



# Wärmeübergabe für Thermische Behaglichkeit und Komfort

## 1. Einleitung

Die Thermische Behaglichkeit stellt sich nicht von selbst ein. Sie lässt sich erreichen, wenn geeignete bau- und anlagentechnische Lösungen unter Beachtung der Nutzungsrandbedingungen (z.B. zusätzliche innere Lasten durch Geräte oder Kunstlicht sowie Bekleidung im Büro) mit dem Ziel eines hohen thermischen Komforts realisiert werden. Dabei sollten lufthygienisch oder bauphysikalisch bedenklichen Verhältnissen vermieden sowie der Energieverbrauch minimiert werden. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise zur Einhaltung der Thermischen Behaglichkeit ist eine wichtige Voraussetzung für kostengünstiges Bauen bzw. Modernisieren, optimierte Energieeinsparung und den uneingeschränkten Komfort für die Nutzer in Aufenthaltsräumen von Wohnungen, Büros usw.

Die Thermische Behaglichkeit hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Unter anderem spielen die Kleidung, die Tätigkeit und die körperliche Verfassung sowie die Luftfeuchtigkeit der Räume eine entscheidende Rolle. Unterschiedliche Temperaturen, die den Körper stark belasten, werden als unangenehm empfunden. Thermische Behaglichkeit und ein Wohlfühlklima im Raum werden erreicht, wenn der menschliche Körper im Sommer weder ins Schwitzen noch im Winter ins Frieren gerät. Man spricht in der Fachwelt von „geringsten thermoregulatorischen Aufwendungen“ des menschlichen Körpers.

Die meisten Menschen fühlen sich im Winter bei einer operativen Raumtemperatur von 21 bis 22 °C wohl und im Sommer bei einer operativen Raumtemperatur von 23 bis 27 °C (siehe Abbildung 1)<sup>1</sup>. Ein Raum wird vom Menschen als behaglich empfunden, wenn die Differenz zwischen Wandoberflächentemperatur und Raumluft weniger als 4 K, die Differenz zwischen Fuß- und Kopfhöhe weniger als 3 K und die Temperaturen verschiedener Raumflächen (in Anlehnung an die Grenzwerte zur zulässigen Strahlungsasymmetrie) weniger als 5 K beträgt.

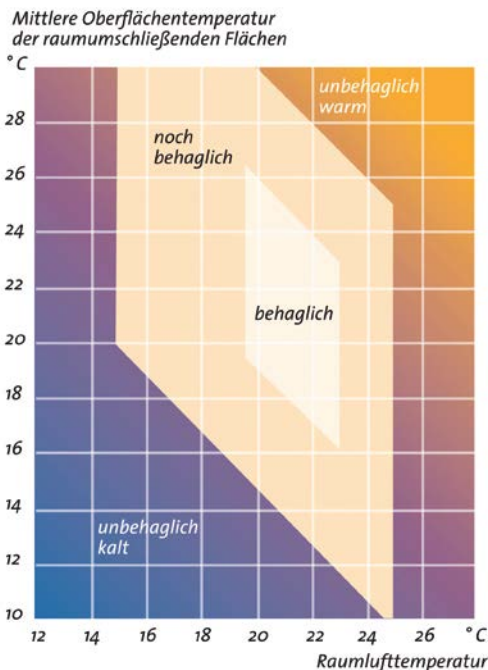


Abb. 1: „Raumklima und thermische Behaglichkeit“, Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Berlin 1975

<sup>1</sup> Unter der operativen Raumtemperatur wird vereinfacht der Mittelwert zwischen Strahlungstemperatur der Raumschließungsflächen und Lufttemperatur im Raum verstanden. Die operative Raumtemperatur ist eine Indikationsgröße für die Thermische Behaglichkeit.

In Abhängigkeit weiterer Faktoren wie z.B. der Luftfeuchte kann ein so genanntes thermisches Behaglichkeitsfeld alternativ in einem  $h,x$ -Diagramm dargestellt werden (siehe Abbildung 2). Der thermisch behagliche Bereich ergibt sich in Abhängigkeit von den Lufttemperaturen  $\vartheta$ , der Luftfeuchte  $\varphi$  sowie dem Wassergehalt der Luft  $x$ .

### Behaglichkeitsfeld im $h,x$ -Diagramm

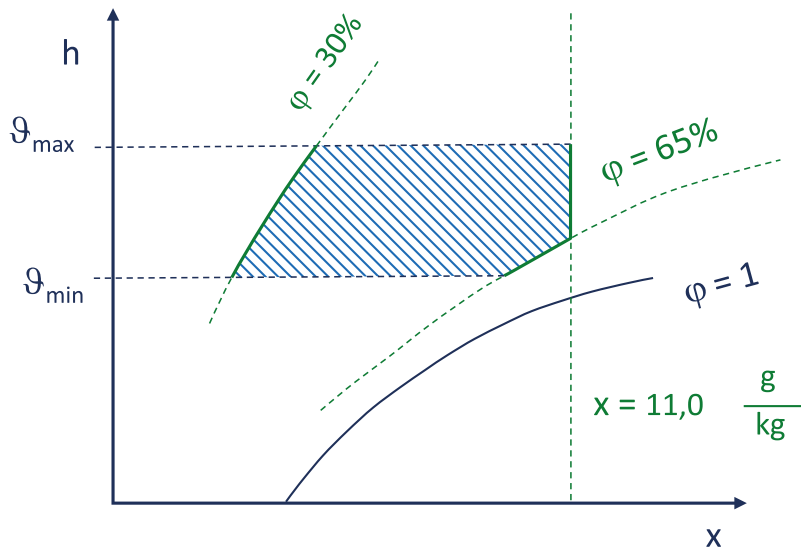


Abb. 2: Das thermische Behaglichkeitsfeld in einem  $h,x$ -Diagramm

Eine optimal platzierte und dimensionierte Einrichtung zur Wärmeübergabe bzw. Kühlung ist entscheidend für ein hohes Maß an Thermischer Behaglichkeit und Komfort – Heizkörper sowie eine Flächenheizung/-kühlung können diese Anforderungen erfüllen. Träge und alte Heizkörper mit großen Wassermengen können nicht so schnell reagieren wie moderne Heizkörper oder eine Flächenheizung/-kühlung mit geringer Überdeckung. Außerdem unterstützen diese modernen Wärmeübergabesysteme die Effizienz der Brennwerttechnik / Wärmepumpensysteme und erneuerbarer Energien (z.B. Solarthermie oder Biomassezentralheizungen) bei der Modernisierung und im Neubau. Gleichzeitig werden wichtige Ressourcen geschont und der  $\text{CO}_2$ -Ausstoß minimiert. Ein weiterer Faktor für Thermische Behaglichkeit und Komfort sind möglichst großflächige Wärmeübergabesysteme. Werden alternativ oder in Kombination Lüftungssysteme eingesetzt, so sollte aus Gründen des Komforts und der Thermischen Behaglichkeit die Luftbewegung im Raum minimiert werden (Grenzwert: Luftgeschwindigkeit  $w \leq 0,2 \text{ m/s}$ ), um Zugerscheinungen sicher vermeiden zu helfen.

Begleitend zu einer Energieberatung soll das Informationsblatt Hilfestellung bei den grundsätzlichen Überlegungen zur Thermischen Behaglichkeit geben.

### 2. Thermische Behaglichkeit im Winter

Für die grundlegende Thermische Behaglichkeit im Raum werden die Heizlast nach DIN EN 12831 [1] ermittelt und die Heizflächen entsprechend danach ausgelegt. Zur Minimierung der Temperaturunterschiede zwischen den raumumschließenden Flächen, sollten freie Heizflächen an den kältesten Raumumschließungsflächen installiert werden. Die integrierten Systeme der Flächenheizung sind üblicherweise vollflächig in Boden, Wand oder Decke installiert. Durch Konvektion und Wärmestrahlung kann der notwendige Temperaturengleich dann bei beiden Lösungen stattfinden. Zur Aufrechterhaltung der Thermischen Behaglichkeit ist zudem der Einsatz einer geeigneten Raumtemperaturregelung erforderlich. Je genauer die Regelungstechnik die gewünschte Temperatur regeln kann und umso schneller das Wärmeübergabesystem auf die Laständerungen reagiert, desto effizienter und komfortabler können die Komfortwünsche des Nutzers erfüllt werden. Um die Energiewende im Wärmemarkt voranzubringen, geht es in der Heizungsmoderni-



sierung nicht nur um die Wärmeerzeugung und -bereitstellung. Die Modernisierung der Wärmeübergabe selbst stellt ein CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial dar, auf das nicht mehr verzichtet werden kann.

Allgemein gelten als operative Temperatur-Erfahrungswerte für den Wohnraum 20 bis 22 °C, für den Schlafraum 16 bis 18 °C und für das Bad 24 bis 26 °C. Hierzu fanden im Rahmen des Forschungsprojekts „Instationäre, gekoppelte, energetische und wärme-physiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK-Systeme [2] an der Technischen Universität Dresden (TUD) Untersuchungen unter definierten Randbedingungen für das Raumklima im Klimaraum, welcher Teil des Combined Energy Labs 2.0 ist, statt. Dabei wurde festgestellt, dass die optimale operative Raumtemperatur für Aufenthaltsräume zwischen  $\vartheta_{op}=21,5$  bis 22 °C liegt [2]. Temperaturen darunter bzw. darüber wurden von den Probanden bei der Untersuchung nur sehr vereinzelt gewählt. Zusätzlich muss auf Basis der Analysen an der TUD festgestellt werden, dass Nutzer höhere operative Temperaturen (abweichend von der genannten optimalen Temperatur) akzeptieren. Niedrigere operative Temperaturen werden jedoch nicht als behaglich wahrgenommen und daher von den Nutzern abgelehnt. Dies kann schon bei Temperaturdifferenzen von  $\Delta\vartheta=0,2$  K festgestellt werden. Außerdem lieferten die Untersuchungen neue Erkenntnisse zur instationären Thermischen Behaglichkeit. In diesem Zusammenhang wird die Zunahme der Raumtemperatur weniger negativ als ein schnelles Absenken dieser empfunden.

### 3. Thermische Behaglichkeit im Sommer

Um die Qualität der resultierenden Thermischen Behaglichkeit im Raum im Sommer zu erreichen, genügt es oft nicht, die Wärmedämmung zu verbessern und Verschattungsmöglichkeiten einzuplanen, denn Thermische Behaglichkeit stellt sich unter sommerlichen Verhältnissen meist nicht von selbst ein. Zur Erreichung behaglicher sommerlicher thermischer Bedingungen, sollten bau- und anlagentechnische Lösungen sinnvoll kombiniert werden. Dabei stehen für die Thermische Behaglichkeit im Sommer folgende Fragen im Vordergrund:

- Welchen Einfluss hat der Wärmeschutz?
- Wie wirkt sich eine unterschiedliche Bauschwere aus?
- Wie problematisch sind Außenwände mit großen Fensterflächen?
- Was kann durch verschiedene Verschattungskonzepte erreicht werden?
- Wie wirken sich unterschiedliche Kühlsysteme aus?
- Welchen Einfluss hat die Anordnung der Kühlflächen bei der Flächenkühlung?
- Welche Auswirkungen hat Luftkühlung im Vergleich zur Flächenkühlung?
- Wie lassen sich Kühlflächen und Lüftungskonzepte sinnvoll kombinieren?

Zur groben Beantwortung der aufgeführten Fragen, wird zunächst zwischen Voll- und Ankühlung unterschieden.

Die Ankühlung wird definiert, als ein System, welches primär gemäß der Heizlast ausgelegt wurde und im Sommer auch als Kühlung genutzt werden kann. Für diese Systeme wird in der Regel keine gesonderte Kühllastberechnung (z.B. nach VDI 2078 [3]) durchgeführt. Hierbei handelt es sich also um eine Kühlung ohne garantierte Sicherstellung von gewünschten operativen Raumtemperaturen. Als Sonderlösung der Ankühlung kann die Teilkühlung angesehen werden. Bei der Teilkühlung erfolgt die Ankühlung nur von einzelnen Räumen bzw. Wohnbereichen. Im Wohnbereich und bei einfachen Bürogebäuden spielen Lösungsansätze zur Ankühlung und auch zur Teilkühlung eine wesentliche Rolle.

Mit Ankühlungssystemen wird das Ziel verfolgt, die Raumtemperaturen im Sommerfall zu senken, ohne garantierte Verhältnisse (z.B. eine Behaglichkeitsklasse nach DIN EN ISO 7730 [4] unabhängig von den Lastverhältnissen) anzustreben. Eine Ankühlung kann beispielsweise in Kombination mit einer begrenzten Kühlleistung (z.B. Kälteerzeugung durch freie Kühlung oder Kälteübergabe durch Heizkörper sowie Flächenkühlung an Boden, Wand oder Decke) zweckmäßig sein. Gegenüber dem Vergleichsfall

ohne Kühlung kann die Raumlufttemperatur (und somit auch die operative Raumtemperatur) unter gewissen Randbedingungen spürbar reduziert werden. Eine generelle Klassifizierung der globalen thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 [4] kann aber nicht oder nur mit Einschränkungen erreicht werden.

Eine Vollkühlung erfolgt hingegen mit dem Ziel, auch bei höheren Kühllasten definierte Behaglichkeitsverhältnisse, zum Beispiel die Einhaltung einer bestimmten Behaglichkeitsklasse nach DIN EN ISO 7730, zu erreichen, und muss dazu aus anlagentechnischer Sicht über entsprechende Leistungsreserven verfügen. Dafür sind in Abhängigkeit von den Kühllasten grundsätzlich Flächenkühlverfahren, wie zum Beispiel Kühldecke, und Luftkühlverfahren, wie beispielsweise Quelllüftung und Mischlüftung, geeignet.

Analog zur Thermischen Behaglichkeit im Winter, liegen die operativen Temperatur-Erfahrungswerte im Sommer unabhängig von der Raumnutzung zwischen 23 bis 27 °C. Die bereits im Abschnitt 2 genannten Untersuchungen der TUD wurden auch für den Kühlfall durchgeführt und haben gezeigt, dass Überkompensationen, im Sinne von zu starken Absenkungen, von operativen Raumtemperaturen sehr kritisch durch den Nutzer wahrgenommen werden [2]. Insofern ist es umso wichtiger die Sollwerte sehr genau einzuhalten. Festzustellen ist bei Kühlsystemen an der Decke, dass sich ein sehr gleichmäßiges Temperaturprofil über der Raumhöhe einstellt, was sich vorteilhaft auf die thermische Behaglichkeitseinschätzung auswirkt. Zusätzlich ist anzumerken, dass es Begrenzungen hinsichtlich der Oberflächentemperaturen auch aus Sicht der Thermischen Behaglichkeit im Raum gibt, damit auch für den Kühlfall die Strahlungsasymmetrien nicht zu groß werden [5].

#### 4. Fazit

Angenehme und behagliche Räume bestimmen wesentlich die Qualität und den Komfort von Wohnungen, Büros oder einzelner Räume. Die Thermische Behaglichkeit bzw. der Nutzerkomfort können am besten erreicht werden, wenn die installierten Systeme möglichst genau und schnell auf Laständerungen reagieren können und dabei die die Thermische Behaglichkeit negativ beeinflussenden Störgrößen eliminieren. Werden zudem Heiz- und Kühlsysteme auf Basis erneuerbarer Energien eingesetzt, so kann die Thermische Behaglichkeit unter optimierter Energieeffizienz erzielt werden. Dementsprechend ist ein ausgewogenes Gesamtkonzept notwendig, um die Wünsche nach Energieeffizienz, Komfort und eventuellen weiteren Anforderungen zu erfüllen.

#### 5. Literaturverzeichnis

[1] DIN EN 12831-1 „Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 1: Raumheizlast“

[2] Seifert, J; Oschatz, B; Schinke, L; Buchheim, A.; Paulick, S.; Beyer, M; Mailach, B.: Instationäre, gekoppelte, energetische und wärmephysiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK Systeme, Forschungsbericht TU Dresden 2016,

[3] VDI 2078 „Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)“

[4] DIN EN ISO 7730 „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“

[5] Schinke, L.; Beyer, M.; Seifert, J.; Schlott, A.; Fink, M.; Richter, R.; Burchardt-Tofaute, H.; Münz, R.: Entwicklung und Untersuchung von modularen hybriden Heiz- und Kühlflächen in Kombination mit Raumluftkonditionierung, Forschungsbericht TU Dresden 2021

Weitere Informationen:

Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus Teil 1 „Winterliche Verhältnisse“ ([https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Broschueren/bdh-dena-broschuere-thermische-behaglichkeit-2007.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/bdh-dena-broschuere-thermische-behaglichkeit-2007.pdf))

Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus Teil 2 „Sommerliche Verhältnisse“ ([https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Broschueren/DENA\\_ThermischeBehaglichkeit\\_Teil2\\_final.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/DENA_ThermischeBehaglichkeit_Teil2_final.pdf))

BDH-Informationen dienen der unverbindlichen technischen Unterrichtung. Eine Fehlerfreiheit der enthaltenen Informationen kann trotz sorgfältiger Prüfung nicht garantiert werden.

Weitere Informationen unter:  
[www.bdh-industrie.de](http://www.bdh-industrie.de)

Herausgeber:  
Interessengemeinschaft  
Energie Umwelt Feuerungen GmbH  
Infoblatt 78 August/2022