

## Faktoren der Behaglichkeit

Etwa 80 % des Tages verbringt der Mensch in Innenräumen zu Hause, am Arbeitsplatz oder im Transitbereich. Zu einem der Schutz- und Nutzziele eines Hauses gehört es, dem Menschen Behaglichkeit zu bieten. Jeder kennt das, wenn einem unbehaglich zumute ist, dafür mag es verschiedene Gründe und Anlässe geben. Aber was bedeutet Behaglichkeit im Wohnbereich?

Gemeint ist damit die sog. thermische Behaglichkeit, es geht um Wärmeverhältnisse.

### Objektive Faktoren

Die grundlegenden Faktoren, welche die Behaglichkeit kennzeichnen, sind:

- die Raumlufttemperatur und deren Verteilung
- das Verhältnis von Raumlufttemperatur zu den Hüllflächentemperaturen
- die Raumluftfeuchte
- die Luftbewegung
- die Wärmestrahlung

Das sind objektive Faktoren und messbare Größen. Daneben gibt es

### Subjektive Faktoren:

Der Mensch empfindet und nur sein Empfindungsvermögen macht eine Energieform erst zur Wärme. Dabei sind einerseits individuelle Unterschiede feststellbar, andererseits sind Unterschiede in der Sensorik verantwortlich dafür, wie die Wärme empfunden wird. Das bedeutet, auf Wärmestrahlen wie von der Sonne reagiert der Mensch anders als auf Konvektion.

Die Rezeptoren befinden sich in dem größten menschlichen Organ, der Haut. Naturgegeben fühlt sich der Mensch in der Sonne am wohlsten, die Wärmestrahlen empfindet er sogar in kalter Umgebung als höchst angenehm.

Um auch hier der Normierung Genüge zu tun, werden Tests nach DIN EN ISO 7730 durchgeführt – wenn mehr als 90% die Verhältnisse akzeptieren, ist von sehr guten thermischen Verhältnissen auszugehen.

Die hierbei verwendeten Kenngrößen heißen mittlere Raumklimabeurteilung durch die Nutzer (PMV = predicted mean vote) und der zu erwartende Prozentsatz der Unzufriedenen (PPD = predicted percentage of dissatisfied). Nach dieser Norm sind 22 °C als optimal zu betrachten.

### Beeinflussende Faktoren

sind:

- die Geometrie und die Konstruktion der Räume
- das Heizsystem
- das Lüftungssystem und das Lüftungsverhalten
- das Nutzerverhalten

Wirkungsweisen und Zusammenhänge sollen hier im Einzelnen näher betrachtet werden. Dabei sei stets darauf verwiesen, dass nur eine komplexe Betrachtung (ganzheitliche Betrachtungsweise) die richtigen Schlussfolgerungen liefert. Zudem ist die Behaglichkeit die Summe aller Werte, man spricht von der summativen Behaglichkeit.

## Raumlufttemperatur

Sie ist eine wichtige Klimagröße und – in Verbindung mit der Außenlufttemperatur – eine Ausgangsgröße für die Berechnung von Wärmeverlusten. Es gibt empfohlene Raumlufttemperaturen, genormte Raumlufttemperaturen und Raumlufttemperaturen, bei denen sich der Mensch wohl fühlt.

Gemeinhin gelten bei **konvektiven Heizsystemen** folgende empfohlene Lufttemperaturen, daneben stehen die Norm-Innentemperatur nach DIN 4701-2 Tab. 2:

Treppen & Flure	12 - 14 °C	10 °C
Diele, Flur beheizt	15 °C	15 °C
WC	16 °C	15 °C
Schlafen	16 - 18 °C	20 °C
Küche	18 °C	20 °C
Kinder	20 - 22 °C	20 °C
Essen & Wohnen	20 °C	20 °C
Bad	23 - 24 °C	24 °C

Die Wohlfühltemperatur muss jeder für sich selbst festlegen, dafür gibt es keine Norm und auch keine Empfehlung.

## Mietrechtliche Betrachtung:

Ist die Wohnung an eine zentrale Sammelheizung angeschlossen, ist der Vermieter verpflichtet, mindestens während der üblichen Heizperiode vom 01. Oktober bis zum 30. April die Mietwohnungen von 6.00 Uhr morgens bis mindestens 23.00 Uhr abends so mit Heizwärme zu versorgen, dass folgende Temperaturen in den Räumen erreicht werden können:

Wohn-,Schlafzimmer, Küche: 20 °C

Badezimmer, Duschaum: 22 °C

Diele, Flur usw.: 15 °C

Von ca. 24.00 Uhr bis 06.00 Uhr morgens dürfen diese Werte um bis zu drei Grad Celsius unterschritten werden. Gem. BHG und OLG Frankfurt stellt eine Raumtemperatur von 20 Grad Celsius als Wohntemperatur die unterste Grenze des Zumutbaren dar.

Die Raumlufttemperatur ist bei Strahlungswärme absenkbar, ohne dass die Behaglichkeit darunter leidet. Es geht nicht primär darum, eine Soll-Temperatur zu erzielen, sondern den Zustand der Behaglichkeit herzustellen.

## Hüllflächentemperatur

Die Hüllflächen sind die Oberflächen von Fußboden, Decke und Wänden (Innen- und Außenwände). Beim Wärmeschutz spricht man von den zulässigen Oberflächentemperaturen. Es sollen sowohl Unterkühlung (z.B. Außenwand) als auch unzureichende Erwärmung (z.B. Fußbodenheizung) vermieden werden.

Der bekannteste Wert zur Beurteilung der Behaglichkeit ist die Empfindungstemperatur, sie entspricht näherungsweise dem Mittelwert aus Lufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur des Raumes. Sie wird auch Operative Temperatur genannt.

Ein wichtiger Kennwert für den Wärmeschutz von Außenbauteilen ist der U-Wert, er ist aber eine veränderliche Größe und man muss mit  $U_{eff}$  rechnen, dem effektiven U-Wert. Der relevante Faktor für die Energiebilanz eines Außenbauteils ist die Feuchte, die sich sowohl auf das Speicherverhalten als auch auf den U-Wert auswirkt. Neben der Ausgleichsfeuchte spielen die

Sorptionsprozesse eine wichtige Rolle. Mittels Entfeuchtung kann man eine Verbesserung des Ueff erzielen und somit Heizkosten einsparen.

Mit einem guten Wärmeschutz kann man jedoch nicht die Nachteile einer Konvektionsheizung kompensieren und unter Aspekten der Wirtschaftlichkeit sollte man bedenken, dass eine Infrarot- Wärmewellenheizung mehr Einsparung bewirken kann als konventionelle Wärmeschutz-Maßnahmen.

### **Raumluftfeuchte**

Sie wird angegeben in % und kennzeichnet den Wert, wie stark die Raumluft zur aktuellen Temperatur mit Wasser in Dampfform gesättigt ist, mehr als 100% geht nicht und warme Luft nimmt mehr Wasser auf als kalte. Die ideale rel. Raumluftfeuchte beträgt 45...55 %. Auf zu trockene Luft reagiert die Haut ebenso wie auf zu feuchte, das Wärmeempfinden wird beeinflusst. Eine erhöhte Raumluftfeuchte bedeutet aber auch einen erhöhten Heizenergiebedarf, denn feuchter Raumluft ist mehr Energie zuzuführen, um die gewünschte Temperatur zu erreichen bzw. zu halten.

Eine zu hohe Raumluftfeuchte wirkt sich unbehaglich aus, weil Tropenklima nicht dem natürlichen Lebensumfeld hierzulande entspricht: man fühlt sich unwohl und das Atmen fällt schwerer. Diese Erscheinungen kennen viele von der Sauna. Mit der Entstehung von Schimmelpilzen ist zu rechnen.

### **Luftbewegung**

Zugluft wird als unangenehm empfunden, man fröstelt auch wenn es nicht richtig kalt ist. Im Nacken und an den Fußgelenken ist der Mensch am empfindlichsten. In einem Aufenthaltsraum mit 22 °C soll die Zugluftgeschwindigkeit den Wert von 0,2 m/s nicht überschreiten. Dies entspricht dem Beaufortgrad 0 mit der Bezeichnung still. Die Windgeschwindigkeit in 10 Meter Höhe über Grund beträgt 0-0,2 m/s bzw. <1 km/h. Die Auswirkungen des Windes im Binnenland sind hierbei durch Windstille gekennzeichnet, Rauch steigt senkrecht empor, die See ist spiegelglatt. Windstärke 1 (leichter Zug) weist bereits 0,3 - 1,5 m/s auf. Wind ist ab Windstärke 2 (leichte Brise, 1,6-3,3 m/s) am Gesicht fühlbar.

### **Wärmestrahlung**

Wärmestrahlung ist nicht an ein Medium gebunden, deshalb können auch Objekte im luftleeren Raum erwärmt werden. Alle Gegenstände werden gleichmäßig angestrahlt und erwärmt. Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich 1 cm - 1 nm bzw. die infrarote Strahlung (IR) im Bereich 1 mm - 750 nm. Der Mensch strahlt im Durchschnitt 80 W ab. Es genügen bereits ganz normale Einfach-Fensterscheiben (3 mm Float) zum Reflektieren der Strahlung zurück ins Rauminnere (so funktionieren auch Gewächshäuser im Winter).

### **Die Symmetrie**

Symmetrie bedeutet Gleichmäßigkeit. Eine ungleichmäßige Wärmeverteilung bedeutet Asymmetrie. Ein Kennwert ist der vertikale Lufttemperaturverlauf im Raum. Jeder kennt das: fußkalte Böden und warme Luft in Kopfhöhe – ein unbehaglicher Zustand. Eine wichtige Gesetzmäßigkeit der Konvektion besteht im Aufsteigen der warmen und Absinken der kalten Luft.

Darüber hinaus kennt man den Begriff der Strahlungsasymmetrie, auch als Strahlungszug bezeichnet. An kalten Flächen empfindet man eine Kältestrahlung, obwohl es dies rein physikalisch gesehen nicht gibt. Strahlen kann immer nur mit Wärme verbunden sein, wobei alle Körper abstrahlen, auch wenn sie unterschiedlich warm sind. Der Wert der Nettostrahlung

entscheidet darüber, ob man eine Fläche als „kalt“ empfindet. Dazu genügen bereits einige °C weniger. Die kalten Außenbauteile können aber auch so genannte Fallströmungen verursachen, auch als Kälteschleier bekannt. Dies ist wiederum eine konvektive Erscheinung.

Ein höherer Strahlungswärmeanteil und die Egalisierung des vertikalen Lufttemperaturgefälles nebst sog. Strahlungssenkung erhöhen die Behaglichkeit in einem Raum wesentlich.

### Geometrie und Konstruktion

Dazu gehören die Raumabmessungen (Breite, Tiefe, Höhe), die Aufbauten von Fußboden, Decke, Wänden und Fenstern. Die Bauweise – massiv oder Leichtbauweise – beeinflusst die Oberflächentemperaturen, den sommerlichen Wärmeschutz, das Speichervermögen, das Sorptionsverhalten und andere relevante Kennwerte. Bei den Außenwänden spielen solare Erträge eine wichtige Rolle, bei den Geschossdecken (bzw. der Sohle, bei nicht unterkellerten Gebäuden) sollte ein wirtschaftliches Maß an Dämmung vorhanden sein. Das Material der Wandoberflächen kann eine Rolle für die Pufferung von Feuchtespitzen (Adsorption-Sorptionsisothermen) spielen. In jedem Fall sind die Flächenmaße der Oberflächen für die Schnelligkeit mit der Wärme aufgenommen und abgegeben werden kann entscheidend. Hinsichtlich der Fenster sind deren Flächenanteile je nach Himmelsrichtung (möglichst hoher g-Wert) sowie die Fugendurchlasskoeffizienten [ $\text{m}^3/\text{m h}$ ] interessant.

### Heizsysteme

Grundlegend ist zwischen 2 Systemen zu unterscheiden: der Konvektions- und der Strahlungsheizung. Am weitesten verbreitet ist die Konvektionsheizung, jeder kennt Radiatoren und Plattenheizkörper. Konvektion ist eine Form des Wärmetransportes, die an Luft gebunden ist und mittels Wärmeabgabe und stofflicher Vermischung funktioniert. Das Prinzip ist leicht zu verstehen: die Raumluft erwärmt sich am Heizkörper, steigt auf, bewegt sich an der Decke entlang, vermischt sich mit der anderen Raumluft, kühlt dabei ab, fällt wieder herunter und strömt wieder in Richtung Heizkörper. Daraus resultieren: ungleichmäßige Temperaturverteilungen, Luftbewegung, Transport von Staub. Für Konvektionsheizkörper gilt grundsätzlich, dass sie an die Außenwand unter das Fenster gehören. Dadurch soll Strahlungsasymmetrien und Fallströmen vorgebeugt werden.

Nachdem die Normung zu kleinstmöglichen Heizkörpern geführt hatte, bemerkte man, dass die Behaglichkeit neben der Absicherung des Heizwärmebedarfs nicht ganz zu vernachlässigen ist. Die Richtlinie VDI 6030 - Auslegung von freien Raumheizflächen „behandelt die Auslegung von freien Raumheizflächen für Warmwasserheizungen in Wohn- und Bürohäusern sowie in allen anderen Gebäuden, in denen Aufenthaltsräume ähnlich genutzt werden. Sie formuliert ein Anforderungsprofil für Komfort und sparsamen Energieeinsatz und geht damit weit über den Grundanspruch hinaus, nur die Normheizlast zu decken.“ (VDI). Mit anderen Worten: die Heizkörper nicht mit minimalen Abmessungen, sondern so breit wie das Fenster.

Die Strahlungsheizung gibt Wärmestrahlung und Infrarote Strahlung ab. Da der Wärmetransport mittels Strahlung an kein Medium gebunden ist und weil eine hohe Gleichmäßigkeit erreicht wird, genügen - im Vergleich zur Konvektionsheizung - weniger hohe Raumtemperaturen zur Erzielung der Behaglichkeit. Mit einer Absenkung um 1 °C sind Energieeinsparungen um die 6% möglich. Die auf den Raumboflächen auftreffende Strahlung wird absorbiert, aber auch remittiert. Bei der Platzierung der Strahlflächen können gestalterische Belange vorgezogen werden. Strahlungsheizungen sind: Flächenheizungen (z.B. Fußbodenheizung), Heizleistenheizungen, Marmorheizungen, Temperierungsheizungen.

So genannte ThermoShield® Farben können eine wirkungsvolle Ergänzung zu einer Infrarot-Wärmewellenheizung sein.

## Das Lüftungssystem

Der schon allein aus hygienischen Gründen erforderliche Mindestluftwechsel ist mit dem 0,5-fachen Raumvolumen pro Stunde festgelegt. Das bedeutet, in 2 Stunden wird die gesamte Raumluft einmal ausgewechselt. Es gab Zeiten, da sorgte der Fugenanteil der Fenster nach DIN 18055 für eine Permanentlüftung, heutzutage sorgen Werbung und Wettbewerb für hermetisch dichte Fenster.

Das einfachste Lüftungssystem ist die natürliche Lüftung, man erzielt durch das Öffnen von Fenstern einen Luftaustausch. Dadurch wird Raumfeuchte weggelüftet und frische Luft mit einem geringeren Kohlendioxidgehalt wird herein gelassen. Die dabei weg gelüftete Wärmemenge ist bei einer Wärmewellen-Heizung relativ klein, wenn zudem ausreichend vorhandene Speichermassen die Wärme während des Lüftungsvorgangs speichern – sie kühlen auch bei hohe Luftwechselraten nicht so schnell aus.

Mechanische Lüftungssysteme sorgen für einen Luftzug, was der Behaglichkeit abträglich ist. Dabei spielt es zudem eine Rolle, ob die Luft vorgewärmt eingeblasen wird. Die Raumgeometrie beeinflusst hier zudem die strömungstechnischen Verhältnisse.

Raumluftfeuchte kann auch mittels natürlicher, zugfreier Lüftung wirksam abgeführt werden.

## Das Nutzerverhalten

Grundsätzlich sei es dem Bewohner zugestanden, nach seiner Façon zu leben. Es sollen die Gebäude den Bedürfnissen des Menschen angepasst werden – nicht der Mensch hat sich den modernen Gebäuden anzupassen. Übertriebene Sparsamkeit ist genauso fehl am Platz wie unvernünftige Verhaltensmuster, zu denen gehören: Dauerlüftung durch Kippstellung, periodisches Heizen, kurz bekleidet in der überheizten Wohnung aufhalten.

Es gibt jedoch viel zu häufig Umstände, die objektiv nicht in das theoretische Heiz- und Lüftungsschema passen. So ist bei dichten Fenstern eine erhöhte, regelmäßige Stoßlüftung undenkbar, wenn die Bewohner einer Wohnung 10 Stunden abwesend sind, weil sie arbeiten gehen.

Bei allen Energiespar- und Lüftungskonzepten sollte man als Eigentümer, Vermieter oder Planer diese Variante stets in Betracht ziehen und deshalb möglichst einfache, wirtschaftliche und vor allem in der Praxis taugliche Konzepte entwickeln.

Eine Infrarot- Wärmewellenheizung ersetzt zwar kein vernünftiges Nutzerverhalten, sie kann jedoch ein solches nachhaltig unterstützen, schädigende Einflüsse von der Bausubstanz abwenden sowie Abrechnungskosten reduzieren und Kosten für Streitereien und dgl. vermeiden.

## Zusammenfassung:

Behaglichkeitsfaktoren, die durch eine Wärmewellenheizung positiv beeinflusst werden:

- die Raumlufttemperatur und deren Verteilung
- das Verhältnis von Raumlufttemperatur zu den Hüllflächentemperaturen
- die Raumluftfeuchte
- die Wärmestrahlung
- die Symmetrie

Durch den Einsatz einer Infrarot- Wärmewellenheizung wird neben den Einsparungen für Heizkosten auch noch mehr Behaglichkeit erzielt.