

Erweiterung des Hitzewarnsystems um die Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen

Als eine Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel und als direkte Konsequenz aus dem Hitzesommer 2003 wurde in Deutschland ein Hitzewarnsystem (Heat Health Warning System HHWS) aufgebaut. Eine prinzipielle Einschränkung des beim Deutschen Wetterdienst eingesetzten Systems bestand darin, dass nur Aussagen über die Verhältnisse im Freien gemacht werden konnten. Die häufig sehr stark abweichende Innenraumsituation wurde nicht berücksichtigt. Dazu wurde das bestehende Hitzewarnverfahren um ein thermisches Gebäudesimulationsmodell erweitert. Es erlaubt eine Abschätzung der Wärmebelastung in Innenräumen in Abhängigkeit von den vorhergesagten meteorologischen Außenbedingungen. Obwohl sich das Vorhersagemodell aus Praktikabilitätsgründen auf einen „ungünstigen Fall“ beschränkt, liefern die Belastungswerte eine bedeutende Information. Das Verfahren wurde im Sommer 2007 im Parallelbetrieb eingesetzt und machte den Zusatznutzen deutlich.

Extending the existing heat/health warning system with indoor heat load predictions. *A heat/health warning system (HHWS) was established in Germany as a climate change adaptation measure and as a direct consequence of the heat wave in 2003. The system used by the German weather service currently only provides information about outdoor conditions, i. e. no data on indoor climate – which may differ significantly from ambient conditions – are provided. This article describes an extension of the existing heat/health warning system based on a thermal building simulation model. It enables internal heat loads to be estimated based on predicted meteorological conditions. While the prediction model is limited to a worst-case scenario for practicability reasons, the information derived from the load values can nevertheless be very useful. The technique was used during summer 2007 in parallel with the conventional system, illustrating the added value.*

1 Einführung

Die Hitzewelle 2003 mit mehr als 50.000 Toten in Westeuropa zeigte deutlich die Gefahr, die von einer lang andauernden Wärmebelastung ausgehen kann. Dies gilt insbesondere für ältere und pflegebedürftige Menschen, aber auch für Kleinkinder. Die Erfahrungen führten in einer Reihe von europäischen Ländern zum Aufbau von Hitzewarnsystemen. Untermauert wurden diese Bemühungen durch die derzeit vorliegenden Studien zur Klimaentwicklung [1], welche auf eine Zunahme von heißen Tagen und Hitzewellen hindeuten.

Bereits 2006 konnten viele der in Europa eingeführten Hitzewarnverfahren ihre Bewährungsprobe ablegen. Das in Deutschland eingeführte Hitzewarnsystem [2] versorgte bereits mehrere tausend Alten- und Pflegeheime. Darüber hinaus wurden alle Warnungen im Internet dargestellt.

Das zu dieser Zeit beim Deutschen Wetterdienst (DWD) eingesetzte Hitzewarnsystem machte allerdings nur Aussagen über die Verhältnisse im Freien. Zur Bestimmung der Wärmebelastung wurde dabei die Größe der „gefühlten Temperatur“ eingesetzt. Die Berechnung der gefühlten Temperatur erfolgt beim DWD über ein Wärmehaushaltsmodell für den menschlichen Organismus, welches die wesentlichen thermophysiologisch relevanten Mechanismen des Wärmeaustausches mit der Atmosphäre berücksichtigt, siehe [3] oder [4]. Dem Umstand, dass ein Großteil der betroffenen Personen sich in Räumen aufhält, konnte nicht oder zumindest nur ungenügend Rechnung getragen werden. Die Berücksichtigung von Innenraumsituationen in Hitzewarnsystemen ist daher von großer praktischer Bedeutung, siehe auch [5].

Die Abweichungen der Innenraumsituation von den Außenbedingungen sind ganz wesentlich bestimmt durch die Gebäudesubstanz und die Nutzungsbedingungen. Das bestehende Hitzewarnsystem wurde daher um ein thermisches Gebäudesimulationsmodell erweitert, welches das Raumklima (insbesondere Lufttemperatur, Oberflächentemperaturen, Luftwechsel und relative Luftfeuchtigkeit) in Abhängigkeit von den meteorologischen Außenbedingungen der vergangenen 362 Tage und der Vorhersage für die nächsten 3 Tage (Jahressimulation für 365 Tage mit fortlaufender Speicherung der Messwerte) berechnet. Die Wärmebelastung wird sowohl durch die operative Raumtemperatur (hier: arithmetischer Mittelwert von Lufttemperatur und Strahlungstemperatur als flächengemittelter Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen) als auch in Kombination mit dem Aktivitätsniveau [met] und dem Bekleidungsgrad [clo] durch das vorhergesagte mittlere Votum PMV (Predicted Mean Vote: Summengröße zur Beschreibung des thermischen Komforts bzw. der physiologischen Wärmebelastung) ausgedrückt.

2 Methodik

Nach der folgenden Methodik (Bild 1) wurde zunächst ein geeignetes Simulationsmodell auf Basis einer Gebäudetypologie und von Messungen entwickelt: Die Analyse von



Bild 1. Methodik für die Entwicklung eines robusten Hitzewarnsystems für Innenräume

Fig. 1. Methodology for the development of a robust heat/health warning system for internal spaces

Wetterdaten dient dazu, einerseits kritische Randbedingungen zu identifizieren und die Simulation zu trainieren. Die Sensitivitätsanalyse und der Test mit historischen Wetterdaten weist die Robustheit des Simulationsmodells nach. Das Simulationsmodell wurde im Sommer 2007 als Vorhersagemodell getestet und soll ab Sommer 2008 im Normalbetrieb genutzt werden.

2.1 Gebäudetypologie

Der deutsche Gebäudebestand zeigt ein äußerst heterogenes Bild. In Form einer Gebäudetypologie werden Merk-

male typischer Gebäude zusammengefasst, siehe [6], [7]. Ebenso weist das Nutzerverhalten der Bewohner erhebliche Variationsmöglichkeiten auf, z. B. [8]. Die Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetyp ergibt daher sehr verschiedene Wärmebelastungssituationen, die während einer Hitzewelle in Innenräumen auftreten.

Ein operationelles Hitzewarnsystem erfordert jedoch aus Gründen der Praktikabilität eine starke Verdichtung der Information. Diese ist nur über bestimmte Annahmen und Wichtungen bzgl. der Raumsituation und des Nutzerverhaltens zu erreichen. Da das Hitzewarnsystem des DWD in der praktischen Anwendung weniger auf eine genaue Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen (vgl. www.unwetter.de/innenraum), sondern vielmehr auf eine Warnung vor kritischen Situationen abzielt, soll das Vorhersagemodell eine ungünstige Wohnsituation abbilden.

Es ist leicht, einen extrem ungünstigen Modellfall zu definieren. So wäre beispielsweise eine kleine Glaspyramide ohne die Möglichkeit zu lüften und ohne Sonnenschutzmaßnahmen ein sehr ungünstiger Fall. Dieser Fall hätte aber nichts mit echten Szenarien zu tun. Die Herausforderung besteht also darin, ein in Bezug auf sommerliche Wetterlagen realistisches Szenario zu entwickeln, das einem ungünstigen Fall entspricht.

In innerstädtischen Geschossmietshäusern ist mit den größten Problemen hinsichtlich der sommerlichen Überhitzung zu rechnen, da hier kaum Ausweichmöglichkeiten und nur eingeschränkte Eingriffsmöglichkeiten (z. B. keine Möglichkeit zur Querlüftung oder nur innen liegende Gardinen anstatt einer außenliegenden Jalousie als Sonnenschutz) bestehen. Innerhalb der Gebäudekategorie „Geschossmietshaus“ soll wiederum der kritischste Gebäudetyp ausgewählt werden. Hierzu werden zunächst typische, in Frage kommende Gebäude aus verschiedenen Baualtersstufen mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation für den Sommerfall bewertet, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1. Gebäudetypologie; einige Kenngrößen; die Gebäude werden über die Baualtersstufe nach [6] bzw. [7] typologisiert
Table 1. Building typology (selected parameters); the buildings were typologised based on their age according to [6] and [7]

	Außenwand [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Außenfenster [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Oberste Geschossdecke/ Dach [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Zimmergröße [m^2_{WF}]	Raumhöhe [m]	Fensterflächenanteil [$\text{m}^2_{\text{AF}}/\text{m}^2_{\text{WF}}$]	Sonneneintrags- kennwert g [-]	Bauteilaufbau nach Quelle
Jahrhundertwende	0,9	2,5	1,0	30	4	0,15	0,72	[6]
1920er	1,1	2,5	1,4	18	2,9	0,10	0,72	[6]
1950er	1,3	5,2	3,0	21	2,75	0,11	0,80	[6]
1960er Flachdach	1,4	5,2	0,9	15	2,5	0,12	0,80	[6]
1970er Flachdach	0,6	2,8	0,6	12	2,5	0,13	0,76	[6]
1980er Flachdach	0,7	2,6	0,3	16	2,7	0,12	0,76	[7]
1990er Flachdach	0,3	1,6	0,2	16	2,7	0,12	0,63	[7]
Passivhaus	0,15	0,8	0,15	16	2,7	0,16	0,50	[7]

Um einen möglichst genauen Vergleich zwischen den Gebäuden zu ermöglichen, werden verschiedene Randbedingungen festgelegt:

- Es wird bei den Simulationen nur ein Raum mit einem Fenster im obersten Geschoss (OG bzw. DG) des jeweiligen Gebäudes betrachtet. Der Raum wird für Süd-, Ost- und Westorientierung bewertet.
- Es werden unterschiedliche Luftwechsel angenommen, um die Undichtigkeit und das Lüftungsverhalten überschlägig bewerten zu können: 0,5-facher Luftwechsel konstant, physikalisches Netz-Knoten-Modell zur Berechnung des interzonalen Luftwechsels und 1,5-facher Luftwechsel konstant.
- Bei Häusern mit Dachkonstruktion ist das Dach unbewohnt, und die Luftwechselrate im Dach n_{Dach} beträgt 3 h^{-1} .
- Innenwände und Fußboden sind adiabat. Die Wärme im Raum kann also nur über die Außenwand, das Fenster und den Dachboden bzw. das Dach abgegeben werden.
- Der Raum ist 24 Stunden durch eine Person belegt. Damit soll der kritischen Situation „hilfsbedürftige Person, allein in der Wohnung“ Rechnung getragen werden.

Für jeweils einen Raum in den Typgebäuden werden mit dem Gebäudesimulationsprogramm ESP-r [9] die zu erwartenden operativen Raumtemperaturen für den Sommer berechnet [10]. Als Wetterdatensatz wird das Testreferenzjahr TRY 12 (Oberrheingraben, Referenzstation Mannheim) für warmes Sommerklima verwendet.

Die höchsten operativen Raumtemperaturen stellen sich für die nach Westen ausgerichteten Räume in den Plattenbauten der 1970er Jahre und in den Gebäuden aus den 1980er und 1990er Jahren ein. Bild 2 zeigt die maximale Raumtemperatur im Süd- und im Westraum jeweils für die beiden Simulationsdurchgänge mit konstantem Luftwechsel von 0,5 bzw. $1,5 \text{ h}^{-1}$. Erwartungsgemäß liegen die Raumtemperaturen in den schweren Gebäuden aus der Jahrhundertwende und in Passivhäusern mit hohem Baustandard am niedrigsten.

Ab 1970 sind die Gebäude (besser) wärmegeklämt, haben aber wegen der relativ kleinen Räume einen verhältnismäßig niedrigen absoluten Luftwechsel. Darüber hinaus sind die Fensterflächenanteile $A_{\text{AF}}/A_{\text{WF}}$ bewertet mit den Sonneneintragswerten g verhältnismäßig groß im Vergleich zu anderen Baualterstufen. Das bedeutet bei weitgehend fehlendem bzw. ungenügendem Sonnenschutz eine höhere Wärmebelastung und folglich höhere Raumtemperaturen. Damit geht außerdem einher, dass die Gebäude verhältnismäßig schnell auf Änderungen reagieren (hohe dynamische Wärmelasten) und die Lüftung beim Abtransport der Wärme aus dem Gebäude eine entsprechend größere Rolle spielt (geringere Transmissionswärmeverluste). Damit hat das Nutzerverhalten in dieser Gebäudeklasse einen hohen Einfluss auf die Raumtemperatur.

Aus diesen Gründen werden die Plattenbauten der 1970er Jahre als der kritischste Gebäudetyp mit den höchsten zu erwartenden Raumtemperaturen im Sommer ausgewählt. Das Nutzerverhalten wird auf Basis

- der Erfahrungen aus den Simulationsstudien [11] und
- der Analyse kritischer Situationen (problematische Räume und hilflose Bewohner) während der Hitzewelle im Sommer 2003 im Rahmen des cCASH-Projektes [12]

durch zwei Nutzertypen beschrieben, den „passiven Nutzer“ und den „aktiven Nutzer“, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2. Nutzerverhalten
Table 2. User behaviour

	Kurzbeschreibung	Sonnenschutz	Luftwechsel
passiver Nutzer	pflegebedürftige Personen, keine Reaktion auf Innen- oder Außenbedingungen	kein Sonnenschutz	Fenster geschlossen, Luftwechsel $0,5 \text{ h}^{-1}$
aktiver Nutzer	normales Nutzerverhalten mit einfacher Reaktion auf Wärmebelastung	Gardine zugezogen, $FC = 0,8$	Fenster geöffnet, Luftwechsel $1,5 \text{ h}^{-1}$

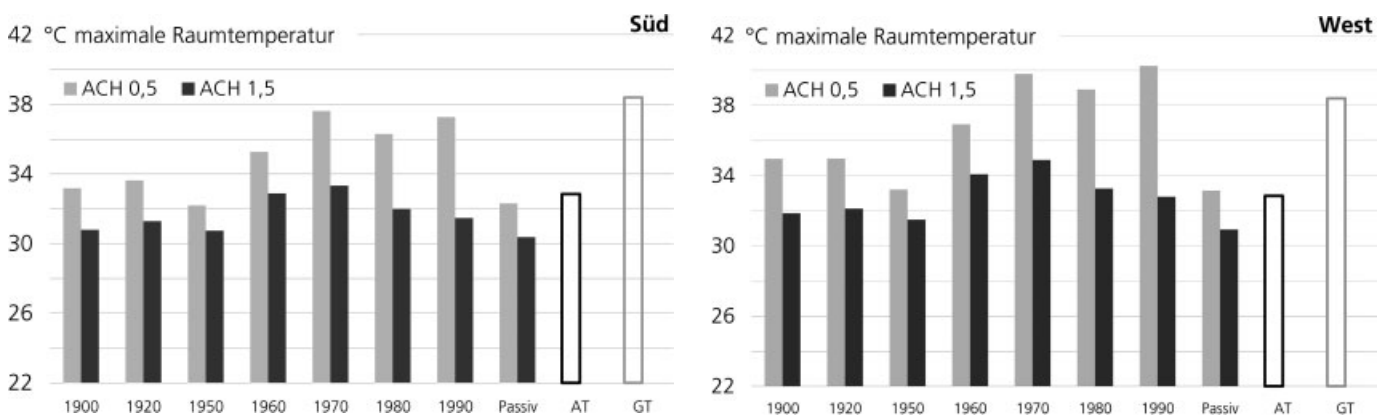


Bild 2. Maximale operative Raumtemperatur im Sommer für die verschiedenen Baualterstufen und Orientierungen Süd und West, für zwei mittlere Luftwechsel und ohne Berücksichtigung eines Sonnenschutzes; zum Vergleich werden auch die maximale Außentemperatur ($32,9 \text{ °C}$) und die maximale gefühlte Temperatur ($38,4 \text{ °C}$) aus dem Testreferenzjahr TRY 12 dargestellt

Fig. 2. Maximum operative room temperature in summer for building components from different eras and south/west orientation for two different air change rates, without taking into account sun control. For comparison the maximum ambient temperature ($32,9 \text{ °C}$) and the maximum sensible temperature ($38,4 \text{ °C}$) from test reference year TRY 12 is also shown

2.2 Messkampagne

Während detaillierte Messdaten aus Forschungsprojekten für energieeffiziente Gebäude als Beispiel vorbildlichen Bauens vorliegen, fehlen vergleichbare, aussagekräftige Messungen in typischen Gebäuden.

Da die größten Gefahren in Städten (Wärmeinsel), in Gebäuden mit schlechtem Baustandard (starke Erwärmung), in Mietwohnungen (fehlende Ausweichmöglichkeiten) und für hilfsbedürftige Personen (keine Gegenmaßnahmen) bestehen, soll das Simulationsmodell für ein vergleichbares Gebäude in Freiburg (Klimaregion C „sommerwarm“ nach DIN 4108-2 geprüft werden, Bild 3.

In diesem Gebäude wurden in 2 Wohnungen jeweils operative Raumtemperaturen, Lufttemperaturen und ausgewählte Oberflächentemperaturen gemessen. Am Gebäude und im Gebäudeumfeld wurden Temperaturen erfasst, um den Effekt des Mikroklimas abschätzen zu können. Das „ungestörte Wetter“ (Außentemperatur, Global- und Direktstrahlung, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Luftfeuchtigkeit) wurde von einer Wetterstation im Stadtgebiet Freiburg (Laborgebäude des Fraunhofer ISE, ca. 3 km Luftlinie) übernommen.

Die Messungen in Bild 4 zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen diesen beiden Wohnungen im gleichen Gebäude. Die niedrigere mittlere Raumtemperatur (24,5 statt 27,9 °C bei einer mittleren Außentemperatur von 22,5 °C) und die kleinere Temperaturschwankung (2 statt bis zu 13 K bei einer typischen Schwankung der Außentemperatur von rund 10 K) in der Wohnung im Obergeschoss sind auf bauphysikalisch-konstruktive Unterschiede (leichte/schwere Bauweise, höhere Solargewinne unter dem Dach) und das Nutzerverhalten (geschlossene Gardinen am Tag und Nachtlüftung in der Wohnung im Obergeschoss) zurückzuführen. Im Messzeitraum übersteigt die operative Raumtemperatur im Dachgeschoss mehrfach den Warnwert von 32 °C, während die Raumtemperaturen im Obergeschoss nur selten 26 °C erreichen.

Das Simulationsmodell wurde für die Dachgeschoss-Wohnung für den Zeitraum vom 19. Juni bis zum 3. Juli 2006 validiert. Neben der operativen Raumtemperatur, siehe Bild 5, wurden Temperaturmessungen an der Fassade, an

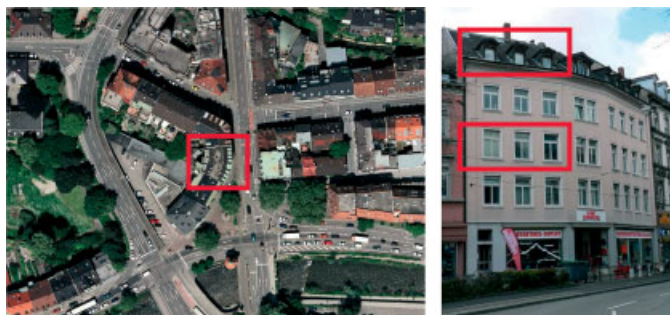


Bild 3. Typisches Gebäude in Freiburg (Innenstadt); markiert ist die Lage des Gebäudes (links) und der Wohnungen in Ober- und Dachgeschoss (rechts), in denen die Messkampagne durchgeführt wurde

Fig. 3. Typical building in Freiburg (town centre), with indication of the building location (left) and the upper and top floor apartments (right) in which the measurements were carried out

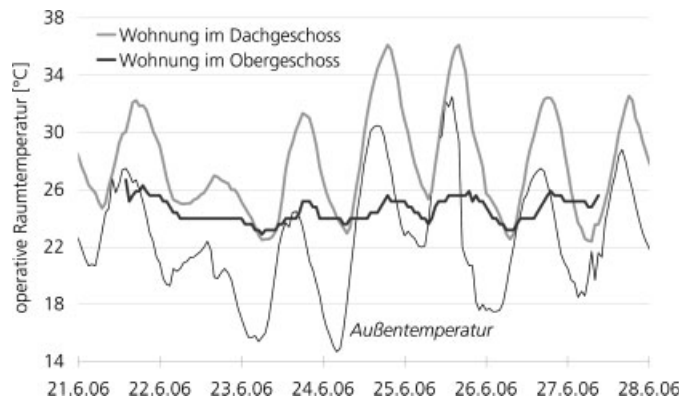


Bild 4. Messungen in zwei Wohnungen; Wohnung im Dachgeschoss mit „passivem Nutzer“ (hier: Experimentalwohnung ohne Nutzereingriff) und Wohnung im Obergeschoss mit „aktivem Nutzer“ (hier: Haushalt einer jungen Familie); Mittelwert aus jeweils mehreren Messpunkten
Fig. 4. Measurements in two apartments: top floor with „passive user“ (here: test apartment without user intervention) and upper floor with „active user“ (here: young family). The mean values from several measuring points are shown

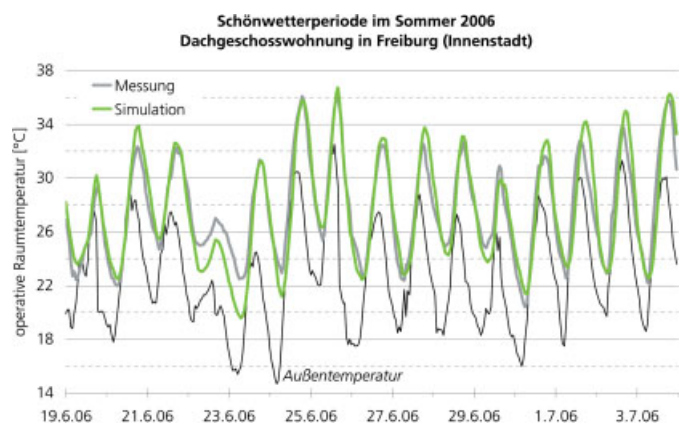


Bild 5. Messung und Simulation der Raumtemperatur in einer Experimentalwohnung
Fig. 5. Measurement and simulation of the room temperature in a test apartment

Innenoberflächen und der Luft in den Räumen zur Modellvalidierung herangezogen.

Die Simulationsergebnisse zeigen deutlich, dass das Modell das thermische Raumverhalten in der Dachgeschoss-Wohnung gut abbilden kann.

2.3 Gebäude- und Nutzermodell für die Vorhersage

Die beiden Gebäudemodelle „1970“ (Abschnitt 2.1) und „Dachgeschoss“ (Abschnitt 2.2) werden zu einem „operationellen Standardgebäude“ für das Hitzewarnsystem zusammengefasst, siehe Bild 6. Damit wird die Wärmebelastung in Gebäuden mit ungenügendem sommerlichen Wärmeschutz und für die besondere Situation in Dachgeschosswohnungen, also typische Wohnsituationen in deutschen Innenstädten, vorhergesagt. Da in den nach Osten bzw. Westen orientierten Räumen während der Sommermonate höhere Raumtemperaturen erreicht werden als in den Südräumen, wird das Vorhersagemodell nur für diese Ost-West-Orientierung angewendet.

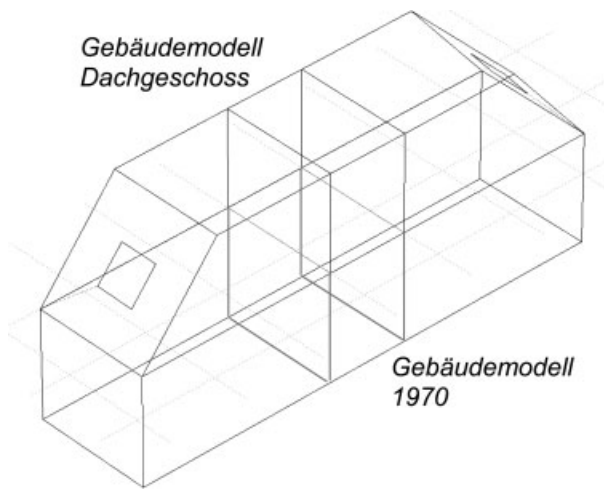


Bild 6. Simulationsmodell für das „operationelle Standardgebäude“; die beiden Gebäudemodelle werden zu einem Simulationsmodell zusammengefasst, um den Aufwand für die Simulation gering zu halten

Fig. 6. Simulation model for the „operational standard building“. The two building models were consolidated into a single simulation model in order to reduce the simulation effort

Das Simulationsmodell für die Vorhersage wird mit zwei Nutzermodellen kombiniert, dem „passiven Nutzer“ und dem „aktiven Nutzer“. Die Simulation stellt zunächst eine Zeitreihe zur Verfügung. Damit werden die in Tabelle 3 beschriebenen Werte bestimmt.

Tabelle 3. Ergebnisse aus dem Vorhersagemodell
Table 3. Results from the prediction model

	passiver Nutzer	aktiver Nutzer
Gebäudemodell 1970	operative Raumtemperatur und Predicted Mean Vote PMV im Raum Ost und West	operative Raumtemperatur und Predicted Mean Vote PMV im Raum Ost und West
Gebäudemodell Dachgeschoss	operative Raumtemperatur und Predicted Mean Vote PMV im Raum Ost und West	operative Raumtemperatur und Predicted Mean Vote PMV im Raum Ost und West
	Warnung bei Überschreiten eines festgelegten Maximalwertes getrennt für die beiden Gebäudemodelle	Hinweis zu Sofortmaßnahmen getrennt für die beiden Gebäudemodelle

Mit der vorgestellten Methode sind Wärmebelastungsvorhersagen – ausgedrückt durch die operative Innenraumtemperatur und die Summengröße PMV – in Abhängigkeit von den meteorologischen Außenbedingungen auch unter Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse eines operationellen Hitzewarnsystems möglich.

Die Bereitstellung von Belastungswerten in den Innenräumen unter Berücksichtigung eines geeigneten Nutzereingriffes mit den zur Verfügung stehenden, einfachen bzw. eingeschränkten Möglichkeiten zeigt, ob und wie Sofortmaßnahmen wirken.

2.4 Test im Mai 2007

Das Vorhersagemodell wurde in einen automatisierten Algorithmus integriert und im Mai 2007 mit der Wettervorhersage für Freiburg getestet. Dazu wurde der Wetterdatensatz – wie in Bild 7 skizziert – täglich erneuert:

Bild 8 zeigt beispielhaft die Simulationsergebnisse vom Simulationslauf am 27. 5. 2007 um 06:00 Uhr. Die Simulation lief also mit Messdaten aus der Wetterstation bis zum 26. 5. 2007, 23:00 Uhr und mit der Wettervorhersage ab dem 27. 5. 2007, 00:00 Uhr bis zum 29. 5. 2007, 23:00 Uhr. Damit werden die Raumtemperaturen für den 27. („heute“), den 28. („morgen“) und den 29. 5. 2007 („übermorgen“) vorhergesagt. Allein durch ein sinnvolles Nutzerverhalten kann – trotz der eingeschränkten Möglichkeiten in typischen Mietshäusern – die maximale Raumtemperatur um 4 K reduziert werden.

Bild 9 zeigt die Wärmebelastung außen (gefühlte Temperatur) im Vergleich zur Wärmebelastung im „operationellen Standardgebäude“ (operative Raumtemperaturen für den Fall „passiver Nutzer“). Dieses Beispiel verdeutlicht, dass in typischen städtischen Wohnsituationen die Wärmebelastung innen fast immer höher ist als außen. Besonders kritisch ist die Situation in Dachgeschosswohnungen mit schlechtem Baustandard und ungenügendem sommerlichen Wärmeschutz.

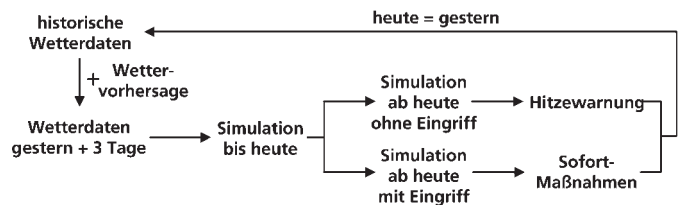


Bild 7. Algorithmus des Hitzewarnsystems für Innenräume
Fig. 7. Heat/health warning system algorithm for internal spaces

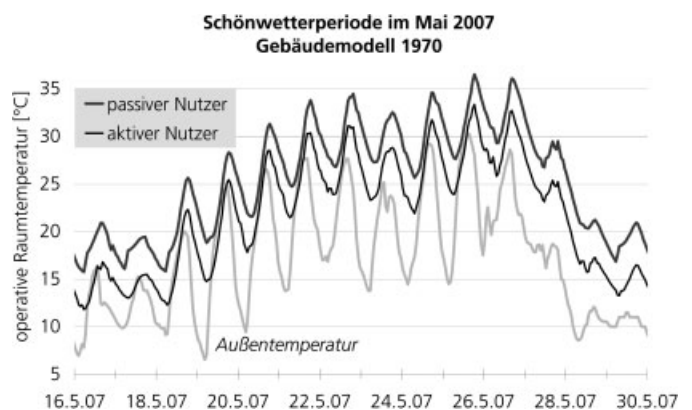


Bild 8. Beispiel Gebäudemodell „1970“ mit passivem/aktivem Nutzer; Simulation mit Messdaten (bis einschließlich 26. 5. 2007) bzw. Vorhersagedaten (für den Zeitraum 27. bis 29. 5. 2007)

Fig. 8. Example: „1970“ building model with passive/active user. Simulation with measured data (up to 26 May 2007) and predicted data (for the period 27 to 29 May 2007)

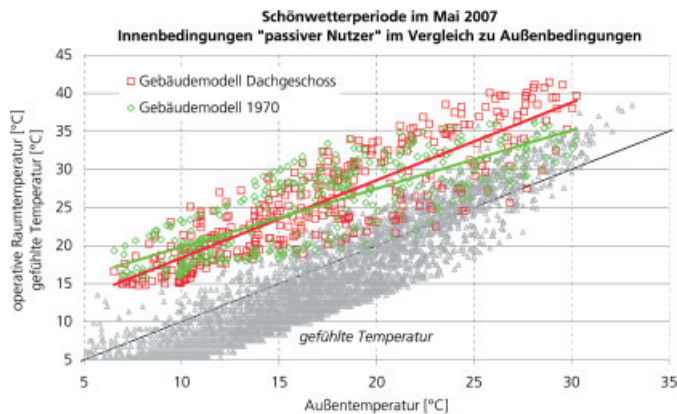


Bild 9. Vergleich zwischen Innen- und Außenbedingungen am Beispiel der beiden Musterwohnungen für den kritischen Fall „passiver Nutzer“

Fig. 9. Comparison of internal and external conditions, based on the sample apartments for the critical „passive user“ case

3 Fallstudie im Sommer 2007

Das erweiterte Verfahren mit den Parametern gefühlte Temperatur (Außenbereich) und operative Raumtemperatur (Innenbereich) wurde im Sommer 2007 getestet. In Anlehnung an das Hitzewarnsystem wurden die Warngrenzen wie folgt festgelegt:

- keine Belastung: operative Raumtemperatur kleiner als 32 °C,
- starke Belastung: operative Raumtemperatur größer als 32 aber kleiner als 38 °C,
- extreme Belastung: operative Raumtemperatur größer als 38 °C.

Das Jahr 2007 zeigte nur wenige relativ kurze Hitzeperioden. Dennoch kann für den Zeitraum 15. 07. 2007 bis 17. 07. 2007 der Zusatznutzen des Vorhersagemodells beispielhaft

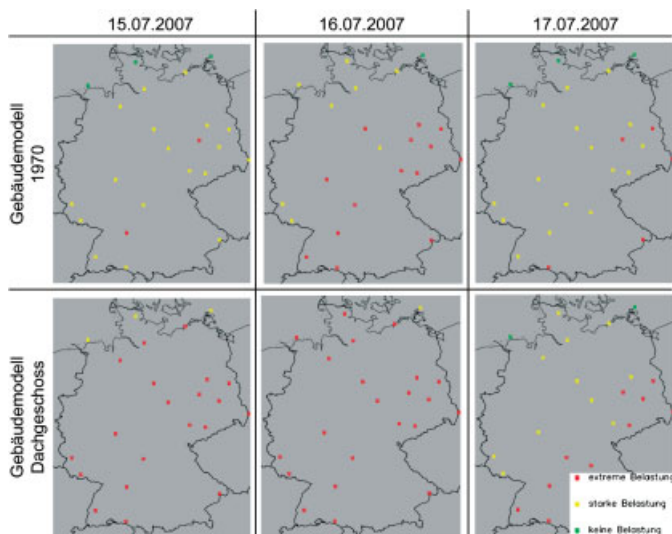


Bild 10. Belastungswerte für die beiden Gebäudemodelle (Typ 1970 und Dachgeschoss) im operationellen Standardgebäude für den Zeitraum vom 15. bis 17. 07. 2007

Fig. 10. Load values for the two building models (1970 type and top floor) based on the operational standard building for the period 15 to 17 July 2007

deutlich gemacht werden. Am 15. 07. 2007 wurden die Schwellenwerte für eine Warnung im Außenbereich für den größten Teil Deutschlands überschritten. Ausgenommen hiervon war nur der Nordseeküstenbereich.

Bild 10 zeigt die berechneten höchsten Belastungswerte (im Ost- oder Westraum) für die beiden Gebäudemodelle im „operationellen Standardgebäude“ im Testlauf nach Bild C für ausgewählte Wetterstationen:

- Das Dachgeschoss reagierte rasch auf den Außentemperaturanstieg und erreichte bereits am 15. 07. 2007 Temperaturwerte, die eine extreme Belastung für die Bewohner in weiten Teilen Deutschlands darstellten. Die Innenraumtemperatur im „Gebäudemodell 1970“ lag erheblich darunter.
- Erst am Folgetag erreichten die operativen Raumtemperaturen auch in diesem Gebäudetyp im größten Teil Deutschlands extreme Werte. Günstiger waren die Bedingungen nur im Nordwesten Deutschlands.
- Gezielte Nutzerhilfen waren somit für beide Tage mit Hilfe des Nutzermodells „aktiver Nutzer“ ableitbar.
- Bereits am 17. 07. 2007 ging die kurze Hitzeperiode wieder zu Ende. Für den Dachgeschossraum waren im Südosten und Süden noch extreme Bedingungen gegeben. Dagegen wurden für den Raum Typ 1970 nur noch starke Belastungswerte berechnet.
- Im Laufe des 18. 07. 2007 reduzierte sich die Belastung noch weiter.

4 Fazit und Ausblick

Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes wurde um ein Gebäudesimulationsmodell erweitert. Das hierfür verwendete Modell kann die Wärmebelastung in Gebäuden in Abhängigkeit von den meteorologischen Größen (Messwerte und Wettervorhersage) berechnen.

Aus Praktikabilitätsgründen wurde mit Hilfe der Aufstellung und Bewertung einer Gebäudetypologie sowie einer Messkampagne in einer Dachgeschoss-Wohnung ein „operationelles Standardgebäude“ definiert, welches bzgl. der Gebäudesituation in sommerlichen Lagen die Betrachtung eines ungünstigen Falls erlaubt. Unter Berücksichtigung von 2 Nutzermodellen kann einerseits eine kritische Situation (hier: passive, hilfsbedürftige Person) dargestellt werden. Andererseits können auf Basis der Simulationsergebnisse mit einem zweiten Modell (hier: aktive Person, Verschattung mit Gardine und wirksame Lüftung in der Nacht) gezielte und nachvollziehbare Nutzerhinweise für Bewohner in Gebäuden gegeben werden.

Nach der erfolgreich verlaufenen Testphase im Sommer 2007 soll das Verfahren im Sommer 2008 in Verbindung mit der 3-Tage-Wettervorhersage im operationellen Hitzewarnsystem eingesetzt werden. Es stellt damit eine bedeutende Ergänzung für das bislang bestehende Hitzewarnsystem dar.

Potentielle Erweiterungen des bestehenden Systems bestehen vor allem in der Personalisierung des Verfahrens. Damit können geeignete Sofortmaßnahmen berücksichtigt werden. Neben den Nutzereingriffen „gezielte Lüftung“ und „Verschattung“ können damit auch pflegerische Maßnahmen bewertet werden: Wird die Summengröße PMV herangezogen, kann im Fall „passiver Nutzer“ eine hilfsbedürftige Person im Bett unter einer Bettdecke als die kri-

tischste Situation bewertet werden. Im Fall „aktiver Nutzer“ wird die Maßnahme „Pflegedienst bedeckt die Person mit einem leichten Laken statt mit einer Bettdecke“ dann zusätzlich in einem entsprechend angepassten PMV-Modell berücksichtigt. In Verbindung mit den bekannten (Sofort-)Maßnahmen steht z. B. den Pflegedienst damit ein leistungsfähiges Hilfsmittel zur Verfügung, um Gefahrensituationen zu erkennen und zu beherrschen.

Danksagung

Das Hitzewarnsystem ist ein komplexes System und konnte nur mit Unterstützung mehrerer Personen erweitert werden. Die Autoren möchten daher Dipl.-Ing. *Katrin Fögele* und Dipl.-Inf. *Christian Reetz*, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), sowie *Frank Bendisch*, Dipl.-Met. *Angelika Grätz*, Dr. *Christina Koppe* und Dr. *Klaus Bucher*, Deutscher Wetterdienst, für die Beiträge zum System selbst und für die Implementierung danken.

Literatur

- [1] *Stott, P. A., Stone, D., Stone, A., Allen, M. R.*: Human contribution to the European Heatwave of 2003. *NATURE* Vol. 432, 2004.
- [2] *Becker, P.*: Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes: Notfallvorsorge. *Zeitschrift für Katastrophenmanagement und Humanitäre Hilfe*, 2005, 22–23.
- [3] Deutscher Wetterdienst DWD (Hrsg.): „Gefühlte Temperatur“ und „Klima-Michel-Modell“, unter „Wetterlexikon“ in www.dwd.de, 2008.
- [4] *Jendritzky, G., Soenning, W., Swantjes, H. J.*: Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung („Klima-Michel-Modell“). *Beiträge d. Akad. f. Raumforschung und Landesplanung* 2:8, 1979.
- [5] *Brandt, K.*: Heatwave forecasting with a coupled air-building model. In: *Proceedings of 6th International Conference on Urban Climate (ICUC)*, University of Gothenborg/Sweden, 2006.
- [6] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH: *Energierechtes Bauen und Modernisieren – Grundlagen und Beispiele für Architekten, Ingenieure und Bewohner*. Birkhäuser Verlag, 1996.
- [7] Institut Wohnen und Umwelt GmbH (iwu): *Deutsche Gebäudetypologie*. 2003.
- [8] *Richter, W., Ender, T., Hartmann, T., Kremonke, A., Oschatz, B., Seifert, J.*: Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2003.
- [9] *Clarke, J.*: *Energy Simulation in Building Design*. Butterworth-Heinemann, 2001.
- [10] *Pfafferott, J.*: *Enhancing the Design and Operation of Passive Cooling Concepts*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2004.
- [11] *Fögele, K.*: Queranalyse über den Gebäudebestand in Deutschland zur Ermittlung kritischer Gebäude in Bezug auf die Höhe der Raumtemperatur im Sommer. Fraunhofer ISE (unveröffentlicht), 2007.
- [12] *Menne, B., Kristie, L. E.* (eds.): *Climate change and adaptation strategies for human health*. Darmstadt: SpringerSteinkopff Verlag, 2006.
- [13] DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Berlin: Beuth Verlag, 2003.
- [14] *Becker, P., Pfafferott, J.*: Die Relevanz der Innenraumverhältnisse für Hitzewarnsysteme. *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg*, Nr. 16, 43, 2007.

Autoren dieses Beitrages:

Dr. Jens Pfafferott, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg, jens.pfafferott@ise.fraunhofer.de
 Dr. Paul Becker, Deutscher Wetterdienst, Medizin-Meteorologie, Stefan-Meier-Straße 4–6, 79104 Freiburg, paul.becker@dwd.de