

# **Kriterien des nachhaltigen Bauens: Bewertung des thermischen Raumklimas – ein Diskussionsbeitrag**

von

Dr.-Ing. Runa Tabea Hellwig  
M. Eng. Simone Steiger  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser  
Dr.-Ing. Andreas Holm  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

## **Fraunhofer-Institut für Bauphysik**

(Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer)  
Postfach 80 04 69 – 70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12 – 70569 Stuttgart

## **Institutsteil Holzkirchen**

Postfach 11 52 – 83601 Holzkirchen  
Fraunhoferstraße 10 – 83626 Valley

# Kriterien des nachhaltigen Bauens: Bewertung des thermischen Raumklimas – ein Diskussionsbeitrag

Die Bundesregierung hat den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ für Bundesbauten [5] herausgegeben. Der Leitfaden enthält Grundsätze für das Planen, Bauen und Nutzen von Bundesliegenschaften. Der Leitfaden ermöglicht eine Bewertung von ökonomischen und ökologischen, aber auch soziokulturellen Faktoren. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung plant nun den Leitfaden fortzuschreiben.

Mit vorliegender Publikation sollen Kriterien zur Bewertung des Raumklimas mit dem Schwerpunkt thermische Behaglichkeit der Nutzer aufgezeigt werden. Hierzu wird der bekannte Stand des Wissens (Literatur, Normen, Richtlinien) herangezogen und bezüglich der Eignung als Kriterium im Rahmen des Leitfadens beurteilt. Dabei wird berücksichtigt, dass der Leitfaden eine Arbeitshilfe für die Planung, die Errichtung, die Bauunterhaltung, den Betrieb und die Nutzung darstellen soll. Daher ist zu beachten, dass es Gebäude unterschiedlicher Nutzung (Wohnungsbau/Nichtwohnungsbau) sowie neu zu errichtende und bestehende Gebäude gibt.

Bisher gibt es Regelwerke mit unterschiedlichen Ansätzen zur Planung der thermischen Behaglichkeit. Für einige Kriterien gibt es keine vereinfachten Berechnungsmodelle, teilweise werden für gleiche Kriterien verschiedene Berechnungsmethoden vorgeschrieben. Die Harmonisierung der Regelwerke ist notwendig. Es bedarf weiterer Forschung zur Entwicklung von Bemessungsregeln für die wichtigsten Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit und die Zufriedenheit von Gebäudenutzern.

**Criteria for sustainable buildings: Assessment of indoor thermal environment – a contribution to the discussion.** *The German federal government provides a guide book “Sustainable Buildings” [5]. The guide book contains principles for the design, construction and operation of buildings. Furthermore it provides procedures to assess economical and ecological but also sociocultural factors. The German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs is planning to enhance the guide book. This article discusses criteria for assessing the sociocultural factor “thermal comfort”. The criteria gained from a review of literature and standards are examined for their suitability as assessment criteria in the guide book. They should be applicable for residential and office buildings as well as for new and existing buildings. For the different building types feasible methods are suggested. So far standards provide several approaches to assess thermal comfort. For some of these criteria there is no simple calculation method available. Several standards exist addressing the same criterion but using different methods. There is a need to harmonize the standards. Further research is required to provide assessment methods for important factors influencing occupant’s satisfaction.*

## 1 Einführung

Der Bund als öffentlicher Bauherr steht in der besonderen Verantwortung, als Bauherr mit Vorbildwirkung aufzutreten. In besonderem Maße trifft dies für Themen der Nachhaltigkeit zu. Daher wurde 2001 mit dem Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ für Bundesbauten [5] eine Neuorientierung eingeleitet. Der Leitfaden enthält Grundsätze für das Planen, Bauen und Nutzen von Bundesliegenschaften, ganzheitlich und lebenszyklusbezogen ausgerichtet. Der Leitfaden ermöglicht eine Bewertung von ökonomischen und ökologischen, aber auch soziokulturellen Faktoren. Der Vorteil eines solchen Leitfadens liegt in der Quantifizierbarkeit, Nachvollziehbarkeit und Nachprüfbarkeit von Faktoren, die die Nachhaltigkeit eines Bauwerkes bestimmen. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung plant nun den Leitfaden in Zusammenarbeit mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB fortzuschreiben. Hierbei sind neueste Erkenntnisse aus der Forschung zu berücksichtigen.

Mit vorliegender Publikation sollen Kriterien des nachhaltigen Bauens zur Bewertung des Raumklimas mit dem Schwerpunkt thermische Behaglichkeit der Nutzer aufgezeigt werden. Hierzu wird der bekannte Stand des Wissens (Literatur, Normen, Richtlinien) herangezogen und bezüglich der Eignung als Kriterium im Rahmen des Leitfadens beurteilt. Dabei wird bedacht, dass der Leitfaden eine Arbeitshilfe für die Planung, die Errichtung, die Bauunterhaltung, den Betrieb und die Nutzung darstellen soll. Daher ist zu beachten, dass es Gebäude unterschiedlicher Nutzung (Wohnungsbau/Nichtwohnungsbau) sowie neu zu errichtende und bestehende Gebäude gibt. Die EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) fordert in Artikel 7, dass die Informationen zum Innenraumklima eines Gebäudes in die Zertifizierung des Energieverbrauchs (Energiepass) des Gebäudes aufgenommen werden. Nur so ist eine Vergleichbarkeit der Gebäude mit unterschiedlichen Konzepten gegeben.

Die für den Leitfaden aufzustellenden Kriterien sollen sich sowohl an den Stand des Wissens halten als auch ausreichend verständlich und in der Praxis leicht umsetzbar sein. Zu einer leichten Umsetzbarkeit in der Praxis zählen sowohl die Planung und Umsetzung als auch die Überprüfung in bestehenden Gebäuden. Dazu muss abgewogen werden, ob nicht bestimmte Kriterien der Behaglichkeit bereits durch bestehende Normen und

Richtlinien indirekt abgedeckt sind und inwieweit sich vorhandene Bewertungsverfahren für eine Anwendung im Leitfaden eignen.

## 2 Objektive Bewertung des Raumklimas

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die bestehenden Normen, Richtlinien und wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Raumklimabewertung mit dem Schwerpunkt thermische Behaglichkeit.

### 2.1 Kategorien des Innenraumklimas

In [9] werden vier Kategorien des Innenraumklimas festgelegt (Tabelle 1). Die Kategorien berücksichtigen das Maß an Erwartungen der Nutzer und empfehlen die Anwendung der Kategorien auf Gebäude unterschiedlichen Alters bzw. Erhaltungszustandes.

Den einzelnen Kategorien sind in [9] Werte für den zu erwartenden Anteil Unzufriedener zugeordnet. Diese Werte können im Sinne einer Akzeptanz interpretiert werden. Akzeptables Raumklima ist jedoch mehr als nur die Einhaltung bestimmter raumklimatischer Kennwerte. Daher wird an dieser Stelle auf Abschnitt 4 verwiesen, in dem

*Tabelle 1. Kategorien für die Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik [9]*

*Table 1. Categories for indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings – addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics [9]*

Kategorie	Beschreibung
I	Hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten; z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	Normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	Annehmbares moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der Kategorien I bis III. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden.

*Tabelle 2. Empfohlene Kategorien für die Auslegung der thermischen Gesamtbehaglichkeit in maschinell beheizten und gekühlten Bürogebäuden [9]*

*Table 2. Recommended categories for design of overall thermal comfort in mechanical heated and cooled buildings [9]*

Aktivitätsgrad 1,2 met	Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)	°C Sommer (Kühlperiode: 0,5 clo)	°C Winter (Heizperiode: 1,0 clo)
Kategorie I	-0,2 < PMV < +0,2	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0
Kategorie II	-0,5 < PMV < +0,5	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0
Kategorie III	-0,7 < PMV < +0,7	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0

andere Einflüsse auf das Wohlbefinden des Menschen im Gebäude aufgezeigt werden. So stimmt die Gesamtakzeptanz in einem Gebäude nicht notwendigerweise mit der durchschnittlichen Akzeptanz aller Einzelfaktoren überein.

### 2.2 Thermische Gesamtbehaglichkeit

Unter Raumtemperatur wird im Folgenden die operative Temperatur verstanden. Bei geringen Luftgeschwindigkeiten unter 0,2 m/s ist sie der Mittelwert aus Lufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen. *Fanger* [13] entwickelte ein Modell für die Vorhersage der thermischen Behaglichkeit, mit dem in Abhängigkeit von der Dämmung der Bekleidung, dem Aktivitätsgrad, der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur, der Luftfeuchte sowie der Luftgeschwindigkeit die Einschätzung des thermischen Raumklimas auf einer 7-stufigen Skala vorhergesagt werden kann. Dieser Wert wird das vorhergesagte mittlere Votum (Predicted Mean Vote PMV) genannt. Um auch vorherzusagen zu können, wie hoch der Anteil der mit dem Raumklima Unzufriedenen sein wird, entwickelte *Fanger* den Zusammenhang zwischen dem PMV und dem vorhergesagten Prozentsatz Unzufriedener (Predicted Percentage Dissatisfied PPD).

Dieser Ansatz ist in DIN EN ISO 7730 [12] aufgenommen und wurde für die Auslegung von „maschinell geheizten und gekühlten Gebäuden“ von DIN EN 15251 [9] übernommen. Tabelle 2 zeigt für das Beispiel maschinell geheizter und gekühlter Bürogebäude die für jede Kategorie geltenden Temperaturbereiche. Zur Auslegung wurden die entsprechenden Bereiche des PMV zugrunde gelegt.

Für die Anwendung dieses Verfahrens müssen die Anwendungsbereiche berücksichtigt werden. Das Verfahren kann für die Schaffung neuer und für die Bewertung vorhandener Umgebungsklimata angewendet werden, gilt für konstante Umgebungsbedingungen, kann aber auch bei geringen Schwankungen einer oder mehrerer Parameter des Raumklimas verwendet werden [12].

Durch Auswertung von Feldstudien konnte festgestellt werden, dass die aus dem oben beschriebenen *Fangerschen* Modell resultierenden Komforttemperaturbereiche nicht auf Gebäude, deren Temperatur sich ausschließlich durch Fensteröffnen und -schließen ergibt, übertragbar sind. Es wurde ein neues sogenanntes adaptives Modell entwickelt, das für Gebäude ohne Heizung und ohne Kühlung in DIN EN 15251 [9] aufgenommen wurde. Dabei wird ein gleitender Mittelwert der Außentemperatur als Bezugsgröße verwendet. Die resultierenden operativen Temperaturen (Raumtemperaturen) gelten für

Bürogebäude und Gebäude ähnlichen Typs, die für Nutzung durch Personen mit hauptsächlich sitzenden Tätigkeiten vorgesehen sind, sowie für Wohnungen, in denen Fenster leicht geöffnet werden können und für Personen, die ihre Kleidung leicht an die innen und außen herrschenden thermischen Bedingungen anpassen können. Damit dieses optionale Verfahren angewendet werden kann, müssen folgende Randbedingungen eingehalten werden:

- Die Räume müssen über Fenster verfügen, die sich zur Außenluft öffnen lassen und von den Nutzern leicht geöffnet und angepasst werden können.
- Im Raum darf keine maschinelle Kühlung zum Einsatz kommen.
- Maschinelle Lüftung mit ungekühlter Luft (im Sommer) darf verwendet werden, jedoch muss dem Öffnen und Schließen von Fenstern zur Regelung des Raumklimas der Vorzug gegeben werden.
- Zusätzlich können weitere energieverbrauchssarme Möglichkeiten zur persönlichen Regelung der Innentemperatur angewendet werden, z. B. Ventilatoren, Jalousien, Nachtlüftung usw.
- Die Räume können mit einer Heizungsanlage ausgestattet sein. Dieses optionale Verfahren gilt jedoch nicht für die Jahreszeiten, in denen die Heizungsanlage in Betrieb ist.
- Das Verfahren gilt nur für Räume, in denen die Nutzer mit nahezu ausschließlich sitzenden Tätigkeiten beschäftigt sind, bei denen die Stoffwechselrate zwischen 1,0 met und 1,3 met liegt.
- Damit die Nutzer die Wärmedämmung ihrer Bekleidung nach Wunsch anpassen können, darf kein Dress-Code im Gebäude vorgeschrieben sein.

Bisher wurden RLT-Anlagen gemäß DIN 1946-2 [7] betrieben. Ebenso wie beim adaptiven Modell wird der optimale Raumtemperaturbereich in Abhängigkeit von der Außentemperatur ermittelt. DIN 1946-2 hatte im Gegensatz zum neuen adaptiven Ansatz einen Bezug zur momentanen Außenlufttemperatur. Bild 1 zeigt die Temperaturbereiche für sitzende Bürotätigkeit für den adaptiven Ansatz und den Ansatz nach *Fanger* für die Kategorie II nach [9].

Um mit dem Modellansatz nach *Fanger* rechnen zu können, ist es nicht nur notwendig, einen Aktivitätsgrad der Nutzer festzulegen. Auch die Bekleidungs-dämmung muss bekannt sein. Nach DIN EN 15251 ist mit 1,0 clo im Winter und 0,5 clo im Sommer zu rechnen. Es ist möglich eine Auslegung nach diesen Bekleidungs-dämmwerten vorzunehmen. Eine Regelung der Anlage kann danach jedoch nicht erfolgen. Da es keinen Bezug zur Außenlufttemperatur gibt, ist nicht klar, wann nach dem *Fangerschen* Modell zwischen Sommer und Winter umgeschaltet wird. Erschwert wird die Auslegung dadurch, dass ein Investor oft nicht weiß, wer der zukünftige Nutzer sein wird.

Der Ansatz bestimmt ausschließlich die Gesamtbe-haglichkeit. Für Gebäude mit RLT-Anlagen konnte gezeigt werden, dass die erfragte thermische Gesamtbe-haglichkeit von Personen in realen Gebäuden gut mit dem durch [22] modifizierten PMV-PPD-Ansatz übereinstimmt [19], [20]. Zu-Kalt-Empfinden wird nach [23] entweder ausgelöst

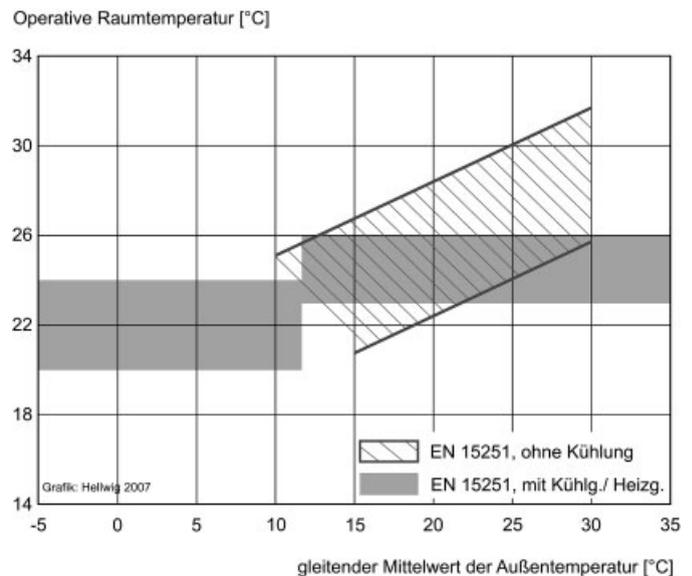


Bild 1. Vergleich der behaglichen Bereiche der operativen Temperatur für sitzende Bürotätigkeit (1,2 met) nach [9] für Gebäude ohne Kühlung (adaptiver Ansatz, Kategorie II) und mit Kühlung/ Beheizung (PMV-PPD Ansatz, Kategorie II); Grenze zwischen Winter und Sommer in der Darstellung festgelegt in Anlehnung an eine Heizgrenztemperatur von 12 °C

Fig. 1. Comparison of comfortable operative temperatures for office activity (1.2met) according to [9] for buildings without mechanical cooling system (adaptive approach, Category II) and for mechanical heated and cooled buildings (PMV-PPD approach, Category II); transition from winter to summer at outside temperature of 12°C in this figure

durch Unterschreiten der Kaltschwelle oder durch Zugluftempfinden. Die dem *Fangerschen* Ansatz zugrunde liegenden Versuche wurden mit sehr geringen Luftgeschwindigkeiten durchgeführt. In der Praxis muss daher zusätzlich zum Nachweis der Gesamtbe-haglichkeit ein Nachweis der geringen Zugluft-rate erfolgen (siehe auch Abschnitt 3.3). Der *Fangersche* Ansatz ist unter Wissenschaftlern gut bekannt. In der Praxis jedoch wird bisher noch mit DIN 1946-2 [7] gerechnet, obwohl diese nicht mehr gültig ist.

Der adaptive Ansatz – obwohl nur in Gebäuden ohne Kühlung oder Heizung, d. h. in der Regel frei belüftete Gebäude, im Sommer gültig – ist vorteilhafter, um Raumtemperaturen zu regeln, da ein Außentemperaturbezug besteht. Durch den Bezug auf ein gleitendes Mittel der Außenlufttemperatur sind aber die Auslegungsbedingungen nicht klar. Für die Anwendung bei einer thermischen Gebäudesimulation mit Extrempersistenzen ist dieses Verfahren gut für die Auslegung des Gebäudes im Sommer geeignet. Zur thermischen Gebäudesimulation siehe auch Abschnitt 5.2.

### 2.3 Lokale Unbehaglichkeiten

DIN EN 15251 regelt nur die Modelle für die Gesamtbe-haglichkeit in Bezug auf die Auslegung für energetische Berechnungen. Es kann jedoch auch lokale Erscheinungen von Unbehaglichkeit geben.

## Zugluft

Das Zugluftmodell in DIN EN ISO 7730 [12] benötigt als Eingangsparameter die Raumlufttemperatur, die mittlere Luftgeschwindigkeit und die Standardabweichung der Luftgeschwindigkeit (bzw. Turbulenzgrad). Der Turbulenzgrad wird in Gebäuden mit RLT-Anlagen im Wesentlichen durch die Luftführung beeinflusst. Wenn im Ganzen thermische Behaglichkeit gegeben ist, dann kann mit diesem Modell der Anteil der Unzufriedenen aufgrund von Zugluftempfinden bestimmt werden (Tabelle 3). Das Verfahren ist bekannt. Vermeidung von Zugluft ist aber nur mit Raumluftströmungssimulation für den gesamten Aufenthaltsbereich eines Raumes planbar. Mit sehr einfachen Ansätzen kann die Luftaustrittsgeschwindigkeit am Luftauslass bestimmt werden. Das Zugluftempfinden kann über Messung im realen Gebäude ermittelt werden. Zur messtechnischen Erfassung stehen hochauflösende omnidirektionale Strömungssonden zur Verfügung. Im Gegensatz zu orientierenden Lufttemperaturmessungen ist die Messung der Luftgeschwindigkeit nur durch fachlich ausgebildetes Personal mit Erfahrung in derartigen Messungen qualifiziert ausführbar.

Zugluftempfinden kann durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten in Räumen mit RLT-Anlagen, durch Kaltluftabfall an hohen, verglasten und mit unzureichendem Wärmeschutz ausgestatteten Fassaden sowie bei Fensterlüftung auftreten. Im letzteren Fall kann aber in der Regel der Nutzer Zuglufterscheinungen selber abstellen.

Tabelle 3. Kategorien für Zugluftempfinden nach DIN EN ISO 7730 [12]

Table 3. Categories for draught rating according to DIN EN ISO 7730 [12]

Kategorie	Unzufriedene (Draught Rating) [%]
A (entspricht I nach [9])	< 10
B (entspricht II nach [9])	< 20
C (entspricht III nach [9])	< 30

## Vertikaler Temperaturgradient

Ein hoher vertikaler Lufttemperaturunterschied im Bereich zwischen Kopf und Fuß kann zu Unbehaglichkeit führen. Tabelle 4 zeigt den Prozentsatz an Unzufriedenen in Abhängigkeit vom vertikalen Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fuß. Die Werte beziehen sich auf eine

Tabelle 4. Zulässige Werte für den vertikalen Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Füßen in Abhängigkeit von der Kategorie des Raumklimas nach DIN EN ISO 7730 [12]

Table 4. Recommended values for vertical temperature gradient between ankle and head for the categories of indoor environment according to DIN EN ISO 7730 [12]

Kategorie	Unzufriedene [%]	Temperaturdifferenz zwischen 1,1 und 0,1 m über Boden [K]
A (entspricht I nach [9])	< 3	< 2
B (entspricht II nach [9])	< 5	< 3
C (entspricht III nach [9])	< 10	< 4

ansteigende Temperatur. Abfallende Temperaturen werden von den Personen weniger empfunden. Durch die Art der Beheizung (Anordnung Heizkörper, Luftheizung) bzw. Kühlung (Nutzung der Fußbodenheizung zur Kühlung) und Belüftung (Quellluft, Mischluft, Fensterlüftung) ergeben sich unterschiedliche vertikale Temperaturgradienten. Mit zunehmend verstärkter Dämmung verringern sich jedoch die Abhängigkeiten von der Beheizungsform. Für Luftheizungssysteme sollte ein sehr hoher Wärmeschutz vorliegen. Für die Auslegung von Quellluftsystemen ist eine Vermeidung der Phänomene durch entsprechende Planung möglich. In anderen Fällen ist dies nur durch eine Strömungssimulation gegeben. Die Messung vor Ort ist relativ einfach, jedoch sind repräsentative Zeiträume zu wählen. Für Fußbodenkühlung sollten Grenzwerte für die maximale Kühlleistung über den Fußboden festgelegt werden (siehe auch folgenden Abschnitt).

## Strahlungstemperaturasymmetrie und Oberflächentemperaturen

Eine asymmetrische Strahlungstemperatur kann ebenfalls zu Unbehaglichkeit führen. Vor allem eine durch warme Decken oder kalte Wände (Fenster) verursachte asymmetrische Strahlung wird von den Menschen als unangenehm empfunden (Tabelle 5).

Die Strahlungstemperaturasymmetrie wird durch den Wärmeschutz und die Beheizungsart bzw. Kühlart bestimmt. Der Nachweis ist aufwendig und erfordert die Berechnung von mittleren Strahlungstemperaturen zwischen zwei gegenüberliegenden Halbräumen. Dazu ist die Berechnung von Einstrahlzahlen (Arbeitsplatz – Umgebung) erforderlich. DIN 1946-2 [7] bietet ein vereinfachtes Verfahren an.

Durch die verbesserte Wärmedämmung (Begrenzung  $H_T$ ) sind in Neubauten in der Regel keine Beschwerden wegen zu kühler oder zu warmer Wände zu erwarten. Bereits bei U-Werten von Fenstern unter  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und Vollverglasung der Fassade ist nicht mit Beschwerden durch Strahlungstemperaturasymmetrie zu rechnen [24]. Wird die Decke jedoch zum Heizen verwendet, kann Unbehaglichkeit auftreten. Die maximale Oberflächentemperatur darf nach [24] bei einer Raumhöhe von 2,4 m und einer Asymmetrie von maximal 5 K den Wert  $30 \text{ °C}$  nicht überschreiten. Nach [27] sollte die Oberflächentemperatur der Decke maximal  $35 \text{ °C}$  betragen. Werte für Fußböden zeigt Tabelle 6. Bei Deckenkühlung ist die Taupunkttemperatur und nicht die Asymmetrie das Auslegungskriterium.

**Tabelle 5.** Zulässige Werte für die Strahlungstemperaturasymmetrie (als Differenz der mittleren Strahlungstemperatur zweier Halbräume) in Abhängigkeit von der Kategorie des Raumklimas nach DIN EN ISO 7730 [12]

**Table 5.** Recommended values for radiant temperature asymmetry (difference of the mean radiant temperature of two half-spacer) for the categories of indoor environment according to DIN EN ISO 7730 [12]

Kategorie	Unzufriedene [%]	Asymmetrie [K]			
		Decke		Wand	
		warm	kühl	warm	kühl
A und B (entspricht I nach [9])	< 5	< 5	< 14	< 23	< 10
C (entspricht III nach [9])	< 10	< 7	< 18	< 35	< 13

**Tabelle 6.** Zulässige Werte für warme und kalte Fußböden in Abhängigkeit von der Kategorie des Raumklimas nach DIN EN ISO 7730 [12]

**Table 6.** Recommended values for warm and cold floor for the categories of indoor environment according to DIN EN ISO 7730 [12]

Kategorie	Unzufriedene [%]	Oberflächentemperatur [°C]
A und B (entspricht I nach [9])	< 10	19–29
C (entspricht III nach [9])	< 15	17–31

Im Denkmalschutz, wenn nicht ausreichend wärme-gedämmt werden kann und trotzdem die Räume für den Aufenthalt von Personen genutzt werden sollen, können viele der genannten lokalen Unbehaglichkeitsphänomene eine Rolle spielen. Hierauf sollte hingewiesen werden und eine detaillierte Betrachtung der Behaglichkeit durch einen Fachplaner erfolgen.

## 2.4 Arbeitsstättenverordnung

Die Arbeitsstättenverordnung fordert eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur [26]. Die derzeitige Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 Raumtemperatur konkretisiert dieses Schutzziel, indem sie fordert, dass die Lufttemperatur in Arbeitsräumen +26 °C nicht überschreiten soll. Diese Regelung hat in der Vergangenheit zu verschiedenen Gerichtsurteilen geführt, die zu einer Verunsicherung der Planer geführt haben [17]. Für den Fall hoher Außentemperaturen wurde daher diese strenge Grenze durch die Fassung der ASR 6 von 2001 [1] aufgelöst: „...bei darüber liegender Außentemperatur darf in Ausnahmefällen die Lufttemperatur höher sein“.

Eine vom Ausschuss für Arbeitsstätten berufene Expertengruppe arbeitet derzeit an einer Neufassung der ASR A3.5 Raumtemperatur, bei der die derzeitig unbestimmte Öffnung der maximalen Raumtemperatur über 26 °C konkretisiert werden soll. Denkbar ist für den Fall von hohen Außentemperaturen nach [6] ein gestuftes Modell, bei dem in Abhängigkeit von der Raumtemperatur unterschiedliche Maßnahmen zur Verbesserung des Wohlbefindens von Personen wie geänderte Arbeitszeitregelungen, Lockerung der Kleiderordnung oder Ausgabe von zusätzlichen Getränken, vorgeschlagen werden.

## 2.5 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Mit Hilfe von DIN 4108-2 [8] werden vor dem Hintergrund Behaglichkeit und Energieeinsparung bauliche Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz vorgegeben. Dies erfolgt mit dem Ziel, moderate Innentemperaturen allein durch bauliche Maßnahmen zu erreichen, sofern das Gebäude keine besonders hohen internen Lasten aufweist bzw. bei gekühlten Gebäuden für einen geringen Kühlenergiebedarf zu sorgen.

Die Norm unterscheidet mit den dort festgelegten drei Klimaregionen auch drei Grenzwerte der Innentemperatur. Diese Grenztemperaturen werden danach für übliche Gebäude an nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten, wenn die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz der Norm erfüllt werden. Die unterschiedliche Festlegung des Grenzwertes der Innentemperatur wurde mit Hinweis auf die Adaptation des Menschen an das vorherrschende Außenklima gewählt. Die Norm verweist außerdem darauf, dass andere Regelwerke zu Anforderungen an die thermische Behaglichkeit von den aufgeführten Temperaturen unberührt bleiben. In diesem Sinne sollte DIN 4108-2 auch als Hilfsmittel für den Entwurf von Gebäuden verstanden werden.

Das Verfahren unterliegt einigen Anwendungsbeschränkungen. Das Nachweisverfahren kann beispielsweise nicht für Gebäude mit Doppelfassaden angewendet werden. Ein detaillierter Nachweis darf auch über dynamische Berechnungen erfolgen, wobei die internen Wärmegewinne mit 120 Wh/m<sup>2</sup>d (5 W/m<sup>2</sup>) bzw. 144 Wh/m<sup>2</sup>d (14 W/m<sup>2</sup> während der Nutzungsdauer) anzusetzen sind. Diese Werte gelten für Wohn- bzw. Büroräume. Je nach Büroraumnutzung können die Ansätze zu optimistisch

für einen ausreichenden Wärmeschutz sein. Die internen Wärmegewinne können in der Praxis höher liegen. Weitere Hinweise können [27] entnommen werden.

In anderen Nichtwohngebäuden wie in Schulen oder Kindergärten ist aufgrund der mit einer großen Personenbelegungsdichte verbundenen internen Wärmelast davon auszugehen, dass die Randbedingungen für das Verfahren nicht erfüllt werden. Zu beachten ist außerdem, dass bei Schulen oder Bürogebäuden die höchsten internen Wärmegewinne gleichzeitig mit den Lasten durch Besonnung auftreten.

Die Norm kann eine Unbehaglichkeit, die aufgrund von warmen, strahlenden Fassaden entsteht, z. B. durch innenliegenden Sonnenschutz und Sonnenschutzverglasung (mit hohem Absorptionsanteil, ältere Sonnenschutzverglasung) nicht abbilden. Durch die entstehenden sehr hohen Oberflächentemperaturen kann sich die operative Temperatur im Raum beträchtlich erhöhen (beträchtlich kann im Sommer bereits eine Erhöhung der operativen Temperatur um 1 K sein). Die Möglichkeiten einer intensiven Nachtlüftung werden durch den Ansatz in DIN 4108-2 nur eingeschränkt beschrieben. In den meisten Fällen lassen sich deutlich höhere Luftwechselraten als die in der Norm zugrunde gelegten erzielen, wodurch die Effekte einer intensiven Nachtlüftung insbesondere bei Gebäuden mit hoher Wärmespeicherfähigkeit durch die Norm unterschätzt werden [15].

## 2.6 Nachweis des winterlichen Wärmeschutzes

Der winterliche Wärmeschutz wird für neu zu errichtende Gebäude und Änderungen für bestehende Gebäude im Wesentlichen durch die Energieeinsparverordnung geregelt. Um den Primärenergieverbrauch von Gebäuden zu begrenzen, sind die Anforderungswerte an den Primärenergiebedarf in den vergangenen Jahren deutlich verschärft worden. Die Begrenzung des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlustes führt dabei zu gut gedämmten Außenbauteilen. Die dadurch entstehenden hohen Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Bauteile sorgen für eine sehr gute Grundvoraussetzung thermischer Behaglichkeit im Raum.

## 2.7 Luftfeuchte

Literaturauswertungen und eigene Messungen des Instituts für Bauphysik haben ergeben, dass der Mensch die relative Luftfeuchte in den in Gebäuden mit Büro- oder ähnlicher Nutzung auftretenden Bereichen nicht wahrnehmen kann [28], [2], [14]. Die relative Luftfeuchte hat in den in Bürogebäuden üblicherweise auftretenden Bereichen einen unbedeutenden Einfluss auf die thermische Behaglichkeit.

Nach DIN EN 15251 [9] braucht die Raumluft üblicherweise nicht befeuchtet zu werden. Jedoch verursacht lang andauernde hohe Raumluftfeuchte mikrobielles Wachstum, während sehr niedrige Luftfeuchte (< 15 bis 20 %) Trockenheit und Reizungen der Augen und Luftwege verursachen kann. Die Anforderungen an die Luftfeuchte beeinflussen die Auslegung von Entfeuchtungs- (Kühllast) und Befeuchtungsanlagen und den Energiever-

brauch. Bei bestimmten Gebäuden (Museen, historische Gebäude, Kirchen) müssen zusätzliche Anforderungen an die Luftfeuchte berücksichtigt werden. Üblicherweise ist keine Befeuchtung oder Entfeuchtung der Raumluft erforderlich; werden jedoch Befeuchtungs- und/oder Entfeuchtungsanlagen eingesetzt, so sollte eine übermäßige Befeuchtung und Entfeuchtung vermieden werden. Für die Dimensionierung von Befeuchtungs- und Entfeuchtungsanlagen sind Hinweise in Anhang B3 von DIN EN 15251 gegeben. Als obere Begrenzung der absoluten Luftfeuchte (Schwüleempfinden) sollten 12 g Wasser je kg trockene Luft nicht überschritten werden [7], [9], [27].

## 3 Subjektive Bewertung des Raumklimas

Nach DIN EN 15251 [9] kann die unmittelbare subjektive Bewertung durch die Nutzer für eine Gesamtbewertung des Raumklimas verwendet werden. Dabei sind tägliche, wöchentliche oder monatliche Bewertungen durch das Ausfüllen von Fragebögen durchzuführen. Durch DIN EN ISO 10551 [10] werden die Bewertungsskalen und Formulierungen der Fragen standardisiert. Die Standardisierung von Bewertungsskalen soll die Zuverlässigkeit von subjektiver Datenermittlung erhöhen und die Daten miteinander vergleichbar machen.

Nach DIN EN ISO 10551 [10] kann eine thermische Umgebung subjektiv sehr unterschiedlich befragt und beurteilt werden. Nicht nur nach Empfinden, Behaglichkeit, Präferenz, Annehmbarkeit kann gefragt werden, sondern die Fragestellung selbst wird in der Praxis auf unterschiedliche Weise formuliert und auf verschiedenartigen Skalen gestellt.

Psychologisch thermischen Behaglichkeitsuntersuchungen dienen in der Praxis hauptsächlich die folgenden zwei Fragen:

1. Wie viele Personen sind mit der Umgebung thermisch zufrieden?
2. Wie kann die Zufriedenheit mit den Klimabedingungen gesteigert werden? Sollte das Raumklima zum warmen oder kalten Bereich hin verändert werden?  
Dadurch kann schließlich eine optimale Umgebung gefunden werden.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass Befragte über ihr thermisches Empfinden (Temperaturempfinden) recht gut Auskunft geben können. Die thermische Behaglichkeit oder die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur kann aber auch von anderen Faktoren als thermischen beeinflusst werden (siehe Abschnitt 4).

## 4 Einfluss der Umwelt auf die Wahrnehmung des Raumklimas

### 4.1 Einflussnahmemöglichkeit

Das Raumklima wird in den durch Normen festgelegten Bereichen durch Lüftungs- und Klimaanlage, Beleuchtungssysteme und Fassaden als Schnittstelle zum Außenklima beeinflusst bzw. eingestellt. Das Zusammenwirken der technischen Ausstattung eines Gebäudes mit dem Gebäude selbst bestimmt wesentlich den Energiebedarf eines Gebäudes. Der Nutzer eines Gebäudes darf jedoch nicht vergessen werden. Durch seine Ansprüche an das Raumklima und sein Verhalten wird der Energieverbrauch we-

sentlich mitbestimmt. Oft ist es aber so, dass der Nutzer beispielsweise auf die raumluftechnische Anlage keinen Einfluss nehmen kann. In den letzten Jahren wurde durch den Einsatz intelligenter Regelungssysteme versucht, dem Nutzer Unterstützung zu geben. Dadurch können erhebliche Energieeinsparpotentiale erschlossen werden. Voraussetzung dafür ist einerseits, die Ansprüche und Erwartungen der Nutzer an das Raumklima zu verstehen und dem Nutzer in dem Maße Einfluss auf die Systeme zu verschaffen, die ihm auch die Gewissheit einer Einflussnahmemöglichkeit vermitteln. Andererseits sollen intelligente Regelungssysteme dazu führen, dass bei Abwesenheit der Nutzer alle Systeme für einen niedrigen Energieverbrauch zusammenarbeiten.

Zufriedenheit mit dem Raumklima hängt auch davon ab, ob die thermischen Bedingungen und die Erwartung der Personen, wie das Raumklima sein sollte, in einem gegebenen Kontext von Außenklima, Büroumfeld, Ausstattung in Übereinstimmung gebracht werden [3].

Das Vorhandensein von verschiedenen Möglichkeiten, das Raumklima beeinflussen zu können, wird in vielen Arbeiten der letzten Jahre als sehr wichtig erachtet. [18] nennt folgende Größen:

- offene Fenster,
- Sonnenschutz/ Blendschutz,
- Türen,
- Ventilatoren (lokaler Einsatz im Sommer),
- Thermostatventile,
- Beleuchtung.

Die Quantifizierung des Einflusses auf die Zufriedenheit der Gebäudenutzer ist jedoch noch nicht gelungen.

Die von Personen empfundene Einflussnahmemöglichkeit wird mit steigender Anzahl der Personen im Raum eingeschränkt [29]. [18] zeigt, dass die empfundene Möglichkeit das Raumklima zu beeinflussen in Gebäuden mit Fensterlüftung deutlich höher ist als in Gebäuden mit RLT-Anlagen. In Gebäuden mit RLT-Anlagen empfinden in dieser Untersuchung die Befragten eine geringe Einflussmöglichkeit bei nicht offenen Fenstern oder wenn über Luft geheizt wird. Beide Konstellationen sind aber häufig gekoppelt. Welche Konstellationen von Gebäude und Anlagentechnik ursächlich für diese Einschätzung verantwortlich sind, ist noch ungeklärt. Insgesamt wünschen sich aber knapp 85 % der Befragten Einfluss auf das Raumklima.

Die Einflussnahme des Nutzers muss bei der thermischen Gebäudesimulation berücksichtigt werden. So schließen z. B. Nutzer oft den Sonnenschutz nicht vollständig. Dadurch ist die Sonnenschutzwirkung in der Fassade herabgesetzt.

## 4.2 Psychosoziale und demographische Faktoren

Der Grad der Zufriedenheit mit den thermischen Umgebungsbedingungen von Aufenthaltsräumen wird im derzeitigen Normwerk als Funktion physikalischer und thermophysiologicaler Parameter ermittelt. Aus Untersuchungen zur Befindlichkeit von Büroarbeitern ist seit längerem bekannt, dass die Zufriedenheit mit raumklimatischen Bedingungen auch durch extraphysikalische Variablen beeinflusst wird [2].

Im Ergebnis multipler logistischer Regressionsanalysen zeigt sich, dass thermisches Empfinden weitgehend unabhängig von extraphysikalischen Einflüssen ist. Thermische Behaglichkeit und Zufriedenheit jedoch stehen in deutlicher Wechselwirkung mit extraphysikalischen Variablen, zu denen neben demographischen Charakteristika auch Tätigkeitsmerkmale, Arbeitszufriedenheit und die Belüftungsart des Gebäudes oder Raumes gehören. Aus diesen z. T. sehr starken und signifikanten Wechselwirkungen kann geschlossen werden, dass zumindest bei der Analyse und Bewertung von raumklimatischen Beschwerden auch psychosoziale und demografische Einflüsse einzubeziehen sind [4]. [25] zeigt, dass sich Personen unter gleichen thermischen Bedingungen in ihrer Wohnung im Vergleich zu ihrem Büro oder einem Klimaraum wärmer fühlen.

## 5 Nachweis von Behaglichkeit und Raumqualität

Der Nachweis der Behaglichkeit und der Raumqualität kann auf unterschiedliche Weise erfolgen: Durch die Dokumentation der Auslegungsbedingungen, durch Messen, durch rechnergestützte Berechnungen und durch Befragen.

### 5.1 Messen

Die Durchführung von Messungen erscheint allgemein geeignet in bestehenden Gebäuden. Hier können die vorhandenen Raumklimazustände exakt erfasst werden. Das Bedienen der Messgeräte zur Klassifizierung ist aber mehr als nur orientierende Messung der Lufttemperatur. Sollen die in Abschnitt 2 beschriebenen Eigenschaften der Behaglichkeit untersucht werden, so sind fachspezifische Kenntnisse erforderlich. Gerade die Messung von Luftgeschwindigkeiten zur Bewertung der Zugluftrate stellt hohe Anforderungen an die Durchführung und Auswertung der Messungen.

Nach DIN EN 15251 [9] müssen die Messungen in repräsentativen Räumen unterschiedlicher Bereiche und Ausrichtungen, mit unterschiedlichen Lasten in typischen Betriebsphasen durchgeführt werden. Die Einstufung in die Kategorien des Innenraumklimas beruht auf der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Raumtemperatur. Die Messpunkte und die Messgeräte müssen EN ISO 7726 [11] entsprechen. Im Hinblick auf den Standort der Messeinrichtung innerhalb der untersuchten Räume ist den in EN ISO 7726 angegebenen Empfehlungen zu folgen. Die Messungen müssen in der Aufenthaltszone der Nutzer durchgeführt werden. Typische Witterungsbedingungen der kalten und warmen Jahreszeit sollten als äußere Randbedingung für die Messung gewählt werden. Dazu gibt DIN EN 15251 [9] folgende Auswahlkriterien an:

- Winter (Heizperiode): bei oder unterhalb der statistischen mittleren Außentemperatur der 3 kältesten Monate des Jahres;
- warme Jahreszeit (Kühlperiode): bei oder oberhalb der statistischen mittleren Temperaturen der 3 wärmsten Monate des Jahres und bei klarem Himmel;
- Dauer der Temperaturmessung: repräsentativ, also z. B. 10 Tage.

Die Lufttemperatur in einem Raum mit gutem Wärmeschutz, geringem Verglasungsanteil an der Fassade bzw.

außenliegendem Sonnenschutzsystem kann als gute Abschätzung für die operative Temperatur gelten. Für Räume mit großen Verglasungsflächen und innenliegendem Sonnenschutz oder geringem Wärmeschutz ist die Betrachtung der Lufttemperatur nicht ausreichend. Hier sollte der Einfluss der Temperaturen der Umgebungsflächen abgeschätzt werden.

## 5.2 Berechnung der Behaglichkeit

Das PMV-PPD Modell zur Bestimmung der Gesamtbehaglichkeit erfordert ein Rechnerprogramm oder die Anwendung von Tabellen, die leicht durch Fachplaner vorgenommen werden können. Verschiedene Programme sind erhältlich.

Thermische Gebäudesimulationsprogramme können für die Berechnung von Überschreitungshäufigkeiten von Raumtemperaturen eingesetzt werden. Einige Programme bieten auch die Berechnung von PMV und PPD an. Dies beruht aber auf Vereinfachungen, da die Oberflächentemperaturen der Bauteile bei vielen Berechnungsmethoden aufgrund von nicht-geometrischen Modellen bestimmt werden. Damit wird die operative Temperatur im Raum nur näherungsweise vorhergesagt. Strahlungstemperaturasymmetrie kann daher mit diesen Programmen nicht berechnet werden. Durch die Bestimmung nur einer Lufttemperatur je Zone (Raum) ist eine örtliche Auflösung der Temperatur und damit die Bewertung von vertikalen Temperaturgradienten nicht möglich. Auch das Zugluftempfinden kann nicht bewertet werden. Für die Bestimmung der Strahlungstemperaturasymmetrie bietet [7] ein vereinfachtes Verfahren an.

Durchströmungsprogramme ermöglichen durch den Ansatz von Druckunterschieden auf der Außenseite eines Gebäudes die Berechnung des freien Luftwechsels durch Öffnungen und Undichtheiten in der Fassade. Solche Programme werden vereinzelt mit thermischen Gebäudesimulationsprogrammen gekoppelt und können so beispielsweise helfen, Strategien zur nächtlichen Gebäudeauskühlung zu ermitteln. Die Programme werden derzeit noch nicht häufig eingesetzt. Spezialwissen für die Anwendung ist erforderlich.

Mit CFD-Berechnungen können Raumluftrömungen und ihre Auswirkungen auf die Behaglichkeit untersucht werden. Mit solchen Programmen sind aber auch bei Vorhandensein entsprechender Strahlungsmodelle Fragen der thermischen Gesamtbehaglichkeit (Abschnitt 3.2), des Zugluftempfindens, der Strahlungstemperaturasymmetrie, des vertikalen Temperaturgradienten (Abschnitt 3.3) untersuchbar. In diesen Modellen können Wärmeübergangswiderstände, Temperaturen und Luftgeschwindigkeiten genauer modelliert und örtlich aufgelöst werden. Solche Programme werden nur von sehr erfahrenen Spezialisten und in der Forschung eingesetzt. Kritisch zu sehen ist auch, dass die Berechnungen entweder sehr vereinfacht erfolgen müssen oder einen hohen rechentechnischen Aufwand erfordern. Derzeit sind die Erfahrungen noch so gering, dass selbst erfahrene Anwender auf den Vergleich mit Validierungsmessungen angewiesen sind, die nur ungenügend zur Verfügung stehen.

DIN EN 15251 [9] fordert, entsprechende Computerprogramme nach prEN 15265 und prEN 15255 zu validie-

ren. Für alle Arten von Simulationen sollte eine Qualitätssicherung erfolgen. Da die Simulationsprogramme über sehr viele Stellschrauben verfügen, ist das Ergebnis einer Simulation nur zu bewerten bei Dokumentation der eingestellten Randbedingungen wie Nutzungszeiten, Betätigung des Sonnenschutzes, Verschattungsfaktoren, interne Wärmelasten, verwendeter Wärmeschutz, Speicherfähigkeit, Zonierung usw.

## 5.3 Fragen

Die unmittelbare, subjektive Bewertung durch die Nutzer kann für eine Gesamtbewertung des Raumklimas verwendet werden. Dabei sind tägliche, wöchentliche oder monatliche Bewertungen durch das Ausfüllen von Fragebögen durchzuführen. In Forschungsvorhaben werden Fragebögen verwendet, die das thermische Empfinden und die thermische Behaglichkeit für verschiedene Körperteile und insgesamt erfragen. Genauso wie für die Messung sind repräsentative Zeiträume im Sommer und Winter für die Befragung zu wählen. Die Durchführung kann aber in der Regel nicht durch einen Fachplaner Bauphysik oder TGA erfolgen. Für die Durchführung von Befragungen und vor allem für die Auswertung ist Spezialwissen erforderlich. So muss berücksichtigt werden, dass der Mensch für einige Größen wie z. B. Luftfeuchte in den in Gebäuden auftretenden Bereichen kein Sensorium hat und keine Bewertung vornehmen kann. Auch gibt es Einflüsse auf die Behaglichkeitsbewertung, wie z. B. in Abschnitt 4 erläutert. Ohne eine Ergänzung von Fragen zu psychosozialen Faktoren sollte im Feld keine Befragung zum Raumklima durchgeführt werden. Eine parallele Erfassung von objektiven Raumklimamessdaten erscheint sinnvoll. Aus Sicht der Autoren erscheint die Befragung als Instrument zur Klassifizierung eines Gebäudes im Rahmen des Leitfadens Nachhaltiges Bauen eher ungeeignet. Zur Mängelerforschung und Verbesserung des Raumklimas kann ein Fragebogen aber wichtige Erkenntnisse liefern.

## 5.4 Zeitgewichtung

DIN EN 15251 [9] gibt mehrere Möglichkeiten zur Bewertung des Raumklimas auf Grundlage von thermischer Gebäudesimulation oder Messungen:

### *Einfaches Kriterium*

Das Gebäude erfüllt die Kriterien, wenn die 95 % des Gebäudevolumens repräsentierenden Räume die für die gewählte Kategorie geltenden Kriterien erfüllen.

### *Stundenkriterium*

Die Eigenschaften von Gebäuden oder Räumen mit verschiedener Ausstattung können durch Berechnung der Anzahl der Stunden oder des prozentualen zeitlichen Anteils bewertet werden, in denen die Kriterien tatsächlich erfüllt oder nicht erfüllt werden (Bild 2).

### *Gradstunden-Kriterien*

Im Hinblick auf das thermische Raumklima können die außerhalb der Grenzwerte liegenden Gradstunden als Leistungsindikatoren des Gebäudes für die warme oder kalte Jahreszeit verwendet werden [16].

Qualität des Raumklimas in % der Zeit in vier Kategorien				
Prozentsatz	5	7	68	20
Thermisches Raumklima	IV	III	II	I
Prozentsatz	7	7	76	10
Raumluftqualität	IV	III	II	I

Bild 2. Prozentualer Anteil der Nutzungsstunden, bei dem die Kriterien tatsächlich erfüllt oder nicht erfüllt werden [9]  
 Fig. 2. Percentage of occupied hours when the specified criteria are met or not [9]

**PPD-gewichtete Kriterien**

Die Zeit, während der das tatsächliche PMV die Behaglichkeitsgrenzen überschreitet, wird durch Multiplikation mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion des PPD ist.

**6 Schlussfolgerungen für den Leitfaden**

Die Tabellen 7 bis 9 fassen für Wohngebäude und Bürogebäude mögliche Bewertungen, die nach dem heutigen Stand sinnvoll durchgeführt werden können, zusammen. Dabei wird zwischen Neubauten bzw. zu sanierenden Gebäuden und dem Bestand unterschieden. Die Bewertung erfolgt in Abhängigkeit von der technischen Ausstattung der Gebäude unterschiedlich.

**Qualitätssicherungsverfahren**

Bereits bei der Ausschreibung sollte auf eine klare Beschreibung der Aufgabe des Gebäudes geachtet werden. Dabei können folgende Fragestellungen hilfreich sein:

- Wer wird der Nutzer des Gebäudes sein?
- bei Umbau: Wo lagen bisher die Beschwerden? Befragung;

- Welche Tätigkeiten führen die Nutzer aus? Gibt es verschiedene Nutzungen?
- Wie hoch sind die inneren Wärmelasten? Wie können die äußeren Wärmelasten reduziert werden?
- Ist Adaptation der Nutzer im Sommer zugelassen? Sind flexible Arbeitszeiten bei hohen Außentemperaturen möglich? Gibt es einen Dress-Code für die Beschäftigten?

**Dokumentation**

Die Randbedingungen einer eventuellen Simulation oder der Auslegung müssen dokumentiert werden und als Grundlage für die Ausschreibung der Leistung dienen. Während der Ausführung muss überprüft werden, ob die baulichen und anlagentechnischen Kenndaten, die aus der Auslegung resultierten, auch gebaut werden. Gibt es Abweichungen, muss eine Anpassung der Behaglichkeitseinstufung vorgenommen werden. Die Eigenschaften des Gebäudes und die der Klassifizierung zugrundeliegenden Kenndaten sind mit dem Gebäude zu übergeben.

**7 Fazit**

Bis jetzt gibt es in Normen verschiedene Ansätze, die thermische Gesamtbehaglichkeit und lokale Unbehaglichkeiten zu bewerten. Für einige dieser Kriterien sind einfache, in der Praxis für Zertifizierungsverfahren geeignete Verfahren derzeit nicht verfügbar. Aufgrund der derzeitigen Normungssituation ist eine Bewertung mit harmonisierten Kriterien nicht möglich. Die aufgeführten Bewertungskriterien beziehen sich auf verschiedene Quellen und wenden unterschiedliche Methoden an. Wünschenswert ist ein einheitliches Vorgehen, da es für Planer und Nutzer transparenter wird. Wichtige Kriterien, die die Nutzerzufrieden-

Tabelle 7. Bewertungskriterien für Wohngebäude  
 Table 7. Criteria for assessment of residential buildings

	Neubau und Sanierung	Bestand
TK Wi	EnEV DIN 4108-2 (Schimmel)	wie Neubau und/oder Messen der operativen Raumtemperatur: DIN EN 15251
TK So	DIN 4108-2, DIN EN 15251	wie Neubau und/oder Messen der Operativen Raumtemperatur: DIN EN 15251
DR	bei Gebäuden mit RLT: DIN EN ISO 7730	bei Gebäuden mit RLT: wie Neubau und/oder Messen nach DIN EN ISO 7726
VTg	-	-
StA	-	VDI 3804, Oberflächentemperaturen
FBt	DIN EN ISO 7730, Auslegung nach DIN EN 1264	wie Neubau und/oder Messen der Fußbodentemperatur
RH	-	-
QS	Auslegungs- und Nachweiskriterien	Auslegungs- und Nachweiskriterien, Messdaten
TK Wi: thermischer Komfort im Winter TK So: thermischer Komfort im Sommer DR: Zugluftrate VTg: vertikaler Temperaturgradient StA: Strahlungstemperaturasymmetrie FBt: Fußbodentemperatur RH: relative Luftfeuchte bzw. auch absolute Luftfeuchte QS: Qualitätssicherung		

**Tabelle 8. Bewertungskriterien für Bürogebäude mit RLT – Anlagen einschl. Kühlfunktion**  
**Table 8. Criteria for assessment of office buildings with HVAC systems**

	Neubau und Sanierung	Bestand
TKWi	EnEV	wie Neubau und/oder Messen der Operativen Raumtemperatur: DIN EN 15251
TK So	Auslegung nach VDI 2078 oder Simulation: DIN EN 15251 (RLT)	wie Neubau und/oder Messen der Operativen Raumtemperatur: DIN EN 15251
DR	DIN EN ISO 7730, Dokumentation Kenndaten Luftauslässe	wie Neubau und/oder Messen nach DIN EN ISO 7726
VTg	bei Quellluft: DIN EN ISO 7730, Kenndaten Luftauslässe	wie Neubau und/oder Messen nach DIN EN ISO 7726
StA	bei Deckenheizung: Auslegung $T_{O, Decke} \leq 35 \text{ °C}$	Auslegung und/oder Messen: $T_{O, Decke} \leq 35 \text{ °C}$ ; Kenndaten Fenster: $U_w \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , DIN 1946-2, VDI 3804
FBt	DIN EN 7730, Auslegung nach DIN EN 1264	wie Neubau und/oder Messen der Fußbodentemperatur
RH	Auslegung: untere Grenze nach DIN EN 15251, obere Grenze: $< 12 \text{ g/kg}$	
QS	Auslegungs- und Nachweiskriterien, Randbedingungen Simulation	Auslegungs- und Nachweiskriterien, Randbedingungen Simulation, Messdaten
TKWi: thermischer Komfort im Winter TK So: thermischer Komfort im Sommer DR: Zugluftrate VTg: vertikaler Temperaturgradient StA: Strahlungstemperaturasymmetrie FBt: Fußbodentemperatur RH: relative Luftfeuchte bzw. auch absolute Luftfeuchte QS: Qualitätssicherung		

**Tabelle 9. Bewertungskriterien für Bürogebäude mit freier Lüftung und Nur-Luft-Anlagen**  
**Table 9. Criteria for assessment of office buildings with natural ventilation and mechanical ventilation with unconditioned air**

	Neubau und Sanierung	Bestand
TKWi	EnEV	wie Neubau und/oder Messen der Operativen Raumtemperatur: DIN EN 15251
TK So	DIN 4108-2 oder Simulation: DIN EN 15251 (adaptives Modell)	wie Neubau und/oder Messen der operativen Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur (gleitendes Mittel): Bewertung nach DIN EN 15251
DR	bei Gebäuden mit RLT: DIN EN ISO 7730	bei Gebäuden mit RLT: wie Neubau und/oder Messen nach DIN EN ISO 7726
VTg	–	–
StA	bei Deckenheizung: Auslegung $T_{O, Decke} \leq 35 \text{ °C}$	Auslegung und/oder Messen: $T_{O, Decke} \leq 35 \text{ °C}$ ; Kenndaten Fenster: $U_w \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , DIN 1946-2, VDI 3804
FBt	DIN EN 7730, Auslegung nach DIN EN 1264	wie Neubau und/oder Messen der Fußbodentemperatur
RH	–	–
QS	Auslegungs- und Nachweiskriterien, Randbedingungen Simulation	Auslegungs- und Nachweiskriterien, Randbedingungen Simulation, Messdaten
TKWi: thermischer Komfort im Winter TK So: thermischer Komfort im Sommer DR: Zugluftrate VTg: vertikaler Temperaturgradient StA: Strahlungstemperaturasymmetrie FBt: Fußbodentemperatur RH: relative Luftfeuchte bzw. auch absolute Luftfeuchte QS: Qualitätssicherung		

heit beeinflussen, sind bisher nur unzureichend erforscht und können derzeit nicht zufriedenstellend bewertet werden. Das sollte bei der Erarbeitung eines Instrumentes zur Nachhaltigkeitsbewertung berücksichtigt werden.

## Literatur

- [1] Arbeitsstättenrichtlinie ASR 6 – Raumtemperaturen: Zu § 6 Abs 1 und 3 der Arbeitsstättenverordnung, Ausgabe Mai 2001.
- [2] *Bischof, W., Bullinger-Naber, M., Kruppa, B., Schwab, R., Müller, B. H.*: Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden – Ergebnisse des ProKlima-Projektes. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003.
- [3] *Bischof, W., Brasche, S., Kruppa, B., Bullinger, M.*: Do Building-Related Complaints Reflect Expectations? Proceedings Indoor Air, 2002, pp. 461–465.
- [4] *Bischof, W., Hellwig, R. T., Brasche, S.*: Thermischer Komfort – die extraphysikalischen Aspekte. Bauphysik 29 (2007), H. 3, S. 208–212.
- [5] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr- Bau-, und Wohnungswesen. Stand Januar 2001.
- [6] *Bux, K., Pangert, R.*: Sommerlich bedingte hohe Raumtemperaturen in Arbeitsstätten – Rechtliche Lage, Wirkungen auf den Menschen und Maßnahmen. Ergo-Med, 2007, H. 3, S. 84–88.
- [7] DIN 1946-2:1994-01: Raumlufttechnik: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln). Berlin: Beuth Verlag, 1994.
- [8] DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Mindestanforderungen an der Wärmeschutz. Berlin: Beuth-Verlag, 2003.
- [9] DIN EN 15251:2007-08: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007.
- [10] DIN EN ISO 10551:2002-01 Ergonomie des Umgebungsklimas – Beurteilung des Einflusses des Umgebungsklimas unter Anwendung subjektiver Bewertungsskalen, Brüssel, 2001.
- [11] DIN EN ISO 7726:2002-04 Umgebungsklima. Instrumente zur Messung physikalischer Größen. (ISO 7726: 1998), Deutsche Fassung EN ISO 7726: 2001.
- [12] DIN EN ISO 7730:2006-05 Ergonomie der thermischen Umgebung. Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. (ISO 7730: 2005), Deutsche Fassung EN ISO 7730: 2006.
- [13] *Fanger, P. O.*: Thermal Comfort. Analysis and applications in Environmental Engineering. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar Florida 1982.
- [14] *Frank, W.*: Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Berichte aus der Bauforschung, Heft 104. Berlin, München, Düsseldorf: Wilhelm Ernst und Sohn, 1975.
- [15] *Hauser, G., Kaiser, J., Rösler, M., Schmidt, D.*: Energetische Optimierung, Vermessung und Dokumentation für das Demonstrationsgebäude des Zentrum für Umweltbewusstes Bauen. Abschlussbericht des BMWA Forschungsvorhaben, Universität Kassel, Kassel, 2004.
- [16] *Hauser, G., Otto, F.*: Auswirkungen eines erhöhten Wärmeschutzes auf die Behaglichkeit im Sommer. Bauphysik 19 (1997), H. 6, S. 169–76; 21.
- [17] *Hausladen, G., Hellwig, R. T., Nowak, W., Schramek, E.-R., Grothmann, T.*: 26 °C – Falsch verstandener Arbeitsschutz? Bauphysik 26 (2004), H. 4, S. 197–204.
- [18] *Hellwig, R. T.*: Thermische Behaglichkeit – Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Gebäuden aus Nutzersicht. Dissertation, Technische Universität München, November 2005.
- [19] *Hellwig, R. T., Bischof, W.*: Gültigkeit thermischer Behaglichkeitsmodelle. Bauphysik 28 (2006), H. 2, 131–136.
- [20] *Hellwig, R. T., Bischof, W.*: Raumklimatische Untersuchungen im Feld. Tagungsband, Hannover, Deutsche Kälte-Klima-Tagung 22.–23. November 2007.
- [21] *Leaman, A., Bordass, B.*: Productivity in buildings: the ‘killer’ variable. Building Research & Information 27 (1999), H. 1, S. 4–19.
- [22] *Mayer, E.*: Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig? KI Luft- und Kältetechnik. 1998, H. 12, S. 575–577.
- [23] *Mayer, E., Schwab, R.*: Untersuchung der physikalischen Ursachen von Zugluft. gi Gesundheitsingenieur 111 (1990), H. 1, S. 17–30.
- [24] *Olesen, B. W., Hellwig, R. T.*: Hygienische Grundlagen. Ergänzungen. In: Recknagel, Sprenger, Schramek (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2007/2008. München: Oldenbourg, 2007.
- [25] *Oseland, N. A.*: Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes. Energy and Buildings 23 (1995), No. 2, pp. 105–115.
- [26] Verordnung über Arbeitsstätten ArbStättV, BGBl 2004, 2179.
- [27] VDI 3804:2008-04: Raumlufttechnik für Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln) Entwurf 2008.
- [28] *von Hahn, N.*: „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, 67 (2007), H. 3, S. 103–107.
- [29] *Wilson, S., Hedge, A.*: The Office Survey. London, Buildings Use Studies. 1987 zitiert in [20].

## Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Runa Tabea Hellwig, Gruppenleiterin Raumklima  
M. Eng. Simone Steiger, wissenschaftliche Mitarbeiterin, Gruppe Raumklima  
Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Institutsleiter, Ordinarius TU München  
Dr.-Ing. Andreas Holm, Abteilungsleiter Raumklima und Klimawirkungen  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer, Institutsleiter, Ordinarius Universität Stuttgart  
Alle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley  
runa.hellwig@ibp.fraunhofer.de