



*Markus Hofmann
wissenschaftl. Mitarbeiter
Bauhaus-Universität Weimar
Lehrstuhl Bauphysik
Weimar, Deutschland*

Messungen des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnungen

Der Einfluss des Nutzverhaltens

Messungen des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnungen

Der Einfluss des Nutzverhaltens

Einleitung

Die Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes nimmt aufgrund steigender Temperaturen, verbunden mit voraussichtlich länger werdenden Hitzeperioden, sowie eines gestiegenen Komfortbedürfnisses der Nutzer immer mehr zu [1-3].

Für die Beurteilung des sommerlichen Raumklimas werden in den verschiedenen Richtlinien ein Reihe von physikalischen Größen, wie beispielsweise die Überschreitungsdauer verschiedener Temperaturwerte und Temperaturbereiche oder der PPD-Index zur Beschreibung des Anteils der Unzufriedenen, definiert. Entscheidend für die Beurteilung des sommerlichen Raumklimas aber ist, welche Werte die Beurteilungsgrößen wie Überhitzungsstunden, Maximaltemperatur und Überschreitungsdauer in typischen Gebäuden annehmen, in denen keine Beschwerden vorliegen.

Zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes wurden in verschiedenen Mehrfamilienhäusern in Weimar und in Mannheim Messungen des Raumklimas durchgeführt und die Messergebnisse gemäß der verschiedenen Richtlinien ausgewertet.

Beurteilungsgrößen der thermischen Behaglichkeit

Die Beurteilungsgrößen der thermischen Behaglichkeit werden in ISO 7730 [4] mit dem PMV und PPD-Index zur Voraussage der erwarteten durchschnittlichen Beurteilung der thermischen Behaglichkeit bzw. des zu erwartenden prozentualen Anteils der Personen, die mit der thermischen Behaglichkeit nicht zufrieden sind, definiert.

Mit diesen beiden Größen kann die thermische Behaglichkeit am exaktesten definiert werden. Jedoch ist die Menge der für die Bestimmung erforderlichen Eingangsparameter (wie Temperaturgradienten, Zuglufterscheinungen, empfundene Temperaturen, Wärmedämmwert der Bekleidung und Tätigkeit) als nachteilig einzustufen. Sowohl für die Prognose, als auch für die messtechnische Überprüfung ist ein hoher Aufwand erforderlich. Diesem Umstand ist es wohl auch geschuldet, dass sich diese Beurteilungsgrößen in der praktischen Planung von Gebäuden bisher nicht allgemein durchgesetzt haben.

Für die Einordnung und Beschreibung der Behaglichkeit werden in ISO 7730 [4] zusätzlich drei Kategorien (A, B und C) definiert: Kategorie A mit einem Prozentsatz der Unzufriedenen, PPD von $\leq 6\%$, Kategorie B mit PPD $\leq 10\%$ und Kategorie C mit PPD $\leq 15\%$.

Darüber hinaus wird in den einschlägigen Richtlinien mit einer Reihe von vereinfachenden Annahmen versucht, Anforderungen an die Raumlufttemperaturen abzuleiten, da sich diese physikalische Größe vergleichsweise einfach messen lässt.

So formuliert die Norm SIA 382/1 [5] für die Schweiz einen Behaglichkeitsbereich für die Raumlufthtemperatur im Sommer mit einer oberen Grenzkurve zwischen $24,5^{\circ}\text{C}$ und $26,5^{\circ}\text{C}$ in Abhängigkeit vom Tagesmaximum der Außentemperatur. In Abbildung 1 ist die Graphik des zulässigen Wertebereichs für die Raumlufthtemperatur aus SIA 382/1 [5] abgebildet. Wird diese obere Grenzkurve in natürlich belüfteten Räumen um mehr als 100 h Stunden pro Jahr überschritten, so ist eine Kühlung notwendig, wird sie nur bis zu 100 h pro Jahr überschritten, ist eine Kühlung erwünscht und ohne Überschreitung nicht notwendig.

In Deutschland werden die Anforderungen an den Grenzwert der Innentemperaturen in der DIN 4108-2 [6] definiert. Hierzu wird Deutschland in drei Sommerklimaregionen (sommmerkühl, gemäßigt und sommerheiß) in Abhängigkeit vom Höchstwert der Monatsmitteltemperatur eingeteilt. Die Grenzwerte betragen dann 25°C für sommmerkühle, 26°C für gemäßigte und 27°C für sommerheiße Gebiete. Diese Grenzwerte sollen für nicht mehr als 10 % der Aufenthaltsdauer (bei Wohngebäuden 24 h/d, bei Bürogebäuden 10 h/d) überschritten werden.

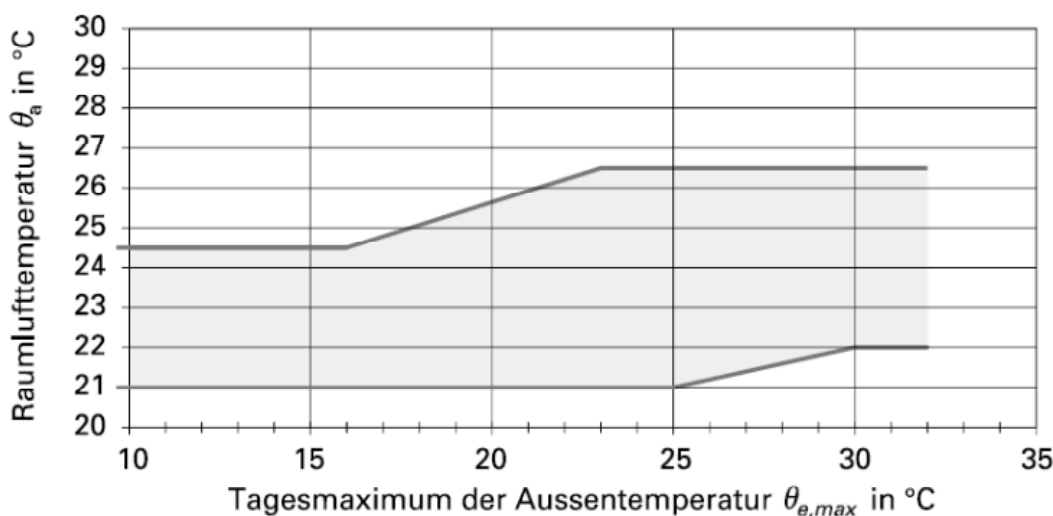


Abbildung 1: Zulässiger Bereich der Raumlufthtemperatur (dunkelgrauer Bereich) in Abhängigkeit vom Tagesmaximum der Außenlufttemperatur nach [5]

Messort und Messverfahren

Die hier vorgestellten Raumklimamessungen wurden in sieben Objekten im Raum Mannheim und zehn Objekten in Weimar durchgeführt. Mannheim befindet sich im Rheingraben und wird gemäß DIN 4108-2 [6] als „sommerheiß“ eingestuft. Zudem stellt es die Referenzstation für die Klimaregion 12 des Deutschen Wetterdienstes [7] dar. Weimar hingegen ist in der Klimaregion 9 angesiedelt und wird nach DIN 4108-2 [6] der Kategorie „gemäßigt“ zugeordnet.

Über einen Zeitraum von mehreren Jahren wurden die Raumlufthtemperatur sowie die relative Raumlufthfeuchte gemessen. Die Messungen wurden in Mehrfamilienwohnhäuser in Massivbauweise durchgeführt und dauern teilweise noch an. Vorrangig werden Wohn- und Schlafzimmer mit Grundflächen zwischen 16 m^2 und 34 m^2 untersucht.

Für das Außenklima in Weimar werden die Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes der Wetterstation Weimar und für das Außenklima in Mannheim die Daten der Wetterstation Mannheim-Flughafen verwandt.

Ergebnisse

In Abbildung 2 (oben) sind beispielhaft die im Wohnzimmer gemessenen Raumlufttemperaturen der Wohnung W8 in Weimar, zusammen mit den Außenlufttemperaturen und den Tagesmaximalwerten der Außenlufttemperatur für den Zeitraum vom 01.05.2010 bis zum 01.10.2010 dargestellt. Das Wohnzimmer mit einer Fläche von 18 m² besitzt eine nach Süden orientierte 3,7 m² große Glasfläche. Bei der Wohnung handelt es sich um einen 3-Personen-Haushalt mit zwei berufstätigen Erwachsenen und einem schulpflichtigen Kind.

Der Zusammenhang zwischen Raum- und Außenlufttemperatur ist in Abbildung 2 (oben) gut erkennbar. Steigende Außentemperaturen und die damit verbundenen höheren Fensteröffnungszeiten bedingen einen Anstieg der Lufttemperatur im Raum. Hitzetage mit einem Tagesmaximum der Außenlufttemperatur von über 30 °C werden entsprechend Abbildung 2 (oben) im Sommer 2010 für neun Tage ermittelt.

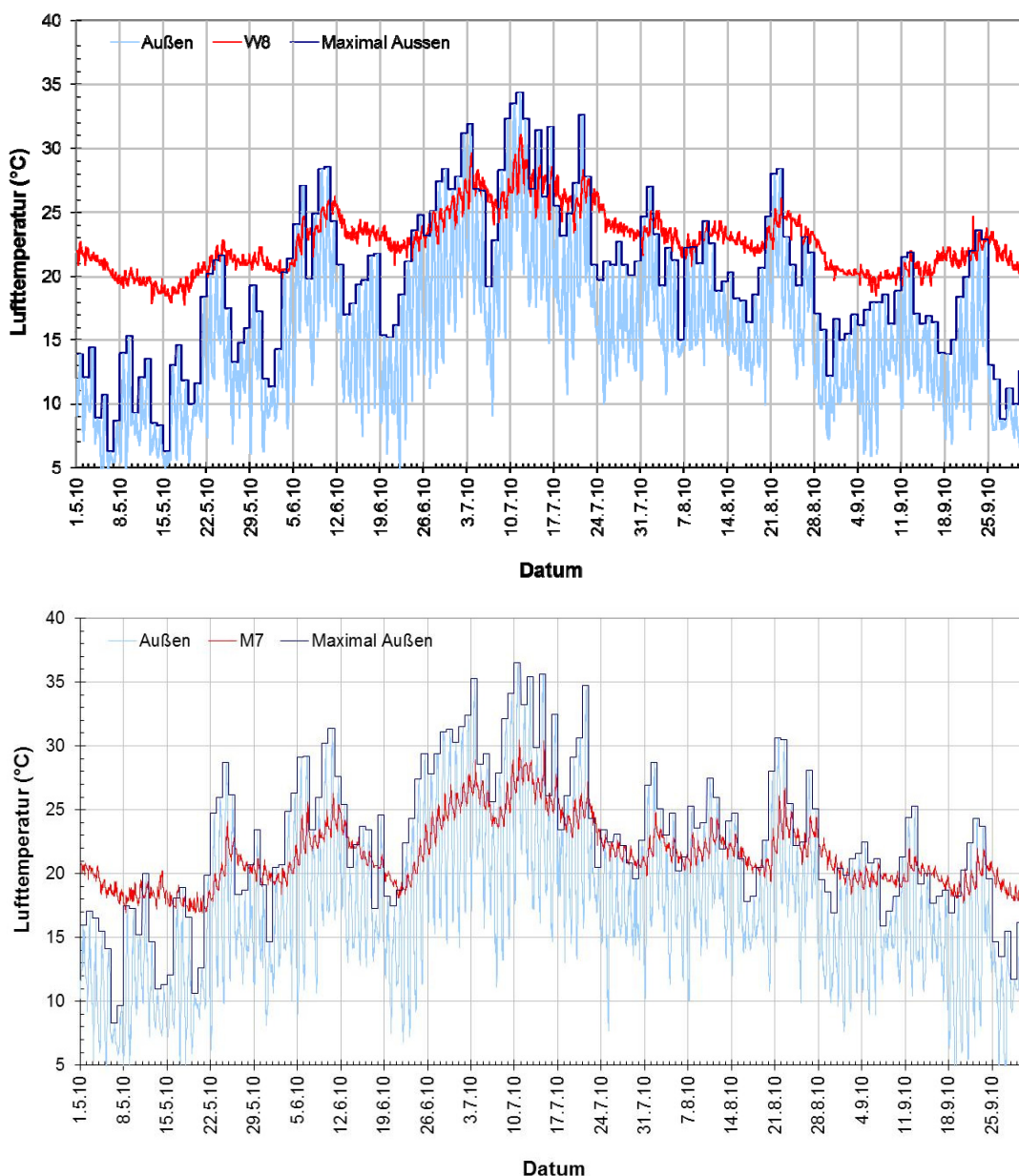


Abbildung 2: Außenlufttemperatur mit den Tagesmaximalwerten und der Raumlufttemperatur für das Sommerhalbjahr 2010 im Wohnzimmer der Wohnung W8 in Weimar (oben); Wohnzimmer der Wohnung M7 in Mannheim (unten)

Zum Vergleich zeigt Abbildung 2 (unten) die gleichen Parameter für die Wohnung M7 am Standort Mannheim ebenfalls für den Zeitraum vom 01.05.2010 bis zum 01.10.2010. In der Wohnung leben zwei Personen. Das Wohnzimmer besitzt eine Fläche von 20 m² und ebenfalls eine nach Süden gerichtete, 3,2 m² große Fensterfläche. Im Untersuchungszeitraum wird auch hier die Abhängigkeit der Raumlufftemperatur von der Außenlufttemperatur deutlich. In Mannheim werden insgesamt 19 Hitzetage über 30 °C Außenlufttemperatur im Sommer 2010 registriert. Zudem konnten zwei Hitzeperioden in der letzten Juniwoche und in der zweiten Juliwoche mit jeweils 6 und 7 Hitzetagen festgestellt werden.

Überschreitungsdauern

Die Anforderungen in den einschlägigen Richtlinien sind in der Regel mit zulässigen Überschreitungsdauern verbunden. Im Folgenden werden die Überschreitungsdauern rechnerisch bestimmt in denen die Raumlufftemperatur 26 °C, 27 °C und 28 °C übersteigen. Dabei wird eine ganztägige Nutzung der Wohnung angenommen und die Nutzungsdauer mit 24 h/d zugrunde gelegt.

Für den Sommer 2010 zeigt Abbildung 3 exemplarisch den zeitlichen Verlauf der Überschreitungsdauern für das Wohnzimmer der Wohnung W8 in Weimar. Es ist deutlich zu erkennen, dass die drei Temperaturwerte vorwiegend während der Hitzeperiode in der zweiten Juliwoche überschritten werden. Anhand der maximalen Tagesaußentemperatur wurde darüber hinaus die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve der SIA 382/1 [5] für diese Wohnung rechnerisch bestimmt und ebenfalls in Abbildung 3 im zeitlichen Verlauf dargestellt.

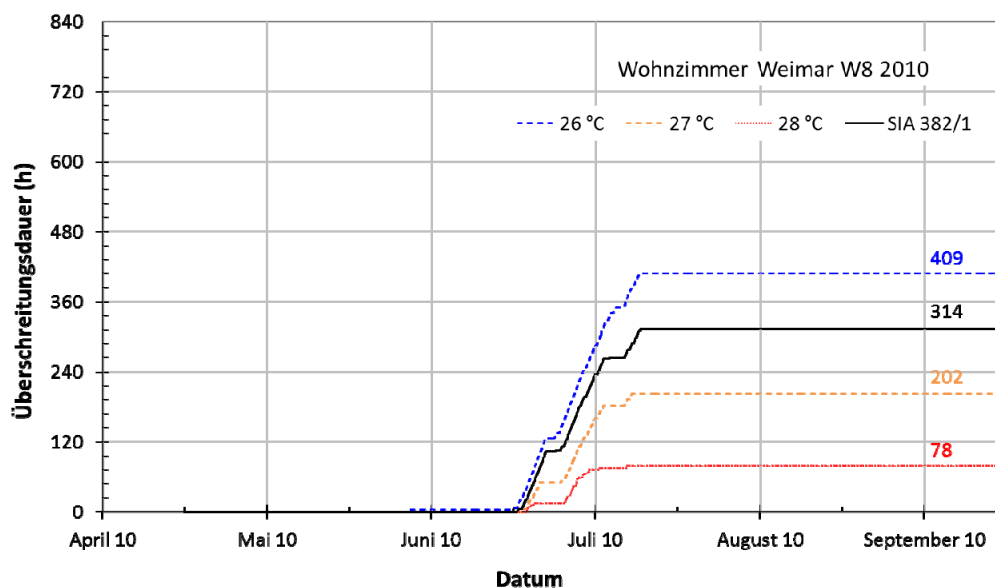


Abbildung 3: Überschreitungsdauern bestimmter Werte der Raumlufftemperatur sowie der oberen Grenzkurve der Raumlufftemperatur nach SIA 382/1 [5], Wohnzimmer der Wohnung W8 in Weimar

Aus den gemessenen Raumklimawerten, der Raumlufftemperatur und –feuchte wird nun der zugehörige Anteil der Unzufriedenen, beschrieben durch den PPD-Index nach ISO 7730 [4], mit folgenden Annahmen bzw. Vereinfachungen ausgerechnet:

- sitzende Tätigkeit des Nutzers, spezifische Wärmeabgabe von $1,2 \text{ met} = 70 \text{ W/m}^2$
- eine der Jahreszeit angepasste Bekleidung des Nutzers mit einem thermischen Widerstand zwischen $0,5 \text{ clo}$ und 1 clo nach SIA 382/1 [5]
- eine relative Luftgeschwindigkeit von $0,1 \text{ m/s}$
- keine Zuschläge für das Zugluftrisiko oder für Asymmetrien der Temperaturen oder der Strahlung
- vereinfachend wird die Strahlungstemperatur gleich der Raumlufttemperatur gesetzt.

Danach ergibt sich der zeitliche Verlauf des PPD-Index, wie ihn exemplarisch für das Wohnzimmer der Wohnung W8 in Weimar Abbildung 4 zeigt. Zusätzlich abgebildet sind die Grenzwerte für die Behaglichkeitskategorien A, B und C nach ISO 7730 [4].

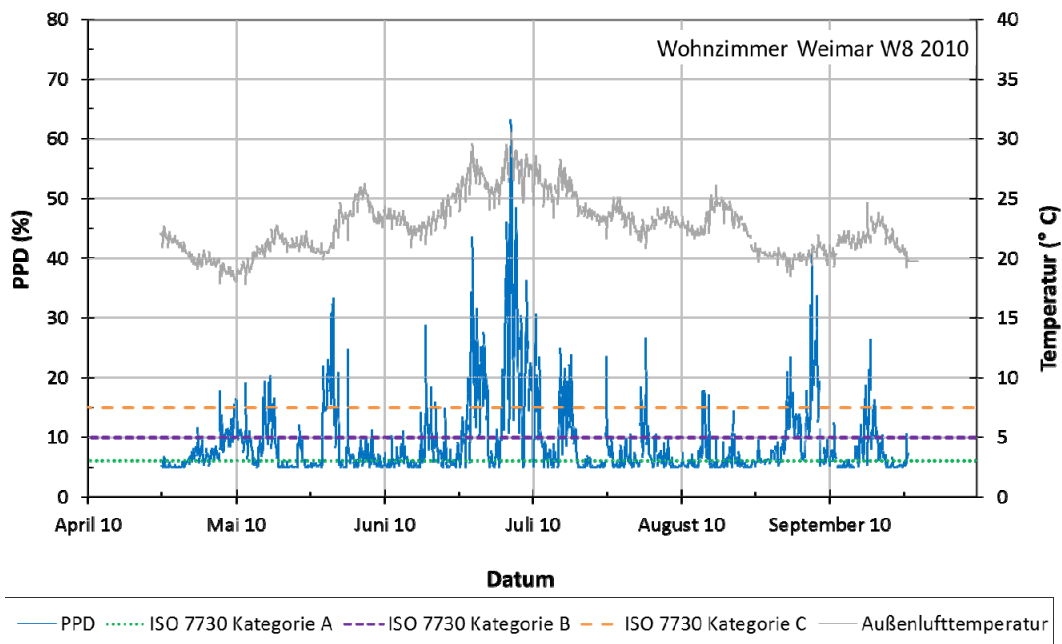


Abbildung 4: Raumlufttemperatur und PPD-Index für das Wohnzimmer in der Wohnung W8 in Weimar im Sommer 2010; Behaglichkeitskategorien A, B und C nach ISO 7730 [4]

Der zeitliche Verlauf der Überschreitungsdauern für die maximal zulässigen Prozentsätze der drei Behaglichkeitskategorien nach ISO 7730 für das Wohnzimmer der Wohnung W8 ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass der maximal zulässige Anteil der Unzufriedenen der Kategorie A mit 6 % während der gesamten Messdauer in fast zwei Drittel der Zeit überschritten wird.

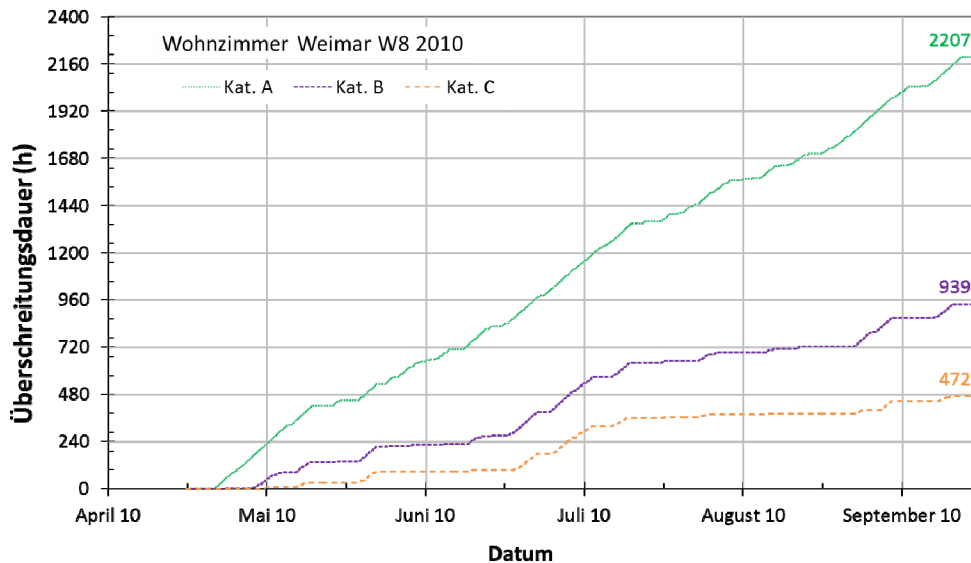


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf der Überschreitungsdauern der maximal zulässigen Prozentsätze der Unzufriedenen der drei Behaglichkeitskategorien A, B und C nach ISO 7730

Die Überschreitungsdauern werden für die Sommerperioden der Jahre 2010 (W1-10) und 2011 (W11-19) für alle untersuchten Objekte in Weimar berechnet. Eine Zusammenstellung der Überschreitungsdauern der Werte von 26 °C und 27 °C, die für eine Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 [6] maßgeblich sind, findet sich in Abbildung 6. Zunächst fällt auf, dass die Werte für die Überschreitungsdauer von Wohnung zu Wohnung sehr stark streuen: so ergeben sich Überschreitungsdauern der 26° C zwischen 0 h und 720 h, für 27° C schwanken sie zwischen 0 h und 455 h. Diese Schwankung zeigt sich auch in dem großen Wert für das 95 %-Vertrauensintervall des Mittelwerts aller Wohnungen. Sehr gut erkennbar ist der Einfluss des Außenklimas. Handelte es sich 2010 (W1-10) um einen Sommer mit hohen Außentemperaturen und einer hohen Sonnenscheindauer zeigt sich deutlich der Unterschied zum Sommer 2011 (W11-19). Vergleichbare Aussagen können auch über die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve der Raumlufttemperatur nach SIA 382/1[5] getroffen werden.

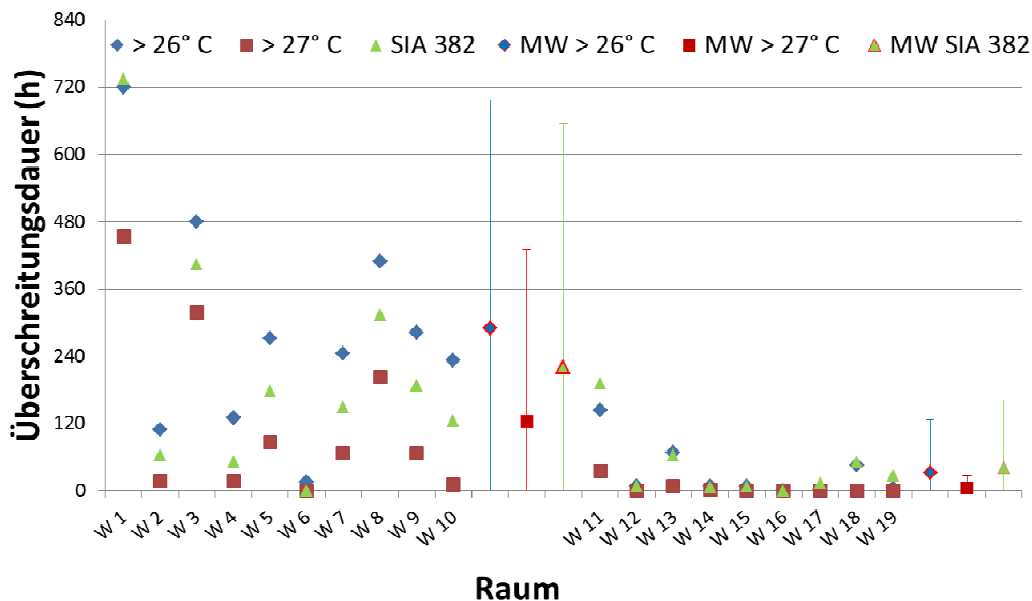


Abbildung 6: Überschreitungsdauer der Raumlufttemperatur von 26 °C und 27 °C und der oberen Grenzkurve der SIA 382/1 der Objekte in Weimar; arithmetische Mittelwerte mit dem 95 % Vertrauensintervall der Temperaturen für 2010 und 2011

Die Überschreitungsdauern des maximal zulässigen Prozentsatzes der Unzufriedenen der Behaglichkeitskategorien nach ISO 7730 aller Objekte in Weimar einschließlich des arithmetischen Mittelwertes aller Objekte in Weimar und des jeweiligen 95 %-Vertrauensintervalls sind in Abbildung 7 enthalten. Offenbar handelt es sich bei den Kriterien des maximal zulässigen Anteils der Unzufriedenen um die schärfsten Anforderungen, da sich hier die höchsten Überschreitungsdauern ergeben. So wird das Kriterium für die Behaglichkeitskategorie A mit einem Prozentsatz der Unzufriedenen, PPD von $\leq 6\%$ zwischen 1836 h und 2938 h überschritten, das Kriterium der Kategorie B mit $\text{PPD} \leq 10\%$ zwischen 571 h und 1992 h und das der Kategorie C mit $\text{PPD} \leq 15\%$ zwischen 155 h und 1244 h. Auch diese Überschreitungsdauern zeigen also eine starke Schwankung zwischen den Wohnungen.

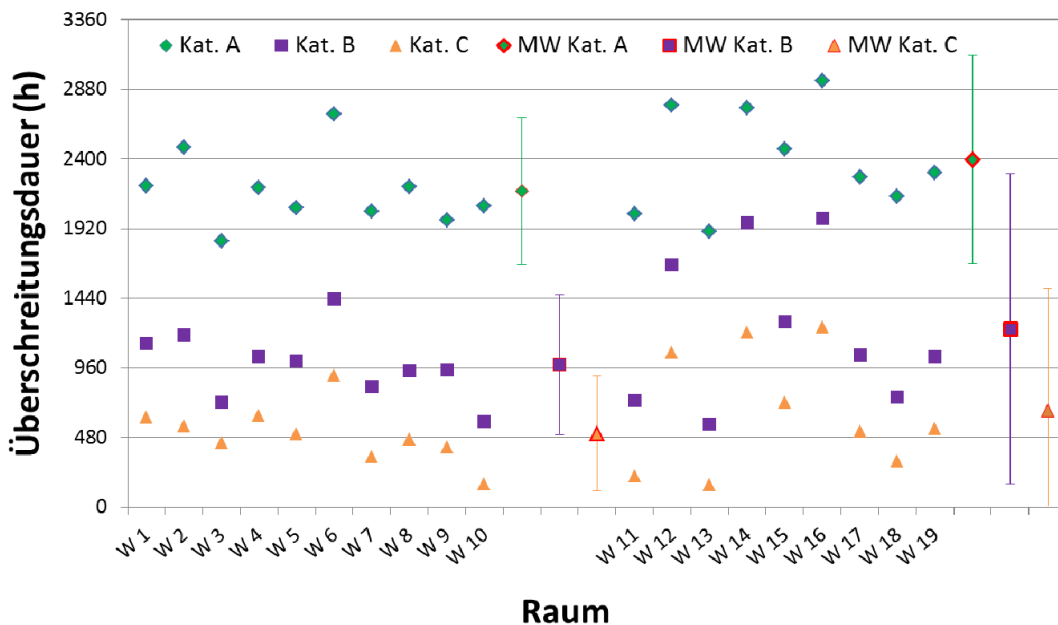


Abbildung 7: Überschreitungsdauern des maximal zulässigen Prozentsatzes der Unzufriedenen für die Behaglichkeitskategorien nach ISO 7730, Kategorie A, B und C für alle Objekte in Weimar mit den arithmetischen Mittelwerten der Überschreitungsdauern und den 95 %-Vertrauensintervallen

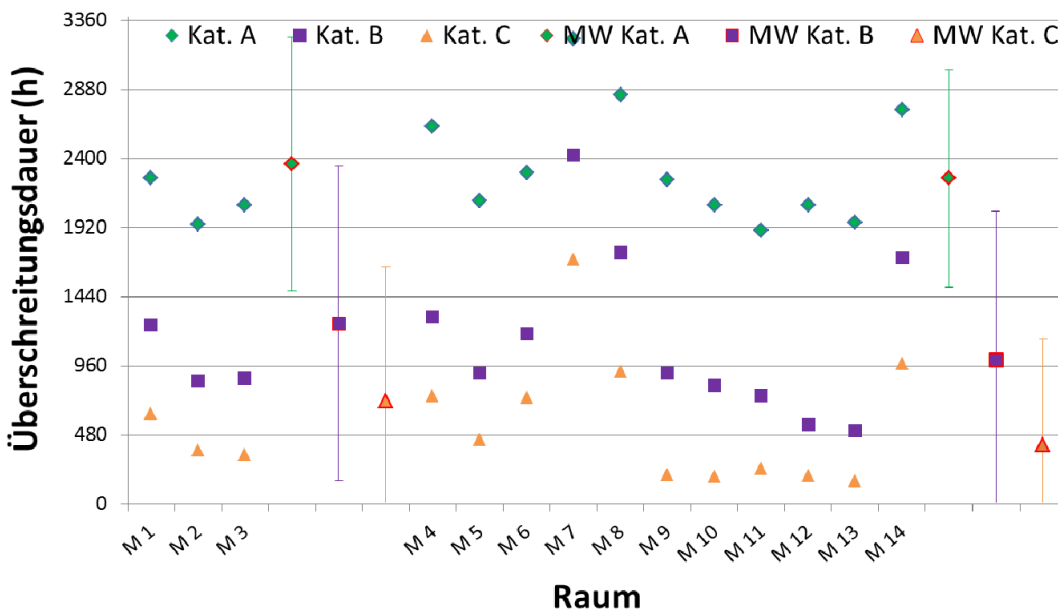


Abbildung 8: Überschreitungsdauern des maximal zulässigen Prozentsatzes der Unzufriedenen für die Behaglichkeitskategorien nach ISO 7730 [4], Kategorie A, B und C für alle Objekte in Mannheim mit den arithmetischen Mittelwerten der Überschreitungsdauern und den 95 %-Vertrauensintervallen

Auch die Messwerte der Mannheimer Objekte wurden für den Zeitraum Sommer 2010 (M1-3) und 2011 (M4-12) ausgewertet und anschließend die Überschreitungsdauern gemäß den verschiedenen Richtlinien berechnet. Im Ergebnis wurden für die Überschreitungsdauern der Temperaturgrenzen nach DIN 4108-2 und SIA 382/1 vergleichbare Schwankungen sichtbar.

Die Überschreitungsdauern des maximal zulässigen Prozentsatzes der Unzufriedenen aller Objekte nach ISO 7730 in Mannheim enthält Abbildung 8 einschließlich des arithmetischen Mittelwertes und des jeweiligen 95 %-Vertrauensintervalls aller Objekte in Mannheim. Wie in Weimar sind auch in Mannheim die größten Überschreitungsdauern für dieses Kriterium festzustellen. So wird das Kriterium für die Behaglichkeitskategorie A mit einem Prozentsatz der Unzufriedenen, PPD von $\leq 6\%$ zwischen 1900 h und 3228 h überschritten, das Kriterium der Kategorie B mit $\text{PPD} \leq 10\%$ zwischen 509 h und 2421 h und das der Kategorie C mit $\text{PPD} \leq 15\%$ zwischen 161 h und 1701 h. Auch diese Überschreitungsdauern zeigen damit eine starke Schwankung zwischen den Wohnungen.

Schlussfolgerungen und Vergleich der Messergebnisse

Der Vergleich der gemessenen Raumlufttemperaturen zeigt im Wesentlichen den Einfluss des Außenklimas der beiden Standorte und der unterschiedlichen Sommerperioden sowie der Nutzung der verschiedenen Räume.

Bei allen untersuchten Gebäuden handelt es sich um Massivbauten. Daher ist ein Einfluss der Bauweise aus den Messdaten nicht abzuleiten.

Im Vergleich zu Weimar tritt in Mannheim ein heißeres Sommerklima auf. Aus diesem Grund können in Mannheim auch höhere Raumlufttemperaturen in den Gebäuden, verbunden mit höheren Überschreitungsdauern festgestellt werden. Vergleicht man die Mittelwerte der Objekte in Mannheim und Weimar in Tabelle 1, so fällt zunächst auf, dass die Überschreitungsdauern für alle Kriterien in Mannheim länger sind als in Weimar.

Der Einfluss der Nutzer innerhalb eines Standorts zeigt sich in den sehr unterschiedlichen Werten der Überschreitungsdauern von Wohnung zu Wohnung, welche die Ursache für die großen Werte der 95 %-Vertrauensintervalle sind.

	Weimar		Mannheim	
	2010	2011	2010	2011
DIN 4108-2				
> 26° C	(290 ± 397) h	(32 ± 96) h	(361 ± 352) h	(166 ± 298) h
> 27° C	(124 ± 307) h	(5 ± 23) h	(198 ± 345) h	(37 ± 81) h
SIA 382				
Obere Grenzkurve	(221 ± 435) h	(41 ± 121) h	(273 ± 369) h	(114 ± 187) h
ISO 7730				
Kategorie A	(2181 ± 506) h	(2398 ± 719) h	(2362 ± 879) h	(2264 ± 756) h
Kategorie B	(983 ± 481) h	(1229 ± 1068) h	(1255 ± 1093) h	(1002 ± 1035) h
Kategorie C	(508 ± 395) h	(667 ± 840) h	(714 ± 932) h	(415 ± 735) h

Tabelle 1: Überschreitungsdauer für die Objekte in Weimar und in Mannheim für die verschiedenen Beurteilungsgrößen der einzelnen Richtlinien; Mittelwerte und 95 % Vertrauensintervall

DIN 4108-2

Die DIN 4108-2 [6] begrenzt die zulässige Überschreitungsdauer der Raumlufthtemperatur von 27 °C für „sommerheiße“ und von 26 °C für „gemäßigte“ Gebiete auf maximal 10 % der Aufenthaltsdauer. Eine Definition dafür, ob sich das 10%-Limit auf die gesamte Aufenthaltsdauer eines Jahres, oder auf die Dauer der Messperiode bezieht existiert nicht. Bezieht man die 10 % der Aufenthaltsdauer auf das gesamte Jahr, so resultiert hieraus ein wesentlich höherer Prozentsatz für das Sommerhalbjahr, da das Winterhalbjahr in der Regel nicht zur Überschreitungsdauer beiträgt. Infolgedessen beziehen wir das Kriterium auf die Aufenthaltsdauer der in der vorgestellten Messperiode.

Für den betrachteten Zeitraum von 153 Tagen ergibt sich für die Wohnungen eine maximal zulässige Überschreitungsdauer von

$$t_{max} = 153 d * \frac{24h}{d} * 10 \% = 367 h.$$

Damit überschreiten drei der zehn untersuchten Räume in Weimar die maximal zulässige Überschreitungsdauer nach DIN 4108-2[6]. In Mannheim verletzt einer von sieben Räumen diese Anforderung.

SIA 382/1

Die Schweizer Richtlinie SIA 382/1 [5] erlaubt eine maximale Überschreitungsdauer der oberen Grenzkurve von 100 h für natürlich belüftete Räume. Bei größeren Überschreitungsdauern ist eine Kühlung des Raumes erforderlich.

Diese maximale Überschreitungsdauer wird 2010 in sieben von zehn Objekten, in Weimar überschritten dagegen 2011 nur in einem Objekt. In Mannheim halten 2010 fünf von sieben Objekten diese maximal zulässige Überschreitungsdauer nicht ein, 2011 wird die Grenze von drei Wohnungen überschritten.

ISO 7730

Für das Kriterium eines maximal zulässigen Anteils an Unzufriedenen der Behaglichkeitskategorien nach ISO 7730 [4] ergeben sich sehr hohe Überschreitungsdauern. In der ISO 7730 [4] werden im Gegensatz zu den anderen Richtlinien keine Anforderungen an die maximal zulässigen Überschreitungsdauern formuliert. Zieht man als Qualitätskriterium zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes eines Raumes die maximal zulässigen Überschreitungsdauern der beiden Richtlinien SIA 382/1 mit 100 h und der DIN 4108-2 mit 367 h heran, so ergibt sich, dass für alle Wohnungen in Weimar und in Mannheim die Überschreitungsdauern für die Kategorie A weit über diesen beiden Werten liegen.

Gleiches gilt für die Kategorie B. Auch hier überschreiten in allen Objekten in Mannheim und in Weimar die Überschreitungsdauern deutlich die 367 h der DIN 4108-2.

Lediglich für die Kategorie C erreichen im Jahr 2010 zwei Objekte in Weimar und eine Wohnung in Mannheim die 367 h nicht. In der kühleren Sommerperiode 2011 wird die Grenze von drei Weimarer und fünf Mannheimer Objekten nicht erreicht.

Ausblick

Die präsentierten Messungen sind ein Teil des Messprogramms aus dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekt mit denen das Raumklima in Wohnungen untersucht werden soll. Aktuell werden in ca. 100 Wohnräumen in Weimar, Mannheim und Potsdam Untersuchungen durchgeführt und die Zahl der Messorte erhöht. Die Zwischenauswertung bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes hat einen sehr hohen Einfluss der Nutzer auf die Raumlufttemperaturen belegt.

Durch das geplante Hinzuziehen weiterer Wohnungen, anderer Nutzungen wie beispielsweise Büros und verschiedener Bauweisen, wie beispielsweise Dachräume soll der Einfluss weiterer Parameter auf den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden erfasst und das Verständnis der Funktionsweise des sommerlichen Wärmeschutzes in realen Gebäuden vertieft werden.

Literatur

- [1] Europäische Kommission: *Anpassung an den Klimawandel in Europa : Optionen für Maßnahmen der EU; Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen*. Dokumente / Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Brüssel: Amt für Amtliche Veröff. der Europ. Gemeinschaften. 2007.
- [2] Hohmann, R. und Beratendes Organ für Fragen der Klimänderung: *Extremereignisse und Klimänderung*. Bern: OcCC. 2003.
- [3] *Uncertainty, risk and dangerous change*, in *Recent research on climate change science*. 2004, Hadley Met Office Centre: Exeter, UK.
- [4] 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 (ISO 7730:2005)*. Berlin: Beuth, 2006-05.
- [5] SIA 382-1:2007 *SN 546382-1, 2007. Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*. Berlin (Deutschland): Beuth Verlag GmbH, 2007.
- [6] DIN 4108-2:2003-07 *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz* Berlin [u.a.]: Beuth, 2003-07.
- [7] Blümel, K.: *Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland*. Vol. T 86-051. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Energie Physik Mathematik. 1986.