EINFLUSS DES MIKROKLIMAS AUF DAS ENERGETISCHE UND THERMISCHE VERHALTEN VON GEBÄUDEN AM BEISPIEL DES STANDORTES KASSEL

Andrea Schneider, Anton Maas, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung
Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel, Deutschland

KURZFASSUNG

Unter Verwendung von an drei verschiedenen Standorten in Kassel gemessenen Klimadatensätzen für die Jahre 2001, 2002 und 2003 und des Testreferenzjahres des Deutschen Wetterdienstes wird der Einfluss des Standortfaktors Klima auf den Heizwärmebedarf mit Hilfe thermischer Gebäudesimulationen ermittelt und dargestellt.

Hierzu werden für typische Wohnnutzungen Randbedingungen gewählt, mit denen das thermische Gebäudeverhalten basierend auf unterschiedlichen wärmetechnischen Standards verschiedener Baualtersklassen untersucht wird.

Zur Beurteilung des thermischen Raumklimas wird die Anzahl der Übertemperaturgradstunden ermittelt und eine Beurteilung mittels des PMV- Indexes vorgenommen.

Abstract

The urban climate is influenced by built-up areas and their implications, including waste heat and pollutant emissions [WMO, 1981].

Due to the different surfaces and building structures various microclimates are formed within the urban heat island. Its influence on the energetic and thermal behaviors on the buildings is analysed.

In this work, typical boundery conditions of use for residental buildings are selected in order to investigate the thermal behavoir of excisting and new buildings constructions regarding heat technology standards. Using different climate data measured at three locations in Kassel for the years 2001, 2002 and 2003 and the test reference year [Christoffer et al., 2004] the influence of a specific site factor on the thermal building simulation is investigated. The thermal building simulation is performed with IDA Indoor Climate and Energy 4.0 for a single family house and an apartment building with typical constructions and defined residential use. In addition, the window areas varied. Both will be evaluated for the heating demand. To assess the thermal indoor climate, the number of degress hours for overheating is determined and the rating is carried out using PMV- Indices.

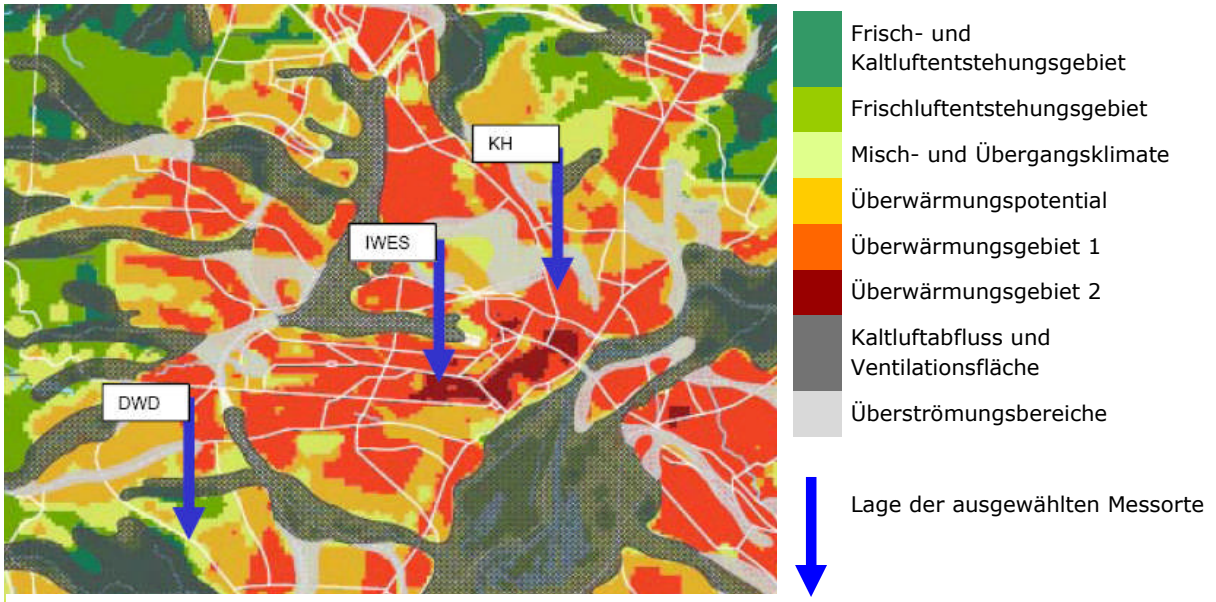

Abbildung 1: Lage der Messstationen im Stadtgebiet von Kassel [Quelle: Klimafunktionskarte, FG Umweltmeteorologie, Universität Kassel]

EINLEITUNG

Mit Stadtklima wird das Klima bezeichnet, welches durch die Bebauung und ihre Auswirkungen, einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen modifiziert wird [WMO, 1981]. Infolge der unterschiedlichen Oberflächen und Baukörperstrukturen bilden sich innerhalb der urbanen Wärmeinsel verschiedene Mikroklimate aus. Deren Einfluss auf das energetische und thermische Verhalten von Gebäuden wird im Folgenden unter Verwendung des thermischen Gebäudesimulationsprogrammes IDA Indoor Climate and Energy 4.0 untersucht.

KLIMADATEN

Für die Aufgabe standen Messdaten des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) und des Klimahauses (KH) für die Jahre 2001, 2002 und 2003 zur Verfügung. Die Klimastation des Deutschen Wetterdienstes ist sowohl die Repräsentanzstation für das verwendete Testreferenzjahr TRY 07 [Christoffer et al., 2004] für Kassel (TRY) als auch Messstation für die gemessenen Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

In Abbildung 1 sind die verschiedenen Messorte in der Klimafunktionskarte (KFK) des Fachgebietes Umweltmeteorologie der Universität Kassel dargestellt. Aus der KFK lassen sich Funktionen, Austausch und Wechselwirkungsprozesse des Klimas ablesen, die vor allem an strahlungsreichen und windschwachen Wetterlagen auftreten. Die Messstation des DWD befindet sich in einem Misch- und Übergangsklimat. Dieses zeichnet sich durch Flächen mit einem hohen Vegetationsanteil aus; angrenzend befinden sich Frischluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebiete. Im Überwärmungsgebiet 2 liegt eine hohe Wärmespeicherfähigkeit aufgrund der dichten Bebauungsstruktur vor. Hier befindet sich die Station des IWES. Es mangelt an Ausgleichspotentialen durch angrenzende Klimate oder Luftaustauschbahnen. Der Standort der Messstation KH bietet bereits Überwärmungs-potential durch die bauliche Situation, während Überwärmungsgebiete mit dichterer Bebauung und weniger Vegetation sich anschließen. Misch- und Übergangsklimate grenzen das Gebiet ebenfalls ab.

Wind

Die regionalen Winde werden aufgrund der unterschiedlichen Höhen im Kasseler Becken erheblich verändert. Die Windrichtungen und -stärken sind für den Sommer und Winter des Jahres 2003 für die unterschiedlichen Standorte in Abbildung 2 bis 5 dokumentiert:

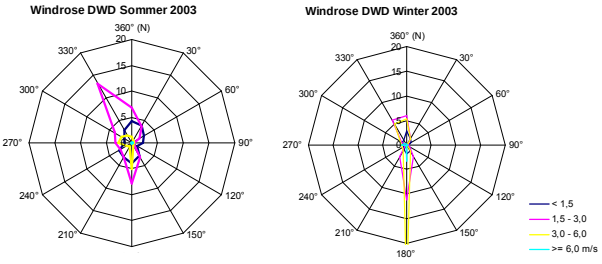

Abbildung 2: Windrose DWD Sommer / Winter 2003

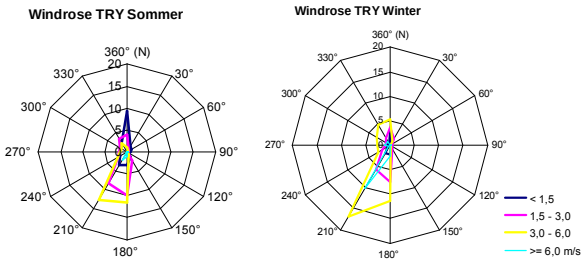

Abbildung 3: Windrose TRY Sommer / Winter2003

Im Jahr 2003 kommt an der Station des DWD der Wind aus Richtung Nord, während im Winter starker Wind aus Süden herrscht. Für das TRY stellt sich im Sommer und im Winter eine Windrichtung aus Südwest bis Süd mit höheren Windgeschwindigkeiten ein.

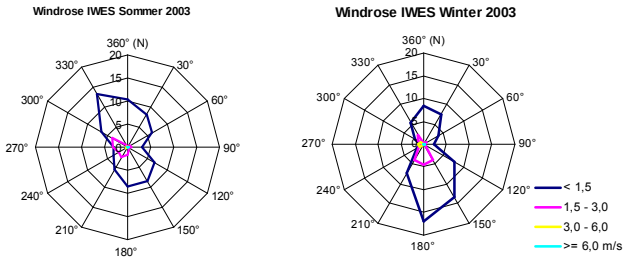

Abbildung 4: Windrose IWES Sommer / Winter 2003

An der Station IWES sind sehr wechselnde Windrichtungen und Verwirbelungen aufgrund der hohen Rauhigkeit der Gebäude erkennbar. Im Winter stellen sich hier schwache und stärkere Wind aus Süden ein.

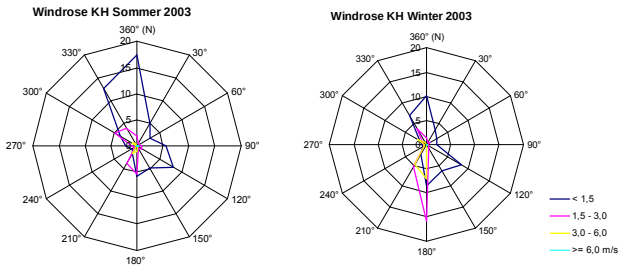

Abbildung 5: Windrose KH Sommer / Winter 2003

Für den Standort KH zeigt sich ein schwacher Wind im Sommer aus Richtung Nord, während sich im Winter die Ausprägung der Windrichtung stärker Richtung Süden ändert.

Ereignistage

Die „meteorologischen Ereignistage“ sind Tage an denen bestimmte Schwellenwerte der Lufttemperatur erreicht werden. Mit Hilfe ihrer Häufigkeit kann eine Aussage über das Klima getroffen werden. Ereignistage sind Hitzetag (t_{max} > 30°C), Sommertag (t_{max} > 25°C), Frosttag (t_{min} < 0°C) und Eistag (Maximalwert der Temperatur 0°C).

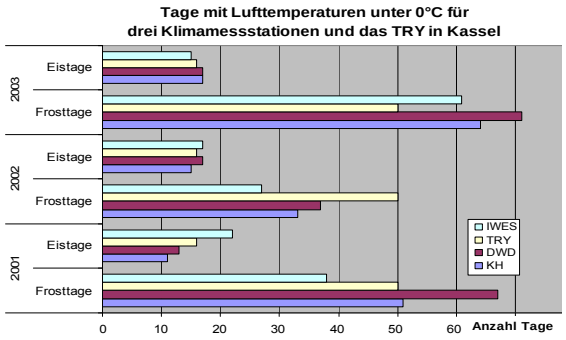

Abbildung 6: Ereignistage unter 0°C für Kassel

Die Anzahl der Frosttage sind an der Station des DWD für das Testreferenzjahr und für die Messwerte des DWD für die Jahre 2001 und 2003 am Größten (siehe Abbildung 6).

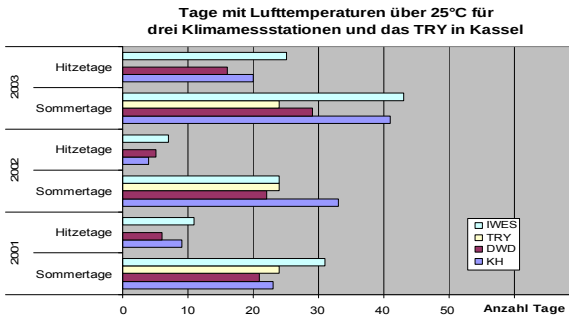

Abbildung 7: Ereignistage über 25°C für Kassel

Im Jahr 2003 nimmt die Anzahl der Ereignistage gegenüber den Vorjahren zu, sowohl die Hitzetage und Sommertage als auch die Zahl der Frosttage steigt an (Abbildung 7).

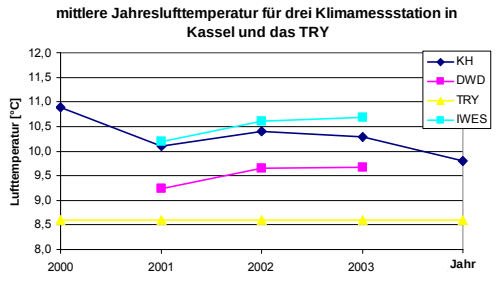

Abbildung 8: Mittlere Jahreslufttemperaturen Kassel

In Abbildung 8 sind die Mittelwerte der Lufttemperatur für die Mess- Stationen dargestellt. In der städtischen Wärmeinsel Kassel beträgt der Temperaturunterschied zwischen der Station des DWD und der des IWES im Jahresmittel 1 K. Das Jahr 2003 ist als „heißes“ Jahr im Gedächnis geblieben, die mittlere Temperatur ist gegenüber den Vorjahren jedoch nicht gestiegen. Aus den Ereignistagen sind allerdings Perioden extremer Hitze und extremer Kälte abzulesen.

Gradtagzahlen

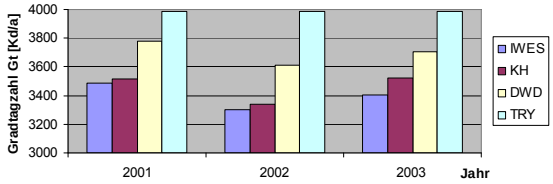

Abbildung 9:Gradtagzahlen Kassel

In der Heizungstechnik wurde die Verwendung der Gradtagzahl (Gt) eingeführt. Für eine definierte Heizgrenztemperatur – hier exemplarisch 15 °C - wird die Gradtagzahl aus der Differenz der Rauminnentemperatur von 20°C und einer Temperatur, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur unter 15°C liegt bestimmt. In Abbildung 9 ist zu erkennen, dass die so ermittelte Gradtagzahl für das TRY 3900 Kd/a beträgt. Die Abweichung zu den gemessenen Daten für die Werte des DWD liegen im Durchschnitt bei 7%, während es für den Standort des KH 12% und für das IWES fast 15% sind.

Globalstrahlung

Die Globalstrahlungwerte (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) liegen im Jahr 2003 um 18 % höher als die Werte der vorangegangenen zwei Jahre. Deutliche Unterschiede sind zwischen den Stadt- und Umlandstationswerten nicht zu erkennen.

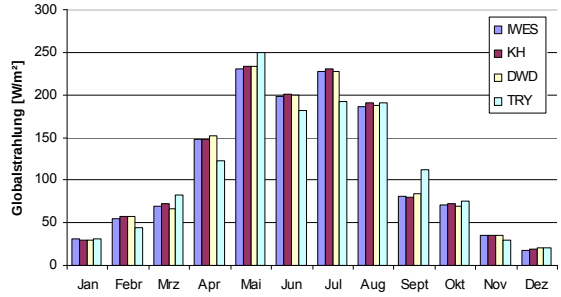

Abbildung 10: Globalstrahlung für das Jahr 2001

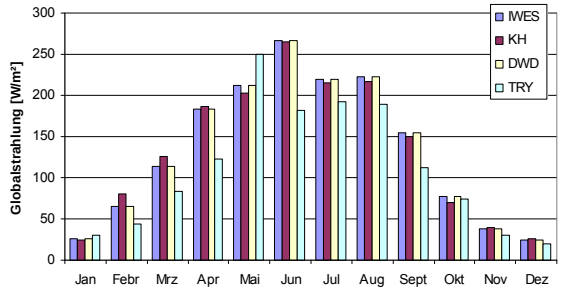

Abbildung 11: Globalstrahlung für das Jahr 2003

SIMULATION

Simulationsobjekt

Die verwendeten Gebäudetypen im Wohngebäudebestand sind die der Baualtersklassen 1919-1948, 1958-1968, 1979-1983 und EnEV-Standard (Neubau).

Tabelle 1: U- Werte der Bauteile in Anlehnung an die hessische Gebäudetypologie [Born et al, 2005]

U- WERTE BAUTEILE [W/(m²K)]	1919-1948	1958-1968	1979-1983	ENEV
Außenwand	1,7	1,23	0,82	0,27
Fußboden	1,47	0,95	0,77	0,3
Decken / obere Geschossdecken	0,8	1,85	0,44	0,2
Innenwände	2,16	1,60	1,6	1,6
Fenster U_W	5,0	2,8	2,8	1,1
Wärmebrücken	0,1	0,1	0,1	0,05

Das Simulationsobjekt ist ein Mehrfamilienhaus (MFH) mit insgesamt vier beheizten Vollgeschossen. Das Gebäude ist Nord- Süd ausgerichtet.

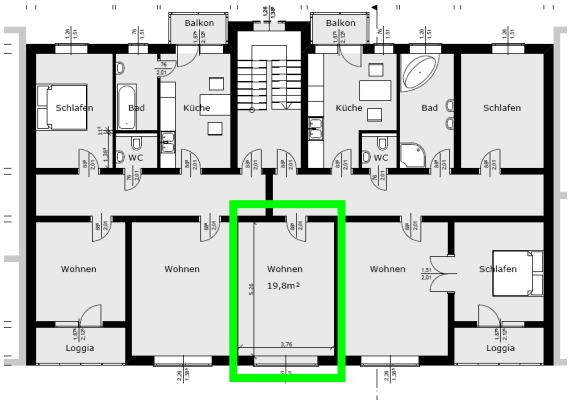

Abbildung 12: Grundriss des MFH mit farbig hervorgehobenem Simulationsraum

Abbildung 13: Südansicht der Häuserzeile

Die Geometrie der Innenmaße des ausgewählten Raumes beträgt 3,76 m x 5,25 m x 2,80 (Raumhöhe). Der Raum liegt im 2. OG. Die Fensteröffnung hat eine Größe von 3,8 m² mit einer Brüstungshöhe von 0,80 m. Bezogen auf die Grundfläche entspricht dies 20 % (V1). In der Variante (V2) des erhöhten Fensterflächenanteils ist die Brüstung auf Fußbodenhöhe abgesenkt, die Fläche des Fensters entspricht dann 30 % bezogen auf die Grundfläche. Das Gebäude befindet sich in innerstädtischer Lage.

In der Simulation wurde eine Verbauung, wie in Abbildung 14 dokumentiert, abgebildet.

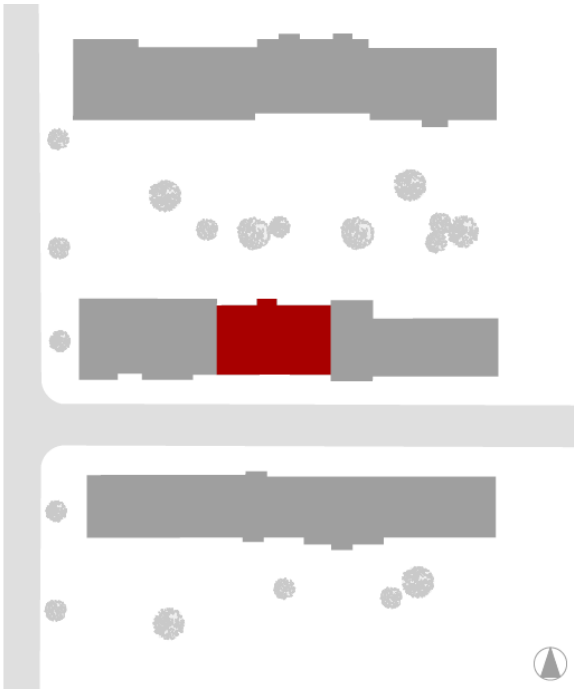

Abbildung 14: Typische städtebauliche Situation eines Mehrfamilienwohnhauses

Randbedingungen und Konditionierung MFH

Die Randbedingungen für die Nutzung wurden aus DIN V 18599-10:2007-2, Tabelle 3 übernommen. Danach beträgt die Raum- Solltemperatur 20°C, die internen Wärmequellen q_I betragen 100 Wh/(m²d) über den Nutzungszeitraum von 24 h/d. Diese internen Wärmequellen im Modulraum stellen sich in der Simulation wie folgt dar: eine Person mit dem Energieumsatz 1 met (108 W) hält sich von 11:00 bis 21:00 h in diesem Raum auf, zusätzlich sind nicht näher spezifizierte Wärmeeinträge von 28 W während der Nutzungszeit von 24h/d vorhanden. Übersteigt die Raumtemperatur 24°C schließt die außenliegende Verschattung.

In den Gebäuden ist keine Lüftungs- bzw. Klimaanlage vorhanden, die Räume werden über freie Fensterlüftung belüftet. Gemäß DIN V 18599-2:2007-2 wird der anzusetzende Luftwechsel und der Infiltrationsluftwechsel bestimmt. Als Maß für die Gebäudedichtheit gilt dabei der n_{50}-Wert.“ [DIN V 18599-2:2007-2] Für die Gebäudestandards werden Werte gemäß Tabelle 2 für die Undichtheiten festgelegt.

Tabelle 2: Bemessungswerte n_{50} für ungeprüfte Gebäude [DIN V 18599-2:2007-2]

GEBÄUDESTANDARD	n_{50}- WERT
1919 – 1948	6
1958 – 1968	6
1979 – 1983	4
EnEV 2009	2

Der mittlere tägliche Infiltrationsluftwechsel berechnet sich mit $e_{wind} = 0{,}07$:

$$n_{inf} = n_{50} \cdot e_{wind} \quad (1)$$

Der mittlere tägliche Fensterluftwechsel berechnet sich:

$$n_{win} = 0{,}1\ h^{-1} + \Delta n_{win} \cdot t_{nutz}\ /24h \quad (2)$$

Die Grundlüftung beträgt 0,1 h^{-1}, zuzüglich eines Luftwechsels Δn_{win} während der Nutzungszeit:

$$\Delta n_{win} = n_{nutz} - (n_{nutz} - 0{,}2\ h^{-1})/\ h^{-1} \cdot n_{inf} - 0{,}1\ h^{-1} \quad (3)$$

Dabei beträgt n_{nutz} gemäß DIN V 18599-10:2007-2 0,5 h^{-1}.

Tabelle 3: Infiltration und Fensterluftwechsel für die verwendeten Gebäudestandards

GEBÄUDE-STANDARD	INFILTRATION [h^{-1}]	FENSTERLUFT-WECHSEL [h^{-1}]
1919- 1948	0,42	0,374
1958- 1968	0,42	0,374
1979- 1984	0,28	0,416
EnEV	0,14	0,458

Für die thermische Gebäudesimulation wurden die Werte aus Tabelle 3 verwendet. Zur Berechnung des Heizwärmebedarfs (Raumtemperatur 20°C) wird ein Radiator gewählt – Verluste aus Speicherung und Verteilung werden nicht betrachtet, die Nachtabsenkung ist von 22:00 bis 6:00 h auf 17°C vorgesehen. Übersteigt die Raumtemperatur 26°C wird der Kühlkältebedarf über Berücksichtigung eines idealen Kühlers (ohne Verluste) bestimmt.

ERGEBNISSE

Heizwärmebedarf

In Abbildung 15 ist der Einfluss des Messortes, des Gebäudestandards und der Fenstergröße auf den Heizwärmebedarf dargestellt. Für das MFH des Standards 1919- 1948 ist der Bedarf für den Standort IWES und KH ähnlich hoch, für den Datensatz DWD beträgt der Unterschied 13 kWh/(m²a) zu den städtischen Messorten. Dieser standortabhängige Anteil wird, wie erwartet, mit Verbesserung des Gebäudedämmstandards geringer, so weist der Unterschied in dem Bedarf für Heizwärme für den EnEV Standard IWES zur DWD- Station 4 kWh/(m²a) auf.

Der Einfluss der Fenstergröße ist in den Ergebnissen der Berechnungen für die Standorte (V1 und V2) höher, als der Standortunterschied. Dieses Ergebnis begründet sich aus der Tatsache, dass der Fensterflächenanteil bezogen auf die Fassadenfläche cirka 80 % beträgt (V2). Beträgt der Unterschied zwischen den Varianten der Fenstergrößen des Gebäudestandards 1919- 1948 noch 16 kWh/(m²a) für die Station des IWES so ist es nur noch eine kWh/(m²a) im EnEV Standard.

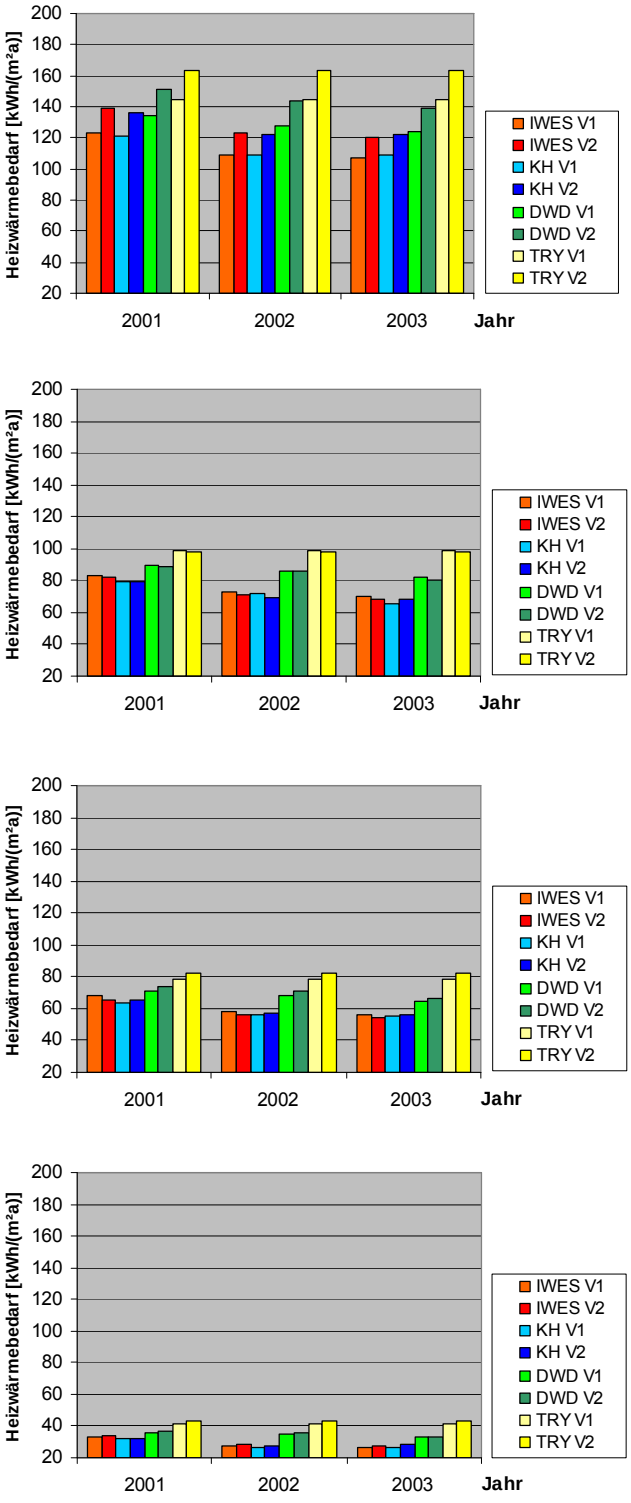

Abbildung 15: Heizwärmebedarf für drei Auswertungsjahre an drei Messorten und TRY. Gebäudestandards von oben nach untern 1919- 1948, 1958- 1968, 1979- 1983, EnEV. V1 entspricht einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 20%, V2 einem Anteil von 30%.

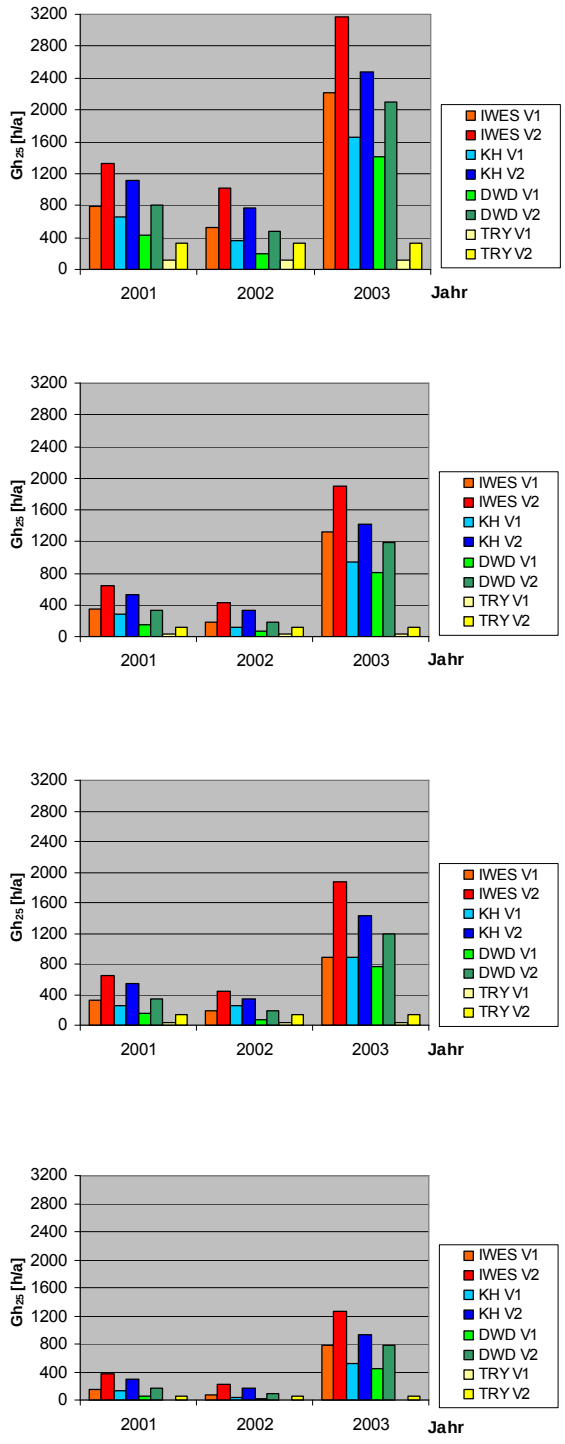

Abbildung 16: Übertemperaturgradstunden für drei Auswertungsjahre an drei Messorten und TRY. Gebäudestandards von oben nach untern 1919-1948, 1958- 1968, 1979- 1983, EnEV. V1 entspricht einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 20%, V2 einem Anteil von 30%.

Übertemperaturgradstunden

Zur Darstellung der Situation im Raum im Sommer wurde die Variante „erhöhte Lüftung“ geschaffen, die Randbedingungen wurden aus DIN 4108-2:2003-07 gewählt. Hiernach wird Deutschland in drei Sommer-Klimaregionen eingeteilt. Kassel liegt in der Sommer- Klimaregion A – sommerkühl, welches einen Grenzwert für die Innentemperatur (bei einem ingenieurmäßigen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes) von 25°C bedeutet.

Weiterhin gilt als Randbedingung für das Berechnungsverfahren eine Luftwechselrate für den Sommer: Überschreitet die Raumtemperatur 23°C, wird die Luftwechselrate auf n = 3 h^{-1} erhöht, außerhalb dieser Zeit wird bei dieser Berechnung eine Luftwechselrate von 0,3 h^{-1} angesetzt. Die Infiltrationsluftvolumenströme sind identisch mit denen der vorhergehenden Berechnungen (siehe Tabelle 3).

Als Maß zur Berechnung dienen die Übertemperaturgradstunden [Hauser, G.; Otto, F.: 1997]. Dabei wird aus einem vorgegebenen Grenzwert und der empfundenen Raumtemperatur (operative Temperatur) die positive Temperaturdifferenz sowie die Wirkungsdauer errechnet. Als Grenzwert wird eine empfundene Raumtemperatur von 25°C festgelegt.

In Abbildung 16 sind die deutlich häufigeren Temperaturüberschreitungen für die gemessenen Datensätze des Standortes IWES für alle Gebäudestandards zu erkennen. Auffällig ist hier die sehr niedrige Zahl für das TRY, auch der verbesserte bauliche Wärmeschutz ist erkennbar.

Die Vergrößerung des Fensters ergibt eine durch alle Simulationsergebnisse erkennbare sehr konstante Differenz zur Variante des kleineren Fensters.

PMV (Predicted mean Vote)

Mit Hilfe des PMV- Indexes lässt sich die Behaglichkeit in einem Raum anhand einer 7-stufigen Beurteilungsskala vorhersagen (Tabelle 4). Die in der Mitte des Raumes befindliche Person ist mit einer Kleidungseinheit bekleidet und ihr Energieumsatz beträgt 1 met während der Aufenthaltszeit (von 11:00 h bis 21:00 h).

Tabelle 4: Sieben Punkte der Klimabewertungsskale [EN ISO 7730]

+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
heiß	warm	etwas warm	neutral	etwas kühl	kühl	kalt

Dargestellt sind in den Abbildungen 17 und 18 Auswertungen des Sommerfalls 2003 für die Standorte DWD und IWES. Demnach ist der Verlauf der Beurteilung des Klimas im Innenraum ähnlich. Allerdings sind die Stunden in denen das Klima als „zu warm“ (> +1) beurteilt wird am Standort IWES um 14 % höher als am Standort DWD bezogen auf die Aufenthaltszeit. Die Anzahl der Stunden in denen mit „heiß“ beurteilt wird ist 5 % höher.

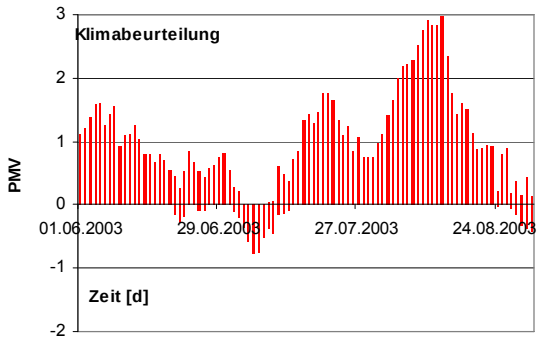

Abbildung 17: PMV MFH 1919- 1948 DWD Sommer 2003 Variante ohne erhöhte Lüftung

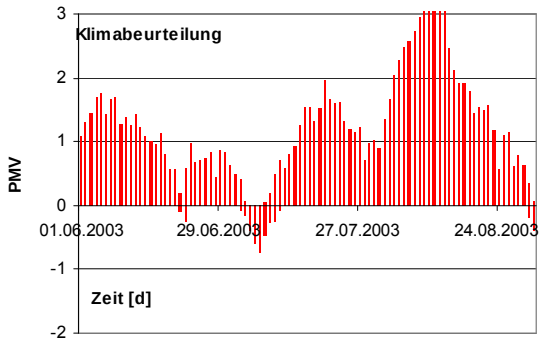

Abbildung 18: PMV MFH 1919- 1948 IWES Sommer 2003 Variante ohne erhöhte Lüftung

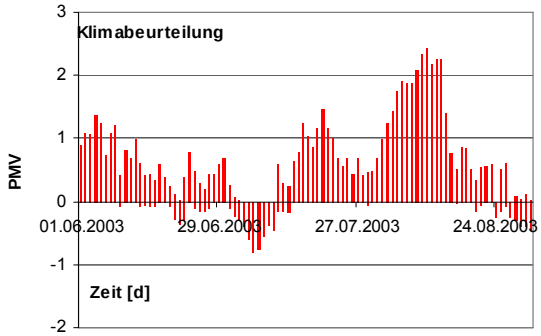

Abbildung 19: PMV MFH 1919- 1948 DWD Sommer 2003 Variante mit erhöhter Lüftung

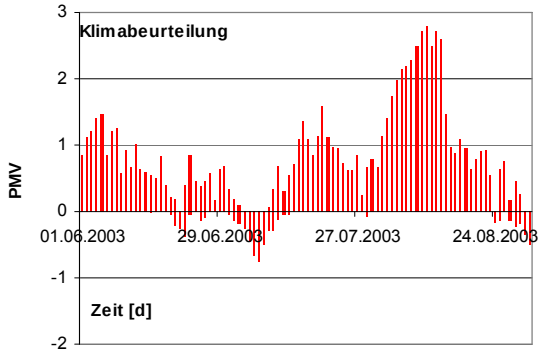

Abbildung 20: PMV MFH 1919- 1948 IWES Sommer 2003 Variante mit erhöhter Lüftung

Wird die beschriebene erhöhte Lüftung für den Raum durchgeführt, verändert sich die Bewertung: Die Stunden während der Aufenthaltszeit, welche über der Bewertung +1 liegen, reduzieren sich um die Hälfte an beiden Standorten.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Gebäudestandort kann einen großen Einfluss auf die Innenraumverhältnisse haben. Dies ist abhängig vom Gebäudestandard und damit Dämmstandard, der Fenstergröße und dem nutzerabhängigen Lüftungsverhalten. Bedeutsam sind daneben die Außenklimabedingungen, das standortspezifische Klima, welches durch die Klimafunktionskarte dargestellt werden kann.

Mittels dynamischer Gebäudesimulationsberechnungen wurde die thermische Auswirkung gemessener klimatischer Verhältnisse über einen Zeitraum von drei Jahren und des Testreferenzjahres für einen Einzelraum eines Mehrfamilienwohnhauses für drei Standorte in Kassel untersucht.

Die Ergebnisse wurden für die den Heizwärmebedarf, die Übertemperaturgradstunden und die Behaglichkeit mittels PMV- Index ausgewertet und dargestellt.

Weitere Untersuchungen beinhalten Berechnungen zum Kühlkältebedarf, weitere Varianten von Klimarandbedingungen und Sonnenschutz, andere Gebäudegeometrien und -nutzungen.

DANKSAGUNG

Unser Dank gilt den Mitarbeitern des Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in Kassel für die Bereitstellung der Messdaten.

LITERATUR

Born R. et al. 2005 : Hessische Gebäudetypologie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen. IWU, 2005, Darmstadt.

Christoffer et al. 2004 : Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima und Umweltberatung, Offenbach a. Main, 2004.

DIN V 18599: 2007-02 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin: Beuth- Verlag, 2007.

DIN 4108-2: 2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin: Beuth- Verlag, 2003.

DIN EN ISO 7730:2006-05 Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD- Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Berlin: Beuth-Verlag, 2006.

WMO, World Meteorological Organization, 1981.

Hauser, G. und Otto, F.: Auswirkungen eines erhöhten Wärmeschutzes auf die Behaglichkeit im Sommer. Bauphysik 19 (1997), H. 6 , S. 169 - 176; 21.