	2,6	4,3	6,9	4,9	6,8	6,9	2,6	7,5	5,4	4,8	1,9	8,6		
Dezember	4,4	-1,1	-2,0	2,8	1,8	3,4	3,8	1,0	1,3	2,2	-2,0	4,4	1,8	1,0				
Jahr	10,5	9,7	7,6	9,9	9,9	10,5	10,9	10,0	10,4	10,3	7,6	10,9	10,0	8,6				

eteorologischen Winters von Dezember bis Februar) wurden diejenigen Stunden herangezogen, in denen die Lufttemperatur  $\leq -5^{\circ}\text{C}$  war. Eine qualitative Erläuterung der Bewertungsgrößen Übertemperaturgradstunden  $Gh_{25}$  und Untertemperaturgradstunden  $Gh_{-5}$  geht aus den Darstellungen in Bild 2 hervor.

Im Gegensatz zu reinen Über- bzw. Unterschreitungshäufigkeiten, also der Anzahl der Stunden, zu denen innerhalb eines Jahres eine bestimmte Temperatur über- bzw. unterschritten wird, berücksichtigen sie nicht nur die Dauer, sondern auch die Höhe der Über- bzw. Unterschreitung der festgelegten Grenztemperatur. Für die Charakterisierung der Wärmemengen, die bei Gebäuden infolge Lüftung und Transmission mit der Umgebung ausgetauscht werden – und damit auch der auftretenden Lasten – sind diese Größen besser geeignet. Die Festlegung der Grenzwerte – Heizgradstunden mit standortspezifischen Heizgrenztemperaturen sind in der Heizungstechnik seit langem bekannt – ist zu diskutieren.

## 2.2 Durchschnitts-, Maximal- und Minimaltemperaturen

In Tabelle 1 sind die Monats- und Jahresmittelwerte der Außentemperatur aus der Meßperiode von 1994 bis 2003 den Werten aus den TRY Datensätzen gegenübergestellt. Die gemessene 10-Jahres-Durchschnittstemperatur liegt mit  $10^{\circ}\text{C}$  deutlich über dem Jahres-Durchschnitt des „Normal“-Testreferenzjahrs von  $8,6^{\circ}\text{C}$ , mit Ausnahme des Jahres 1996 liegen alle gemessenen Jahres-Durchschnittswerte über dem Jahresmittel des Referenzjahrs. Auch im Vergleich der einzelnen Monate ergeben sich – hier mit Ausnahme des Januars – stets höhere Monatsmittelwerte. Im Sommer, Monate Juni und August, liegt der Schnitt der Monatsmittelwerte der Meßdaten oberhalb

der Werte für den warmen Extremdatensatz des DWD, die Maximalwerte der gemessenen Monatsmittelwerte liegen sogar um ca. 2 bis 4 K darüber. Ebenso liegen die gemessenen Minimalwerte der Monatsmitteltemperaturen im Januar und Februar (1997 bzw. 1996) deutlich oberhalb der Januar- bzw. Februarwerte für das „kalte“ Testreferenzjahr, so dass sich bei aus den gemessenen Werten gebildeten Referenzjahren insgesamt ein deutlich höheres Außen-temperaturniveau ergeben würde. Die dem „kalten“ Referenzdatensatz zugrunde liegende Winterperiode weist (bei extrem kaltem Januar und Februar) vergleichsweise hohe Temperaturen im Dezember auf. Der Monatsmittelwert des Extremdatensatzes liegt mit 1,9 °C deutlich über dem Dezemberwert des Normaljahres.

Bild 3 verdeutlicht den beschriebenen Vergleich nochmals anschaulicher in grafischer Form. Im Winterfall lie-

gen die Mittelwerte noch recht gut im mittleren Bereich der gemessenen Werte und auch der kalte Winter spiegelt mit Ausnahme des Dezemberwertes tatsächlich extreme Verhältnisse wider. Im Sommer zeigt sich jedoch, daß das Normaljahr im Vergleich zu den gemessenen Werten im unteren Bereich der gemessenen Temperaturen anzusiedeln ist und eher der „Extrem Sommer“ mittlere Verhältnisse wiedergibt.

Noch deutlicher wird dies, wenn man nicht Monatsmittelwerte betrachtet, sondern die Maximaltemperaturen auf der Basis von Stundenmittelwerten, vergleiche Bild 4. Der durchschnittliche Wert für die Maximaltemperatur aus der 10jährigen Meßperiode in Kassel liegt mit 33,8 °C im Vergleich zu dem „Normal“-Testreferenzjahr um 4,6 K höher und immer noch oberhalb des Wertes für das „SommerTRY“ mit 32,9 °C.

### 2.3 Überschreitungshäufigkeit und Übertemperaturgradstunden

Bild 5 zeigt die Gegenüberstellung der gemessenen Übertemperaturgradstunden  $Gh_{25}$  der Jahre 1994 bis 2003 im Vergleich zum Normaljahr. Besser noch als der Vergleich der Temperaturen wird hier die Diskrepanz zwischen den Meßdaten und den Daten des Testreferenzjahres deutlich. Die Übertemperaturgradstunden des Normaljahres erreichen nicht einmal 25 % des Durchschnittswertes der Meßdaten. Nur das kälteste Jahr der Meßperiode, 1996, weist einen zum Normaljahr vergleichbaren Wert auf.

Die im Vergleich zu den Temperaturauswertungen noch deutlicheren Unterschiede zeigen, daß neben der Höhe der Temperaturüberschreitungen auch die Dauer der Überschreitungen in den gemessenen Datensätzen höher ausfällt, als im TRY-Normaljahr. Eine Auswertung der Überschreitungshäufigkeiten für die Sommermonate findet sich in Bild 6. Die durchschnittliche Anzahl der Stunden mit über 25 °C liegt teilweise mehr als doppelt so hoch wie im Normaljahr. Auch der TRY-Datensatz für den extremen Sommer weist im Juni und August noch geringere Überschreitungshäufigkeiten auf, als der gemessene Durchschnitt.

Im Mittel über den meteorologischen Sommer (Juni bis August) ist für den Extremdatensatz mit 300 Stunden

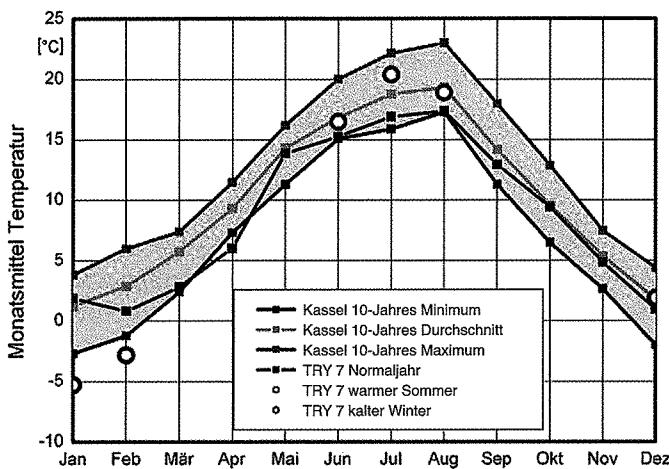


Bild 3. Mittlere monatliche Außentemperaturen in Kassel von 1994 bis 2003 im Vergleich zu den DWD-Testreferenzjahren  
Fig. 3. Average outside temperatures per month in Kassel from 1994 to 2003 in comparison to the German Meteorological Service test reference years

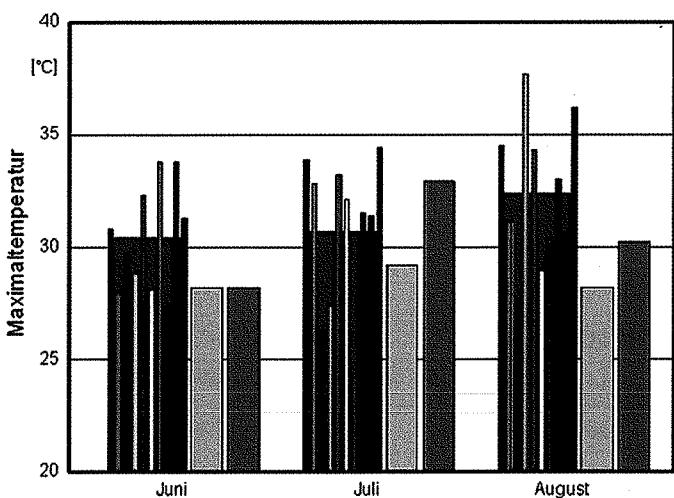


Bild 4. Maximaltemperaturen für die meteorologischen Sommer von 1994 bis 2003 im Vergleich zu den Referenzdatensätzen  
Fig. 4. Maximum temperatures for the meteorological summers from 1994 to 2003 in comparison to the sets of reference data

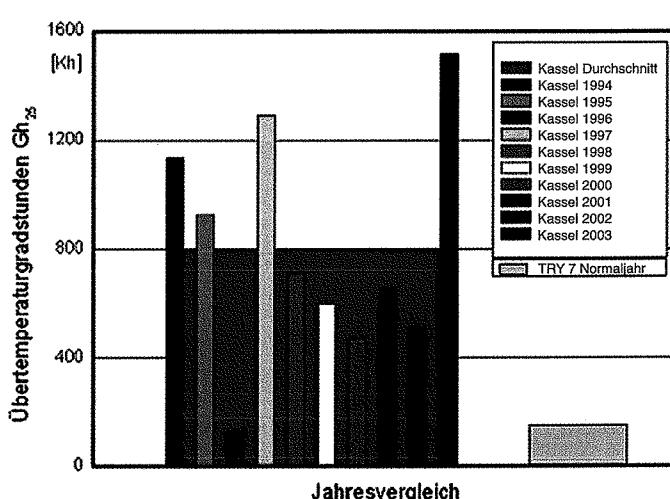


Bild 5. Übertemperaturgradstunden  $Gh_{25}$  der Jahre 1994 bis 2003 im Vergleich zum Normaljahr  
Fig. 5. Excess temperature degree hours  $Gh_{25}$  of the years 1994 to 2003 in comparison to the reference year

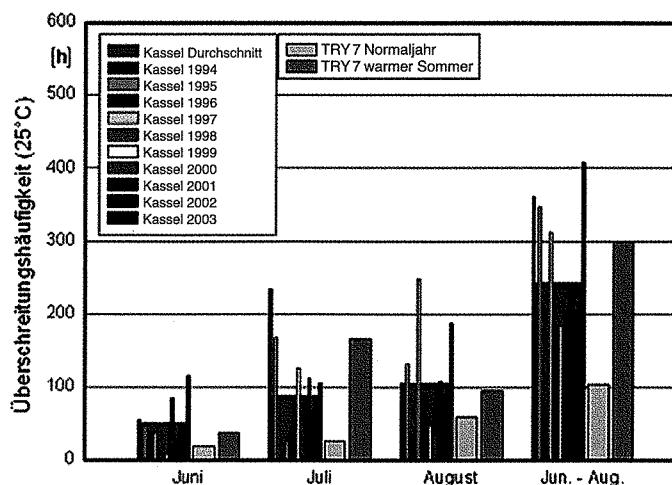


Bild 6. Überschreitungshäufigkeiten ( $25^{\circ}\text{C}$ ) für die meteorologischen Sommer von 1994 bis 2003

Fig. 6. Excess frequency ( $25^{\circ}\text{C}$ ) for the meteorological summers of 1994 to 2003

zwar eine höhere Überschreitungshäufigkeit vorhanden als im Meßdatendurchschnitt (Bild 6 unten), jedoch kann dies die im Mittel höheren, gemessenen Temperaturen noch nicht kompensieren, wie wiederum eine Auswertung der Übertemperaturgradstunden, diesmal nur für die Sommerperiode, Bild 7 unten, zeigt. Nochmals zur Verdeutlichung: Der *Durchschnitt* der ausgewerteten Meßdatensätze liegt mit 728 Gradstunden sogar leicht über dem Wert des DWD-Extremdatensatzes mit 691 Gradstunden. Hinsichtlich des Außentemperaturniveaus im Sommer spiegelt letzterer somit keinesfalls extreme Verhältnisse wieder.

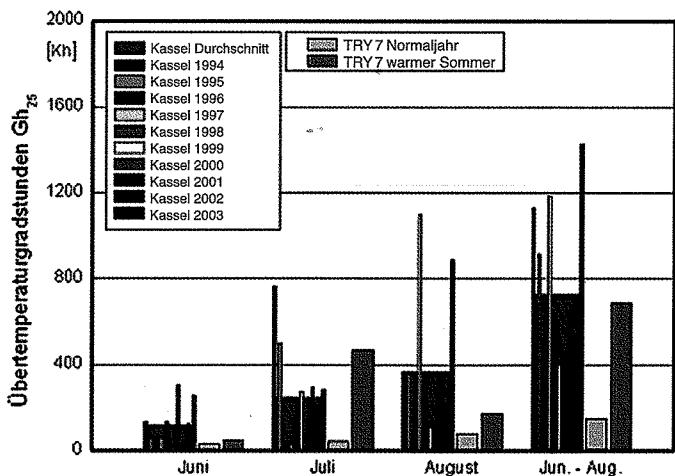


Bild 7. Übertemperaturgradstunden  $Gh_{25}$  für die meteorologischen Sommer von 1994 bis 2003

Fig. 7. Excess temperature degree hours  $Gh_{25}$  for the meteorological summers from 1994 to 2003

#### 2.4 Untertemperaturgradstunden Winterperiode

Umgekehrte Verhältnisse ergeben sich bei dem Vergleich der winterlichen Verhältnisse.

Beispielhaft werden in Bild 8 analog zu den Darstellungen in Bild 7 für die Jahre 1994 bis 2003 die Verhältnisse in der meteorologischen Winterperiode (Dezember bis Februar) anhand von Untertemperaturgradstunden dargestellt.

Es zeigt sich, daß hier das Normaljahr die mittleren, gemessenen Verhältnisse recht gut wiedergibt. Der TRY-Wert

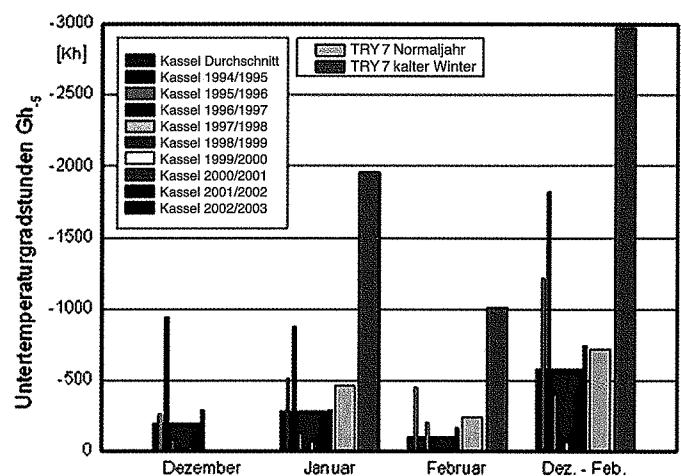


Bild 8. Untertemperaturgradstunden  $Gh_{25}$  der meteorologischen Winter von 1994/95 bis 2002/03

Fig. 8. Sub temperature degree hours  $Gh_{25}$  for the meteorological winters from 1994/95 to 2002/03

für den „kalten Winter“ liegt jedoch (trotz des „zu warmen“ Dezembers!) deutlich über den Werten für die kältesten Meßperioden im Winter 1995/96 und 1996/97.

#### 2.5 Direkt- und Diffusstrahlung

Die vergleichende Auswertung der Strahlungsdaten ist für die Monatsmittelwerte der Direkt- und Diffusstrahlung, getrennt nach Sommer- und Winterperiode, in den Bildern 9 bis 12 dargestellt. Bei der Direktstrahlung im Sommer, Bild 9, zeigt sich im Prinzip ein ähnliches Bild wie bei den Temperaturen: Die Werte des Normaljahres sind deutlich unterhalb der Meßdaten angesiedelt, die Werte des warmen Sommers spiegeln längst noch keine Extremverhältnisse wieder. Als „Ausgleich“ liegen dafür die Diffusstrahlungswerte in beiden Fällen ca. 30 % über den Meßwerten, Bild 10.

Für die Winterperiode werden – mit Ausnahme der Direktstrahlung im Februar – die Verhältnisse recht gut wiedergegeben. Der Februar ist hinsichtlich der Direktstrahlung im Normaljahr zu strahlungsarm, im „Extremwinter“

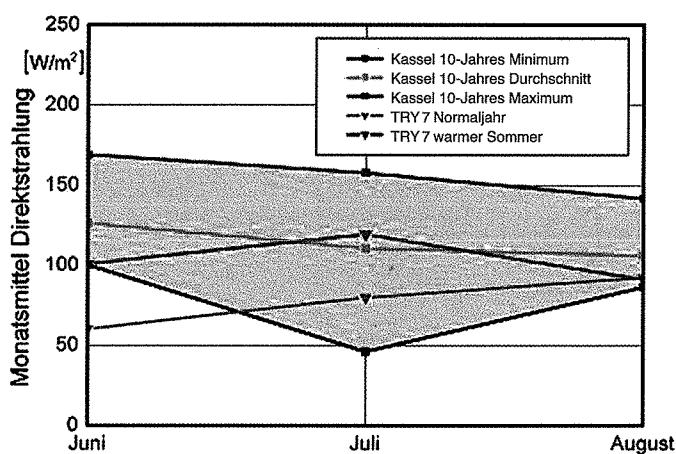


Bild 9. Gemessene mittlere monatliche Direktstrahlung im Vergleich zu den DWD-Datensätzen, Sommer

Fig. 9. Measured average solar radiation per month in comparison to the sets of data of the German Meteorological Service in summer

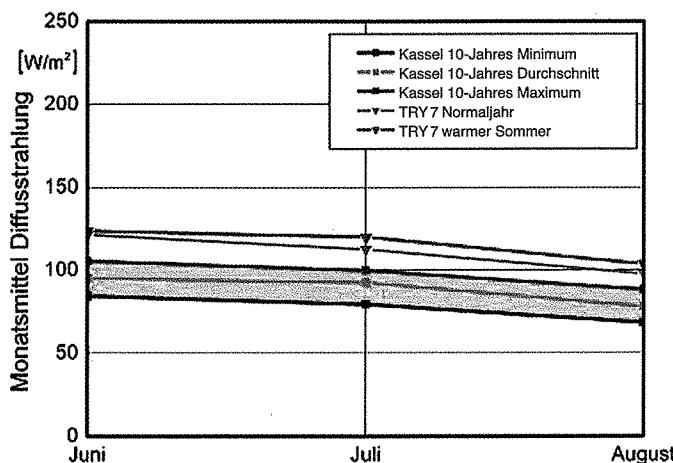


Bild 10. Gemessene mittlere monatliche Diffusstrahlung im Vergleich zu den DWD-Datensätzen, Sommer

Fig. 10. Measured average diffuse radiation per month in comparison to the sets of data of the German Meteorological Service in summer

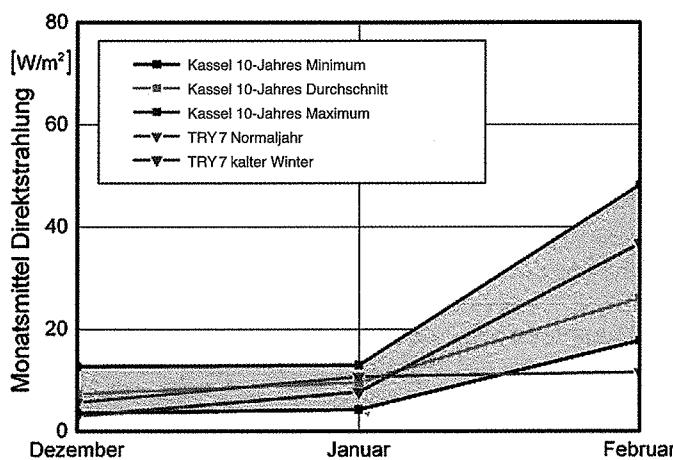


Bild 11. Gemessene mittlere monatliche Direktstrahlung im Vergleich zu den DWD-Datensätzen, Winter

Fig. 11. Measured average solar radiation per month in comparison to the sets of data of the German Meteorological Service in winter

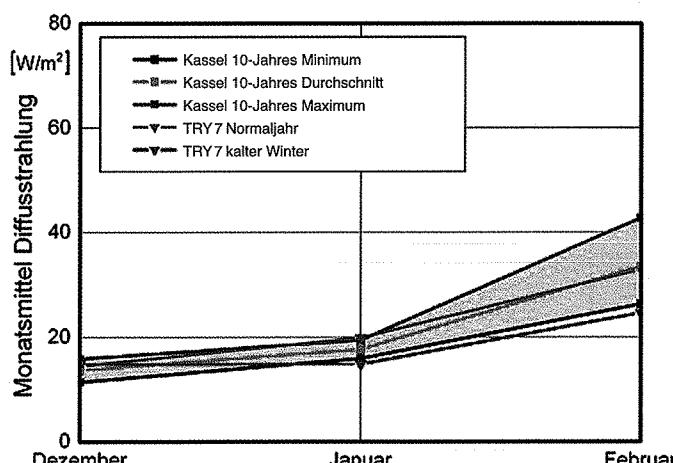


Bild 12. Gemessene mittlere monatliche Diffusstrahlung im Vergleich zu den DWD-Datensätzen, Winter

Fig. 12. Measured average diffuse radiation per month in comparison to the sets of data of the German Meteorological Service in winter

zu strahlungsreich. Die Direktstrahlungsdaten beider Datensätze sollten ggf. getauscht werden, da dann hinsichtlich der Bewertung von Gebäuden tatsächlich eher mittlere bzw. extreme Verhältnisse gegeben sind.

### 3 Vergleich anhand von Simulationsrechnungen

#### 3.1 Vorgehensweise

Eines der Hauptanwendungsgebiete der Testreferenzjahre ist die Verwendung als Meteorologiedatensatz bei der dynamischen Gebäudesimulation. Liegen z. B. aufgrund abweichender Standortbedingungen des Simulationsobjektes von den Testreferenzjahren abweichende meteorologische Randbedingungen vor, so sind auch abweichende Ergebnisse oder sogar Fehlinterpretationen bzw. -ausle- gungen zu erwarten.

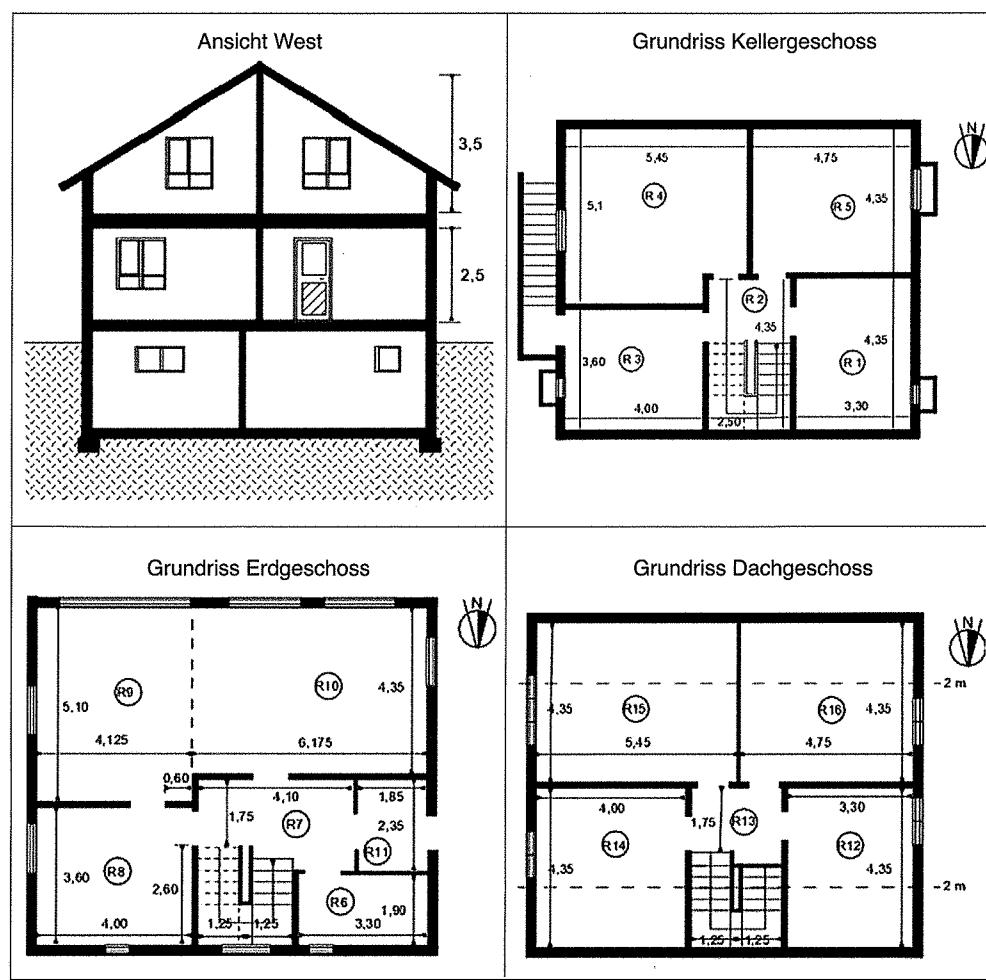
Anhand von Gebäudegeometrien aus dem Wohnungsbau und für unterschiedliche Ausführungen der Bauteile (thermisch wirksame Bauteilmasse) soll daher das thermische Zeitverhalten unter Einfluß des im Zeitraum von 1994 bis 2003 gemessenen Klimas aufgezeigt, bewertet und den Ergebnissen aus vergleichbaren Simulationsrechnungen unter Verwendung der TRY-Datensätze gegenübergestellt werden. Hierzu wurden die aufgezeichneten Wetterdaten zunächst für das Simulationsprogramm HAUSER [9] aufbereitet, mit dessen Hilfe die Untersuchungen durchgeführt wurden.

Grundsätzlich wird bei der Erläuterung der Simulationsergebnisse zwischen einem Sommerfall und einem Winterfall unterschieden. Für den Sommerfall erfolgt die Darstellung aus dem Blickwinkel der thermischen Behaglichkeit unter Verwendung der bereits eingeführten Bewertungsgröße „Übertemperaturgradstunden“ in Kombination mit den Überschreitungshäufigkeiten und den erreichten Maximaltemperaturen. Für den Winterfall erfolgt eine Betrachtung aus energetischer Sicht durch die Auswertung des für die einzelnen Fälle berechneten Heizwärmebedarfs.

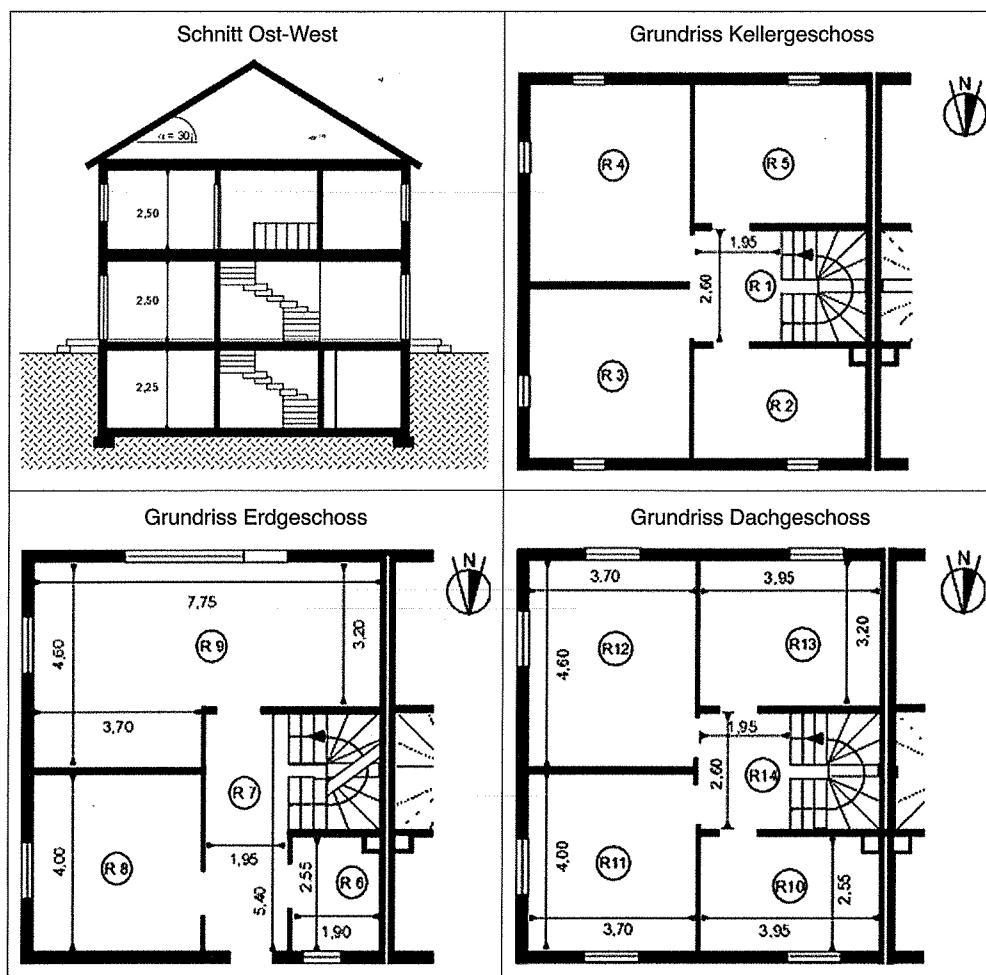
Die Ermittlung der für die Bewertung des sommerlichen Temperaturverhaltens herangezogenen Bewertungsgröße „Übertemperaturgradstunden  $G_{h26}$ “ erfolgt analog zur Auswertung der Außentemperaturen, vgl. Bild 2. Der Unterschied zur bereits dargestellten Bewertung der Außentemperaturen besteht darin, daß hier zum Einen eine Grenztemperatur von  $26^{\circ}\text{C}$  gewählt wird und zum Anderen wird als Bezugsgröße die operative Temperatur (auch: empfundene Temperatur) gewählt, die sich aus dem Mittel der durchschnittlichen flächengewichteten Oberflächentemperatur und der Raumlufttemperatur ergibt.

Die Simulationen wurden grundsätzlich als Jahressimulation (Testreferenzjahr) bzw. 10-Jahressimulation (Meßwerte) für sämtliche Zonen des Gebäudes durchgeführt. Für die Simulationen mit DWD-Extremdaten wurde hierzu ein spezieller Jahresdatensatz erzeugt, indem die entsprechenden Zeilen des „Normaljahres“ durch die Zeilen des warmen Sommers bzw. kalten Winters ersetzt wurden.

Eine Darstellung der zugrunde gelegten Gebäudegeometrie sowie der Zoneneinteilung für das Einfamilienhaus findet sich in Bild 13, für das Reihenendhaus in Bild 14. Reihenmittel- und Reihenendhaus unterscheiden sich nur dadurch, daß die Außenwand durch eine Gebäudetrennwand ersetzt wird. Auf eine Darstellung des Reihenmittel-



**Bild 13. Gebäudegeometrie Einfamilienhaus und Zonen-einteilung**  
**Fig. 13. Construction geometry of a single family house and zoning**



**Bild 14. Gebäudegeometrie Reihenendhaus und Zonenein-teilung**  
**Fig. 14. Construction geometry of an end-of-terrace house and zoning**

Tabelle 2. Flächen aus Einfamilienhaus, Reihenmittel- sowie

Reihenendhaus

Table 2. Areas of single-family, mid-terrace and end-of-terrace houses

Zusammensetzung der Brutto-Raumflächen			
EFH		RMH und REH	
Raum	Fläche	Raum	Fläche
1	18,66 m <sup>2</sup>	1	12,11 m <sup>2</sup>
2	13,41 m <sup>2</sup>	2	13,07 m <sup>2</sup>
3	18,67 m <sup>2</sup>	3	18,10 m <sup>2</sup>
4	32,16 m <sup>2</sup>	4	20,50 m <sup>2</sup>
5	25,45 m <sup>2</sup>	5	15,83 m <sup>2</sup>
6	8,99 m <sup>2</sup>	6	6,77 m <sup>2</sup>
7	11,52 m <sup>2</sup>	7	12,70 m <sup>2</sup>
8	18,67 m <sup>2</sup>	8	18,10 m <sup>2</sup>
9	25,45 m <sup>2</sup>	9	36,33 m <sup>2</sup>
10	32,16 m <sup>2</sup>	10	13,06 m <sup>2</sup>
11	5,81 m <sup>2</sup>	11	18,10 m <sup>2</sup>
12	18,65 m <sup>2</sup>	12	20,50 m <sup>2</sup>
13	7,66 m <sup>2</sup>	13	15,83 m <sup>2</sup>
14	22,06 m <sup>2</sup>	14	6,39 m <sup>2</sup>
15	28,76 m <sup>2</sup>	15	79,61 m <sup>2</sup>
16	25,35 m <sup>2</sup>		
Gesamtfläche: 313,41 m <sup>2</sup>		Gesamtfläche: 307,00 m <sup>2</sup>	
Fläche beheizt: 218,47 m <sup>2</sup>		Fläche beheizt: 239,50 m <sup>2</sup>	

hauses wird daher verzichtet. Es ergeben sich 16 Simulationszonen für das Einfamilienhaus und 15 Simulationszonen für das Reihenend- und Reihenmittelhaus.

Die Leichtbauweise entspricht einer traditionellen Holzbauweise, die schwere Bauweise einer Ausführung in Kalksandstein. Für die Nutzungsrandbedingungen (interne Lasten, Lüftungs- und Heizverhalten, Bedienung Sonnenschutz) werden in allen Fällen die gleichen, wohnnutzungstypischen Annahmen getroffen.

Der Vollständigkeit halber ist in den Darstellungen der Gebäudegeometrie das Kellergeschoß mit aufgeführt. Da dieser Gebäudeteil aber hinsichtlich der Bewertung der Behaglichkeitsverhältnisse im Sommer erwartungsgemäß unkritisch ist und außer im Kellerabgang in den Kellerräumen keine Beheizung erfolgt, werden die Ergebnisse für die Kellerräume in den folgenden Auswertungen nicht mit aufgeführt. Eine Zusammenstellung der in den Simulationen als Bezugsfläche angesetzten Brutto-Geschoßflächen der einzelnen Zonen findet sich in Tabelle 2.

### 3.2 Auswertungen Sommerfall

Anhand des Einfamilienhauses werden die verschiedenen Bewertungsgrößen für die zwei unterschiedlichen Bauausführungen dargestellt. Die folgenden Grafiken beschreiben jeweils auf der linken Seite die Ergebnisse für die Ausführung in Holz-Leichtbauweise und auf der rechten Seite für die Ausführung in Kalksandstein.

In den Bildern 15 und 16 sind zunächst die Übertemperaturgradstundenwerte  $Gh_{26}$  getrennt nach Jahren, Räu-

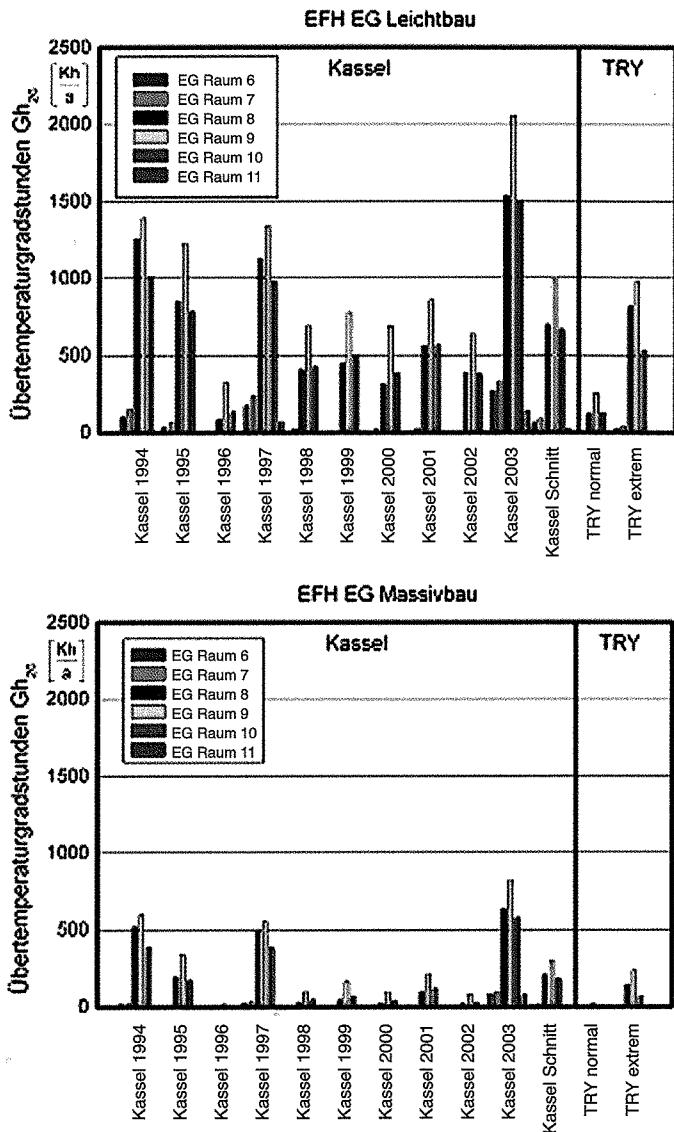
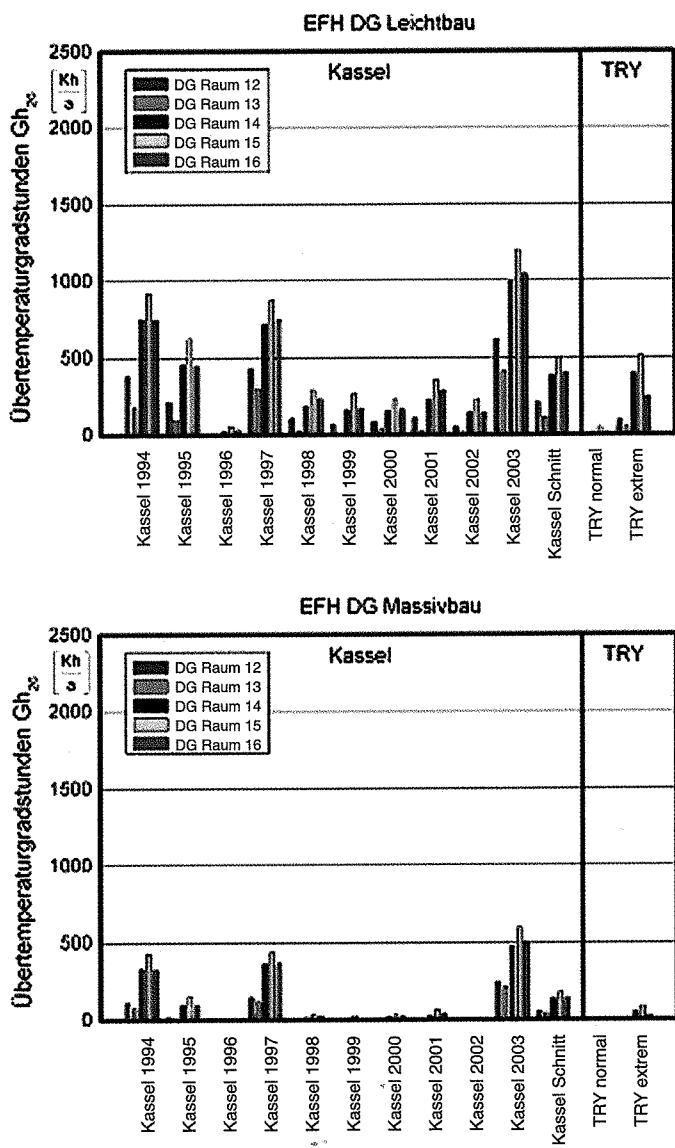


Bild 15. Vergleich  $Gh_{26}$  EFH Erdgeschoß (Räume 6–11) Leichtbau (oben) und Massivbau (unten) nach Jahren  
Fig. 15. Comparison of  $Gh_{26}$  for ground floor of single-family house (rooms 6–11) in lightweight construction (top) and solid construction (bottom) by years

men und Bauteilschwere aufgeführt. Diese Darstellungen verdeutlichen, wie sich die thermischen Verhältnisse hinsichtlich der Behaglichkeitsgröße  $Gh_{26}$  in Abhängigkeit von den jeweils vorhandenen Klimarandbedingungen einstellen.

Der Jahrhundertsommer 2003 liefert erwartungsgemäß die höchste, das Jahr 1996 die geringste thermische Belastung innerhalb des zehnjährigen Simulationszeitraums mit den gemessenen Daten.

Deutlich zu erkennen ist, daß die Verwendung der nach DIN 4710 für Kassel anzusetzenden TRY-Datensätze der Zone 7 im Vergleich zu den Langzeitsimulationen zu stark abweichenden Ergebnissen hin zu einem höheren Temperaturniveau führen. Das im Rahmen der Analyse der Klimadaten gefundene deutlich wärmere Niveau der gemessenen Wetterdaten schlägt sich wie zu erwarten in den Simulationsergebnissen nieder. Insbesondere anhand der raumweise dargestellten Vergleiche des zehnjährigen Kasseler  $Gh_{26}$ -Mittelwertes gegenüber den Werten, die mit den TRY-Datensätzen berechnet wurden,

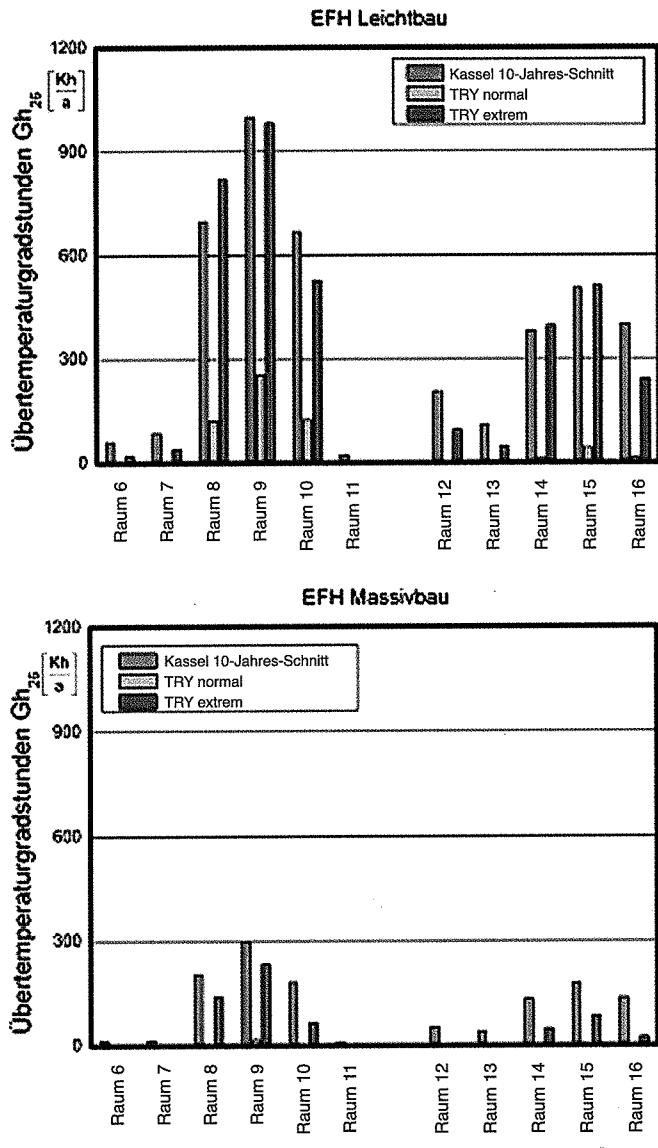


**Bild 16.** Vergleich  $Gh_{26}$  EFH Dachgeschoß (Räume 12–16) Leichtbau (oben) und Massivbau (unten) nach Jahren  
**Fig. 16.** Comparison of  $Gh_{26}$  for attic of single-family house (rooms 12–16) in lightweight construction (top) and solid construction (bottom) by years

Bild 15 und 16, kann nachvollzogen werden, daß die Verwendung des TRY-Datensatzes für einen extrem warmen Sommer der TRY-Zone 7 auch bei den Ergebnissen der Simulation im Meßzeitraum bestenfalls mittlere Verhältnisse beschreibt.

Der besseren Übersichtlichkeit halber wurde bei den folgenden Auswertungen auf eine explizite Ausweisung der einzelnen Jahreswerte wie in den Bildern 15 und 16 verzichtet. Dargestellt werden jeweils die 10-Jahres-Mittelwerte der einzelnen Größen, die für jede Simulationszone berechnet wurden.

Die Auswertung der Überschreitungshäufigkeiten, die in Bild 18 dargestellt ist, führt beim Vergleich der Kasseler Meßdaten mit den TRY-Datensätzen zu nicht so gravierenden prozentualen Abweichungen, da in diese Betrachtung die Höhe der Überschreitung der Grenztemperatur nicht einfließt. Dennoch wird auch hier deutlich, daß der TRY-Datensatz für das sog. Normaljahr keineswegs mittlere klimatische Verhältnisse für die Stadt Kassel beschreibt.



**Bild 17.** Übertemperaturgradstunden  $Gh_{26}$  EFH Leichtbau und Massivbau nach Räumen  
**Fig. 17.** Excess temperature degree hours  $Gh_{26}$  single family house lightweight construction (top) and solid construction by rooms

Im folgenden werden Überschreitungshäufigkeiten und die zugehörigen Übertemperaturgradstunden zusammen für den am stärksten thermisch belasteten Raum 9 (Wohnzimmer) in Leichtbauweise dargestellt. In Bild 19 sind auf der Abszisse die Überschreitungshäufigkeiten und auf der Ordinate die Übertemperaturgradstunden abgetragen. Die Monatswerte der Übertemperaturgradstunden  $Gh_{26}$  und der Überschreitungshäufigkeiten  $n_{26}$  für die einzelnen Jahre sind in Tabelle 3 zusammen mit dem sich ergebenden Durchschnitt und den Werten für die Testreferenzjahre tabellarisch aufgeführt. Zusätzlich ist eine weitere Größe,  $\Delta\vartheta_{U26,m}$  mit aufgeführt. Sie beschreibt das Verhältnis von Übertemperaturgradstunden zu Überschreitungshäufigkeit und liefert den Wert der durchschnittlichen Überschreitung der 26 °C-Grenze in Kelvin für das betrachtete Jahr. In Bild 19 entspricht sie der Steigung einer gedachten Geraden durch den Nullpunkt und den betrachteten Jahreswert. Im Leichtbau ergeben sich für diese Größe in den Jahren 1994 und 1997 sogar höhere Werte als für das Jahr 2003, was letztlich bedeutet, daß in diesen Jahren für den betrachteten Fall ebenfalls in-

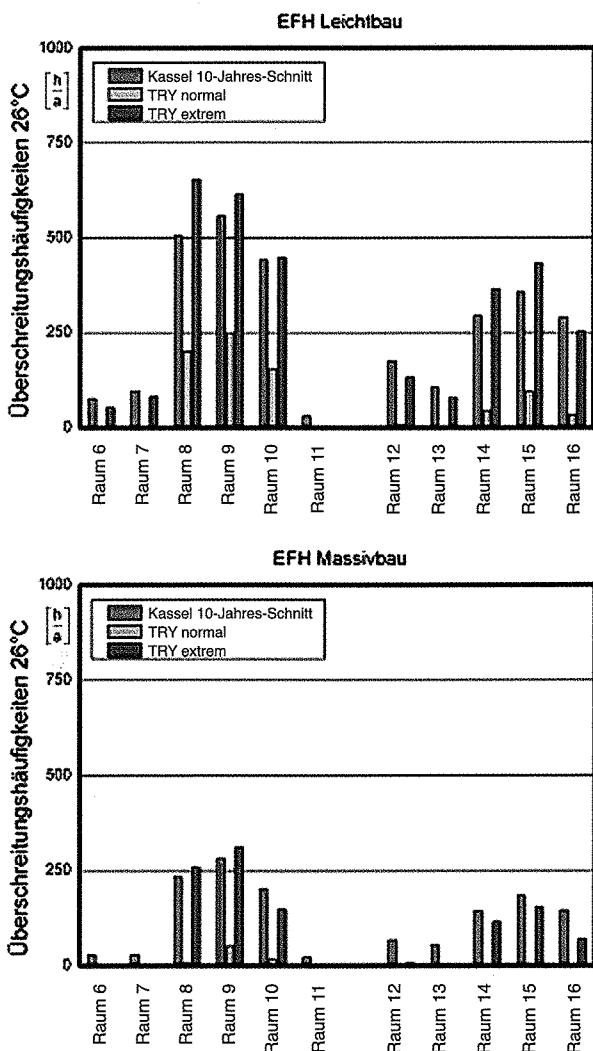


Bild 18. Überschreitungshäufigkeiten ( $26^{\circ}\text{C}$ ) EFH Leichtbau und Massivbau nach Räumen

Fig. 18. Excess frequency ( $26^{\circ}\text{C}$ ) single family house in lightweight construction and solid construction by rooms

Tabelle 3. Übertemperaturgradstunden, Überschreitungshäufigkeiten und mittlere Überschreitungstemperaturen am Beispiel Raum 9, EFH

Table 3. Excess temperature degree hours, excess frequency and average excess temperatures, taking Room 9 of the single-family house as an example

	Leichtbau			Massivbau		
	$Gh_{26}$ [Kh/a]	$n_{26}$ [h/a]	$\Delta\vartheta_{ii26,m}$ [K]	$Gh_{26}$ [Kh/a]	$n_{26}$ [h/a]	$\Delta\vartheta_{ii26,m}$ [K]
Kassel 1994	1392,1	658	2,12	602,3	489	1,23
Kassel 1995	1227,8	654,5	1,88	343,4	366,9	0,94
Kassel 1996	322,7	250,2	1,29	15,4	40,6	0,38
Kassel 1997	1339,7	632	2,12	553,8	396	1,40
Kassel 1998	693,3	421,4	1,65	99	149,7	0,66
Kassel 1999	780,8	501,6	1,56	162,6	218,1	0,75
Kassel 2000	690,6	441,6	1,56	97,4	155,1	0,63
Kassel 2001	856,6	533,9	1,60	214,2	249,6	0,86
Kassel 2002	639	474,6	1,35	81,7	156,7	0,52
Kassel 2003	2056,8	1007,2	2,04	822,3	598,8	1,37
Kassel Schnitt	999,94	557,5	1,79	299,21	282,05	1,06
TRY normal	254,6	249,7	1,02	16,4	50,5	0,32
TRY extrem	982,3	614,2	1,60	232,7	310,9	0,75

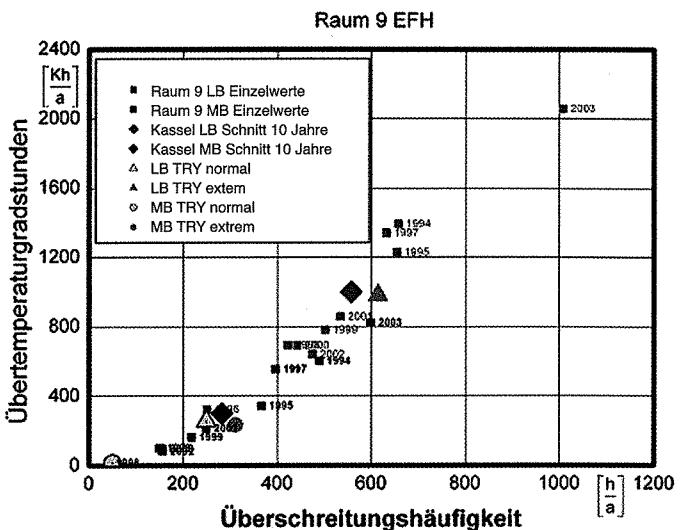


Bild 19. Zusammenhang Übertemperaturgradstunden und Überschreitungshäufigkeiten am Beispiel Raum 9, EFH  
Fig. 19. Relationship between excess temperature degree hours and excess frequency, taking Room 9 of the single-family house as an example

tensive Überschreitungen von  $26^{\circ}\text{C}$  vorliegen, allerdings für einen im Mittel kürzeren Zeitraum als im Jahr 2003.

Zur abschließenden Bewertung der thermischen Belastung des Gebäudes werden über die zuvor beschriebenen Größen hinaus noch die jeweils erreichten Maximaltemperaturen betrachtet. Diese sind für das Einfamilienhaus in Holz- und Massivbauweise in Bild 20 raumweise dargestellt.

Es fällt sofort auf, daß in allen Räumen (Simulationszonen) des Gebäudes der Mittelwert der maximalen operativen Temperatur für die 10-Jahresperiode teilweise sogar um einige Kelvin höher liegt, als die Werte, die sich bei Verwendung des Extrem-TRY für den Sommerfall ergeben.

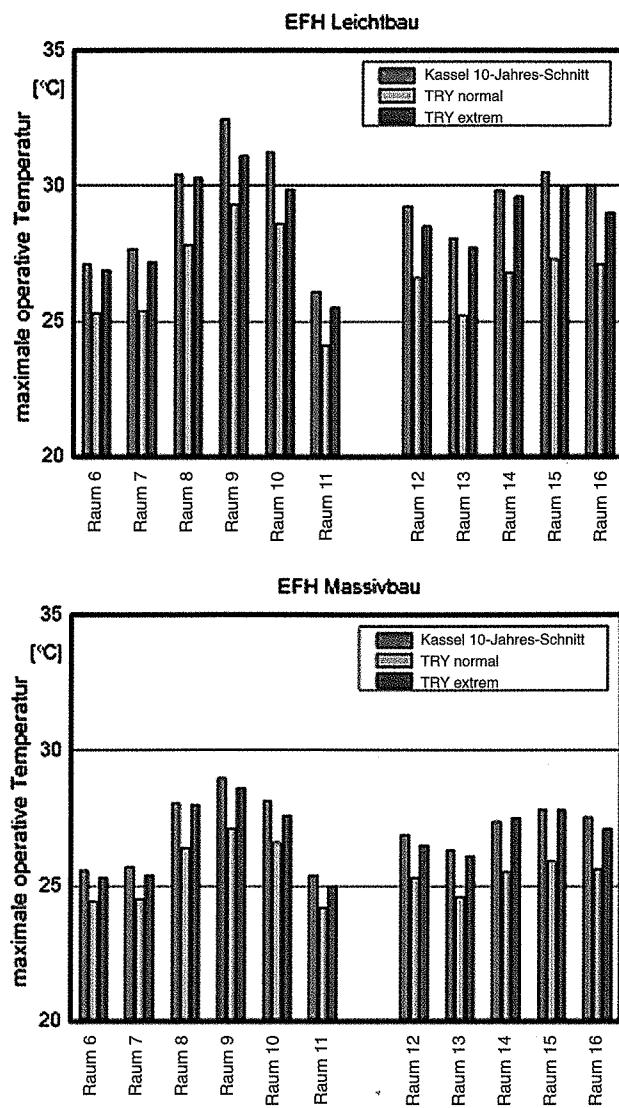


Bild 20. Maximale operative Temperaturen EFH Leichtbau und Massivbau nach Räumen

Fig. 20. Maximum operative temperatures of single-family house in lightweight construction and solid construction

### 3.3 Auswertungen Winterfall

Abweichend zur Darstellungsweise für den Sommerfall sollen für den Winterfall nicht das thermische Verhalten unterschiedlicher Bauweisen in Abhängigkeit von dem verwendeten Klimadatensatz untereinander verglichen, sondern unterschiedliche Gebäudegeometrien betrachtet werden. Neben dem Einfamilienhaus werden die Simulationsergebnisse deshalb zusätzlich für das Reihenendhaus und das Reihenmittelhaus dargestellt.

Vergleicht man das monatliche 10-Jahres-Mittel des Heizwärmebedarfs mit den Werten für das Normal-TRY und den Extremdatensatz, Bild 21, so fällt auf, daß bereits das Normaljahr mit Ausnahme des Januars z. T. deutlich höhere Werte liefert. Dies ist insbesondere in der Übergangszeit im Frühjahr der Fall, im Herbst sind die Abweichungen zwischen dem Normaljahr und dem 10-Jahresmittelwert weniger stark ausgeprägt.

Betrachtet man die Jahreswerte des Heizwärmebedarfes untereinander und vergleicht diese mit dem Wert für das Normal- und das Extrem-TRY, so liegen die Werte für das Normaljahr im Durchschnitt 15 % über dem Mittelwert aus

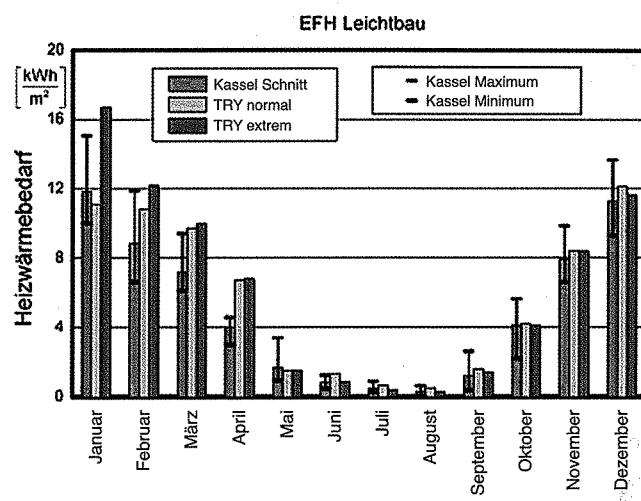


Bild 21. Spezifischer monatlicher Heizwärmebedarf Einfamilienhaus Leichtbau

Fig. 21. Specific monthly heating energy requirement of single-family house in lightweight construction

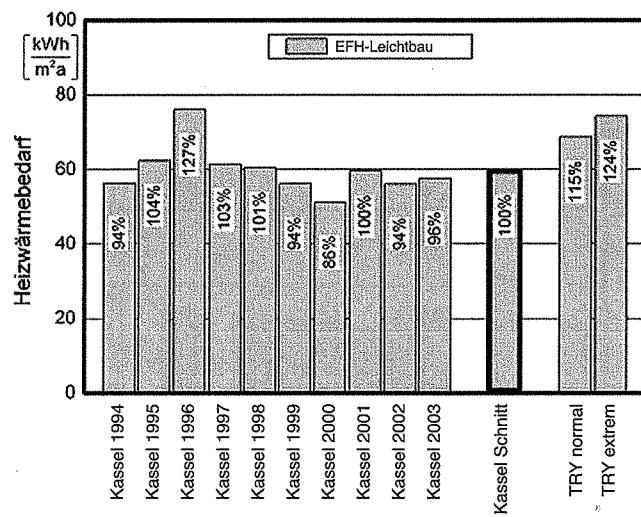


Bild 22. Spezifischer jährlicher Heizwärmebedarf Einfamilienhaus Leichtbau

Fig. 22. Specific annual heating energy requirement of single-family house in lightweight construction

dem 10-Jahres-Datensatz, vgl. Bild 22. Die Einzelwerte variieren zwischen 86 % des Durchschnitts (Jahr 2000) und 127 % (Jahr 1996). Das Jahr 1996 war somit hinsichtlich des sich für ein Gebäude ergebenden Heizwärmebedarfs noch etwas ungünstiger als das Extremjahr mit 124 %.

Die prozentualen Abweichungen scheinen dabei weitgehend unabhängig vom Niveau der Wärmeverluste selbst zu sein, da sich auch für das Reihenmittelhaus und das Reihenendhaus bei stark unterschiedlichen Absolutwerten des Heizwärmebedarfs praktisch identische prozentuale Werte ergeben, wie aus den Bildern 23 und 24 hervorgeht.

### 4 Zusammenfassung

Für einen innerstädtischen Standort in Kassel werden repräsentative TRY-Datensätze mit einem meßtechnisch gewonnenen Langzeit-Klimadatensatz insbesondere in Hinblick auf die Verwendung bei der thermischen Gebäudesimulation verglichen. Grundlage dieser Untersuchungen stellen Klimamessungen dar, die über den Zeitraum von 1994 bis 2003 von der Wetterstation des Fachgebiets Bau-

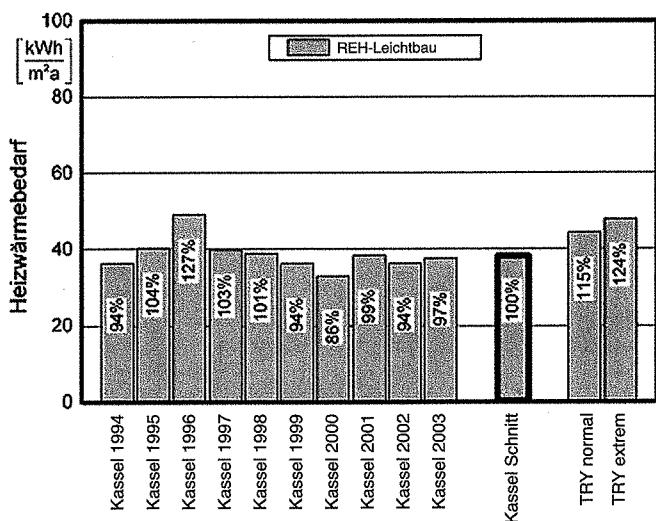


Bild 23. Spezifischer jährlicher Heizwärmebedarf Reihenendhaus Leichtbau

Fig. 23. Specific annual heating energy requirement of end-of-terrace house in lightweight construction

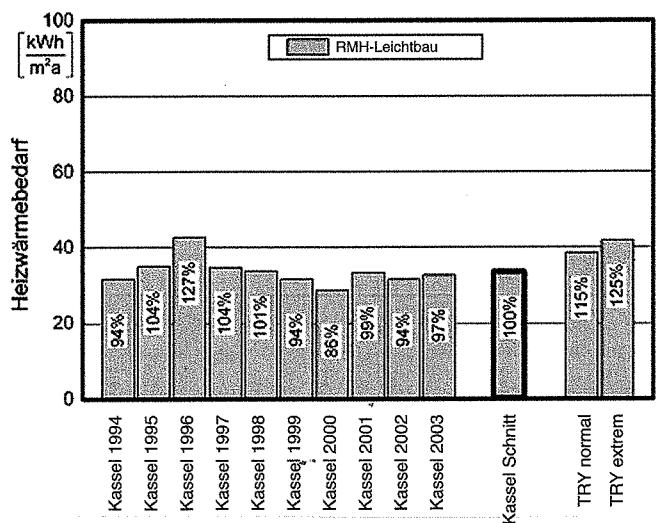


Bild 24. Spezifischer jährlicher Heizwärmebedarf Reihenmittelhaus Leichtbau

Fig. 24. Specific annual heating energy requirement of terrace house in lightweight construction

physik an der Universität Kassel aufgezeichnet wurden.

Sowohl die Auswertung der Temperaturmittelwerte als auch die der Übertemperaturgradstunden legen dar, daß das Testreferenzjahr im Sommer deutlich tiefere Außen-temperaturen als der 10-Jahres-Durchschnitt der Messungen beinhaltet. Nicht nur das TRY-Normaljahr, sondern auch der Datensatz des DWD für einen extrem warmen Sommer erweist sich dabei als nicht repräsentativ. Im Winterfall gibt das Normaljahr die mittleren, gemessenen Verhältnisse recht gut wieder. Die TRY-Außentemperatur für den „kalten Winter“ liegt im Januar und Februar jedoch deutlich unter den Werten der kältesten Meßperioden.

Der Vergleich von Simulationsergebnissen mit den verschiedenen Klimadatensätzen zeigt, daß die Abweichungen in den Klimadatensätzen auch zu deutlichen Unterschieden in den rechnerisch ermittelten Temperaturverhältnissen im Sommer und im Heizwärmebedarf führt. Für den Sommerfall -- bewertet mit den Kenngrößen Übertemperaturgradstunden, Überschreitungshäufigkeit, mittlere Überschreitung

und Maximaltemperatur – ergibt sich, daß das Extrem-TRY des DWD sogar die mittleren Verhältnisse am Gebäudedestandort nicht beschreibt. Im Winterfall ergeben sich mit dem Normaljahr – unabhängig vom Niveau der Wärmeverluste – um 15 % höhere Wärmebedarfswerte als mit dem Mittelwert aus dem gemessenen Langzeitklimadatensatz.

Die Dekade von 1990 bis 2003 ist bekanntermaßen eine der wärmsten Dekaden seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Ob die dargestellten Abweichungen hierauf oder eher auf die stark unterschiedliche Topographie des Referenzstandortes gegenüber der Meßstation zurückzuführen ist, kann anhand der Untersuchung nicht geklärt werden, vermutlich liegt eine Überlagerung beider Einflüsse vor. Die Untersuchung zeigt aber quantitativ auf, welche Fehlerbandbreite sich bei der Verwendung von Referenzklimadaten ergeben kann. Ein künftiger Schwerpunkt bei der Erstellung von zusätzlichen Klimadatensätzen für die thermische Gebäudesimulation sollte daher eine möglichst umfassende Erweiterung hinsichtlich regionaler und mikroklimatischer Gegebenheiten sein. Hierfür ist ein dichtes Netz an Meßstandorten erforderlich. Die heute zur Verfügung stehende Rechnerleistung erlaubt bei thermisch-hygrischen Simulationen ohne Weiteres die Verwendung von aktuellen Langzeitklimadatensätzen auf der Basis von Realdaten. Für den Standort Kassel/Innenstadt liegt ein solcher jetzt vor.

## Literatur

- [1] VDI-Richtlinie 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume. 1972.
- [2] Hauser, G.: Heizenergieverbrauch und Temperaturverhalten von Einfamilienhäusern in Leicht- und Schwerbauweise während der Übergangsjahreszeit. HLH 29 (1978), H. 3, S. 125–129.
- [3] Hauser, G.: Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände und temporäre Wärmeschutzmaßnahmen – Eine einfache Methode zur Quantifizierung durch  $keq$ -Werte. HLH 34 (1983), H. 3, S. 111–112, H. 4, S. 144–153, H. 5, S. 200–204, H. 6, S. 259–265.
- [4] Blümel, K., Hollan, E., Kähler, M., Peter, R., Jahn, A.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der BRD. Forschungsbericht T 86-051, BMFT-FB, 1986.
- [5] Christoffer, J., Deutschländer, T., Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima und Umweltberatung, Offenbach a. Main, 2004.
- [6] DIN 4710:2003-01 Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland. Berlin: Beuth-Verlag, 2003.
- [7] DIN 4701:2003-08 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. Berlin: Beuth-Verlag, 2003.
- [8] VDI 2078:1996-07 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln). Berlin: Beuth-Verlag, 1996.
- [9] Hauser, G.: Rechnerische Vorbestimmung des Wärmeverhaltnisses großer Bauten. Dissertation, Universität Stuttgart, 1977.

## Autoren dieses Beitrages:

- Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Institutsleiter Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Ordinarius am Lehrstuhl für Bauphysik, TU München, Arcisstr. 21, 80333 München  
 Dipl.-Ing. Christoph Kempkes, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel  
 Dipl.-Ing. Stephan Schlitzberger, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel