

Bild 4: Zusammenhang von Raumluft- und Umschließungsflächentemperatur bei der thermischen Behaglichkeit

Behaglichkeitskriterien der Wärme und Feuchte

Die thermische Behaglichkeit ist eine subjektive Empfindungsgröße, die von verschiedenen Umgebungseinflüssen und der individuellen Person abhängt. Der Zusammenhang der Umschließungsflächentemperatur und der Lufttemperatur kann Bild 4 entnommen werden. Je besser der Wärmeschutz der umschließenden Bauteile, vor allem der an die Außenluft grenzenden, ist desto ausgeglichener ist ihr Einfluss auf den Wärmehaushalt des Menschen und das sowohl im Winter wie auch im Sommer.

Bei schlechtem Wärmeschutz der Außenbauteile und somit niedriger mittlerer Umschließungsflächentemperatur im Winter muss die Lufttemperatur steigen, um die Behaglichkeit zu erhalten (Problematik der Altbauwohnungen). Im Sommer stellt sich genau der umgekehrte Fall ein. Die Lufttemperatur muss abgesenkt werden je wärmer die Oberflächentemperaturen (z. B. Fensterscheiben) werden. Die Umschließungsflächentemperaturen sind dabei wichtiger als die Lufttemperaturen. Zu vermeiden sind in einem Raum nicht ausgewogene Wärmestrahlungsverhältnisse und störende Zugluft, die zu thermischer Unbehaglichkeit in örtlich begrenzten Körperbereichen führt. Diesbezüglich wie für die thermische Behaglichkeit überhaupt spielen Wände, Fenster und Heizverfahren eine wesentliche Rolle [1].

Die Angleichung der Innenoberflächentemperaturen von Außenbauteilen an die Raumlufttemperatur durch erhöhten Dämmstandard ist der Behaglichkeit des Menschen zuträglich und senkt zugleich auch das Schimmelpilzrisiko in der Heizperiode. Die höheren Umschließungsflächentemperaturen lassen im Winter im thermischen Behaglichkeitsbereich geringere Lufttemperaturen zu und vermindern so die Lüftungswärmeverluste ohne Einschränkung der Behaglichkeit. Der verringerte Wärmedurchgang der Außenbauteile senkt zudem den Transmissionswärmeverlust. Analog verhalten sich Wärmeschutzmaßnahmen im Sommer. Reduzierte Oberflächentemperaturen ermöglichen, dass die Raumluft nicht so weit

Energieeffizienz und Raumklima – Teil 2

Symbiose oder Widerspruch?

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer, Hans Erhorn und Dr.-Ing. Andreas Holm

TEIL 1 DES ARTIKELS in GLASWELT 11/2006, Seite 28 ff., zeigt auf, dass die Energieeffizienzsteigerung für Deutschland und Europa in der nächsten Dekade eine nachhaltige Herausforderung für Umwelt und Volkswirtschaft darstellt. Der nachfolgende zweite Teil beschreibt u. a., von welchen Einflussfaktoren das Wohlbefinden von Bewohnern in Räumen abhängig ist.

abgekühlt werden muss, um die über die Außenbauteile einströmende Wärme und die zugeführte warme Außenluft thermisch auszugleichen. Es kommt somit zu besseren Innenraumverhältnissen bei geringerem Kühlbedarf.

Nicht nur die Temperaturverhältnisse in einem Raum beeinflussen das Wohlbefinden von Personen, sondern auch die relative Feuchte. Die Feuchteverhältnisse in einem Raum werden durch viele Faktoren beeinflusst. Die Feuchteproduktion hängt z. B. ab von Pflanzen, Koch-, Duschvorgängen und Wäschtrocknen im Raum.

Im Temperaturbereich der thermischen Behaglichkeit ist die Wärmeabgabe des Körpers über Wasserverdunstung in der Regel von untergeordneter Bedeutung. Damit spielt unter diesen Umständen auch die relative Luftfeuchtigkeit als mitbestimmende Größe bei der Verdunstung eine unbedeutende Rolle, solange sie den Bereich von 60 – 70 % nicht überschreitet.

Bei kühlen Raumtemperaturen ist das Wärmeempfinden unabhängig von der relativen Raumluftfeuchte, solange diese im genannten Bereich liegt. Steigt die Raumlufttemperatur über ~25 °C an, muss im Gegenzug die relative Luftfeuchtigkeit stark abnehmen, damit kein „Schwüle“-Empfinden auftritt.

Bild 5 zeigt den Behaglichkeitsbereich der relativen Luftfeuchte in Bezug auf die Raumtemperatur. Fällt diese auf Werte unter 30 %, wird das als unbehaglich trocken empfunden. Ab einer Feuchte von 60 % herrschen zunehmend bessere Voraussetzungen für das Gedeihen von Bakterien, Viren, Schimmelpilzen und Milben. „Aus hygienischen Gründen insgesamt jedoch sollte die relative Luftfeuchte um einen mittleren Wert von etwa 50 % liegen“.

Schimmelpilzrisiko vor und nach Sanierung

Zahlreiche Schäden an Wohn- und Geschäftsgebäuden sind direkt oder indirekt auf die Einwirkung von Feuchte zurückzuführen. Bei der Sanierung von Altbauten sollte neben even-

tuell zu beseitigenden Schäden auch eine Verbesserung der energetischen Verhältnisse angestrebt werden. Dies kann zur Verminderung von vorher vorhandenen Feuchteproblemen – wie z.B. Schimmelpilzbildung durch zu niedrige Temperaturen an der Innenoberfläche – führen, unter Umständen jedoch auch neue Feuchteprobleme verursachen. Die Lüftung stellt dabei eine wesentliche Einflussgröße dar.

Eine bedarfsgerechte Lüftung reduziert durch einen angepassten Luftaustausch die Gefahr einer Schimmelpilzbildung, ohne dass unnötig hohe Lüftungswärmeverluste verursacht werden. „Unter bedarfsgerechter Lüftung ist eine optimierte Betriebsweise zu verstehen, bei der der Luftvolumenstrom ... an den Bedarf angepasst wird.“ (gekürztes Zitat aus [3]). Dabei ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Nutzung und Feuchtelasten für jedes Zimmer andere Lüftungserfordernisse [4]. So konnte bereits in [2] aufgezeigt werden, dass der Mindestluftwechsel in schlecht gedämmten Wohngebäuden ca. 50% höher sein muss als in Niedrigenergiehäusern, was zu einer Reduzierung des Lüftungswärmebedarfs und damit auch des Heizwärmebedarfs von ca. 30 bis 40kWh/m² führt. Jede Wärmeschutzmaßnahme zahlt sich energetisch also doppelt aus. In [5] wird über optimierte Lüftungsstrategien in Abhängigkeit von unterschiedlichen Feuchtelasten berichtet. Das dafür eingesetzte hygrothermische Raumklimamodell „WUFI-Plus“ und das biohygrothermische Modell „WUFI-Bio“ zur Schimmelpilzvorhersage ermöglichen eine realitätsnahe hygrothermische Simulation von Räumen mit instationärem Außenklima. Die wesentlichen Aussagen aus dieser Arbeit sollen hier kurz genannt werden.

Wie zu erwarten, ergeben sich bei niedrigem Dämmstandard deutlich höhere Lüftungsnotwendigkeiten. Mit Ausnahme der Küche und des Bades ist aber auch hier, sofern in der Wohnung keine Wäschetrocknung erfolgt, die allgemein geforderte Luftwechselrate von 0,5 h⁻¹ ausreichend für eine Schimmelpilzvermeidung.

Die Berechnungen bestätigen, dass die für die Schimmelpilzvermeidung erforderliche Lüftung in komplexer Weise von den Klimarandbedingungen, der Baukonstruktion, den unterschiedlichen nutzungsabhängigen Feuchtelasten sowie den sorptiven Eigenschaften der Innenoberflächen und des Mobiliars abhängt. Bei gut gedämmten Außenwänden ergeben

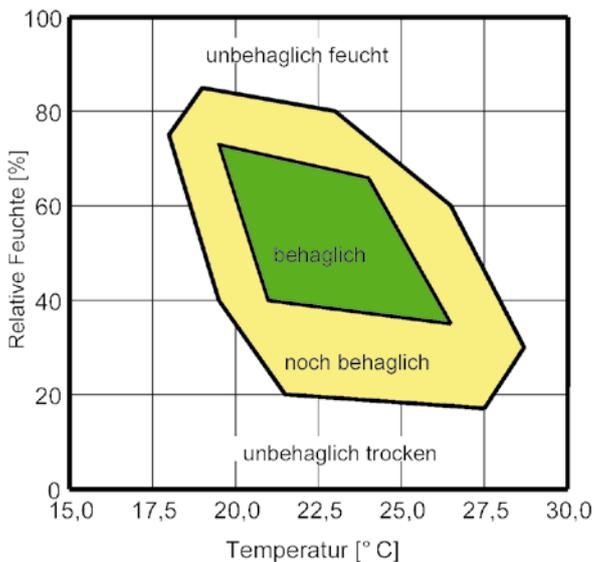


Bild 5: Behaglichkeitsdiagramm in Abhängigkeit der Temperatur und der relativen Feuchte

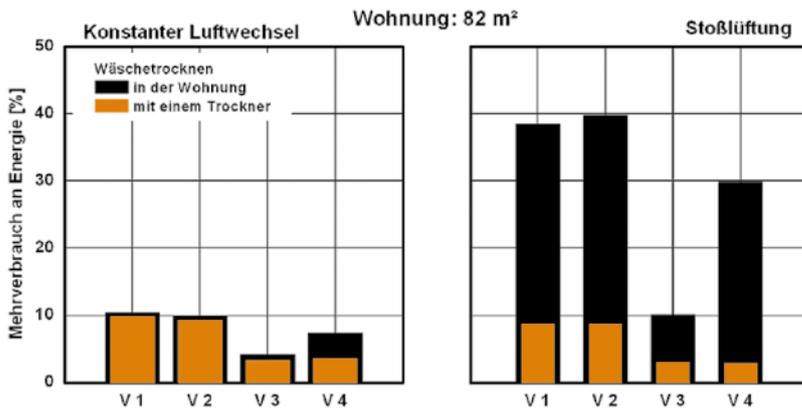


Bild 6: Mehrverbrauch an Heizungsenergie aufgrund der Wäschetrocknung in der Wohnung bei konstantem Luftwechsel (links) und bei Stoßlüftung (rechts) ohne und mit Verwendung eines Kondentrockners

V1: Konstruktion mit WDVS

V2: Hochdämmendes Ziegelmauerwerk

V3: Altbau

V4: Altbau mit neuen, dichten Fenstern

sich in Bezug auf die Energieverluste nur geringfügige Unterschiede zwischen kontinuierlicher Lüftung und Stoßlüftung, wobei eine richtig ausgewählte Stoßlüftung wesentlich ist. Dies bedeutet, dass die Stoßlüftung hauptsächlich während oder kurz nach der erhöhten Feuchteproduktion stattfindet. Eine Stoßlüftung, die in keinem zeitlichen Zusammenhang mit der Feuchteproduktion steht, ist dagegen energetisch ungünstiger als die Dauerlüftung, weil dann die bereits in den Wandmaterialien sorbierte Feuchte über eine langandauernde Stoßlüftung entfernt werden müsste. Bei der energetischen Betrachtung muss auch berücksichtigt werden, dass den Berechnungsergebnissen eine kontinuierliche Beheizung auch während der Zeiten der Stoßlüftung zugrunde liegt. Sofern man, wie allgemein empfohlen, während der Stoßlüftung die Heizung abschaltet, wird die Stoßlüftung energetisch vorteilhafter sein sofern die Heizung überhaupt rasch genug regeln kann. Es sollte erwähnt werden, dass die energetische Betrachtung der gesamten Wohnung ergibt, dass eine Wäschetrocknung über den erhöhten Mehrbedarf an Lüftung einen zusätzlichen Energieverbrauch bewirkt, der meist größer ist als der eines Kondentrockners zur Trocknung der gleichen Menge Wäsche (Bild 6).

Eine gute Außendämmung führt also nicht nur über einen verminderten Transmissionswärmeverlust zu Energieeinsparung, auch die zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung erforderliche Lüftung und die dadurch bedingten Energieverluste werden deutlich reduziert. Hinzu kommen eine geringere Schimmelpilzgefährdung durch Wärmebrücken und der nicht zu unterschätzende Vorteil einer wesentlich unproblematischeren Lüftung.

Sommerlicher Wärmeschutz

Während im Wohnungsbau die Gesamtprimärenergieaufwendungen in der Regel vom Heizenergieverbrauch dominiert werden, hat dieser im Verwaltungsbau nicht mehr die dominante Bedeutung (siehe hierzu auch Bild 1). Aufgrund der häufig vorhandenen hohen internen Wärmelasten moderner Bürogebäude (Personen, technische Ausstattung mit Computern, Bildschirmen, Drucker) sowie durch die künstliche Beleuchtung reduzieren sich die Heizzeiten deutlich, bei einigen besonders energieeffizienten Bauten sogar auf wenige beson-

ders kalte und strahlungsarme Winterperioden. In der Übergangszeit und insbesondere während strahlungsreicher, heißer Sommerperioden kann es bei diesen Gebäuden ohne aktive Klimatisierung zu einer Aufheizung der Räume deutlich über die Außenlufttemperatur kommen. Bei Verwaltungsgebäuden mit Klimatisierung wird daher häufig der Gesamtenergieverbrauch durch die Sommerperiode geprägt.

Starke Sonneneinstrahlung durch großflächig verglaste Fassaden ohne ausreichenden Sonnenschutz kann unbehaglich hohe Raumlufttemperaturen zur Folge haben. Der Temperaturanstieg nimmt ein höheres Ausmaß an, wenn die Rauminnenbauteile in Leichtbauweise ausgeführt sind. Einer Temperaturerhöhung kann wirksam entgegengewirkt werden, indem die Wärmespeicherfähigkeit der Innenbauteile erhöht wird. Eine Vergrößerung der Masse von Innenbauteilen im Vergleich zur Leichtbauweise führt zu einer Reduzierung der Lufttemperatur des Raumes von bis zu 12 K, da sie bei Übertemperatur der Raumluft Wärmeenergie entziehen.

Auch die schwere Bauart der Innenbauteile kann nicht die gesamte, dem Raum zugeführte solare Wärmeenergie speichern, wodurch nach längerer Sonneneinstrahlung die Raumlufttemperatur in manchen Fällen ebenfalls zu hohe Werte annimmt. Neben einem dem Gebäudetyp und der Verglasung angepasstem Sonnenschutz ist es daher häufig unabdingbar die Wärme durch Lüften aus dem Raum abzuführen. Die Lüftung ohne aktive Luftaufbereitung (Vorkühlung) ist aber nur dann sinnvoll, wenn die Außenlufttemperatur niedriger ist als die Temperatur der Raumluft. Daher kann während heißer Sommertage nur eine Nachtlüftung zur passiven Kühlung der Räume in Frage kommen.

Damit das Raumklima in nicht aktiv gekühlten Bürogebäuden auch im Sommer nicht unerträglich wird bzw. damit sich bei klimatisierten Gebäuden der Gesamtenergieverbrauch in sinnvollen, ökologisch und ökonomisch vertretbaren Grenzen hält, sind folgende Planungsgrundsätze einzuhalten:

- optimiertes Gebäudekonzept (Orientierung, angepasste Glasflächen),
- wirksamer Sonnenschutz in Kombination mit angepassten Verglasungen (Sonnenschutzverglasung, Wärmedämmglas),
- speichernde Innenbauteile wählen,
- verstärkte Nachtlüftung,
- Reduzierung der internen Wärmelasten durch Verwendung von energiesparender Beleuchtung und energieeffizienten Arbeitsmitteln,
- angepasste Anlagentechnik.

Energieeffizienz und behagliches Raumklima ist im Verwaltungsbau in der Regel nur realisierbar, wenn bereits im frühen Planungsstadium die am Projekt beteiligten Architekten, Fachplaner und späteren Gebäudenutzer bzw. der Investor gemeinsam in einen integralen Planungsprozess eingebunden werden. Dank der neuen Bewertungsmethode nach DIN V 18599 sind diese Effekte quantifizierbar, vergleichende Klimastrategien können mittels Energiekennwerte (z. B. als vermiedenen Kühlbedarf) einander transparent gegenüber gestellt werden. Dies führt zu höherer Planungssicherheit.

Energieeffizientes Bauen erhöht Behaglichkeit

Diese Aussage ist wie folgt untermauert:

1. Das energiesparende Bauen ist zunächst einmal vom Wärmeschutz der Gebäudehülle abhängig. Zunehmende Wärmedäm-

mung reduziert die Transmissionswärmeverluste und gleicht die Oberflächentemperatur der Innenseite von Außenwänden und Dächern an die Raumlufttemperatur an. Dadurch wird die Temperaturdifferenz in Räumen vermindert, darüber hinaus werden Abkühlvorgänge während Nachtschaltung im Winter reduziert. Die Gefahr einer möglichen Schimmelpilzbildung in der Heizperiode an kalten und feuchten Außenwänden insbesondere in den Ecken wird deutlich vermindert.

2. Die Reduktion der Lüftungswärmeverluste auf ein sinnvolles Maß geschieht in erster Linie durch den Einbau gut gedämmter und dicht schließender Fenster sowie Türen. Dadurch reduziert sich der ungewollte und unkontrollierbare Infiltrationsluftwechsel. Allerdings sollten neue Fenster stets in Kombination mit gut gedämmten opaken Gebäudeteilen zum Einsatz kommen, da in diesem Fall etwa 60 % r. F. im Raum Sicherheit vor Schimmelpilzbildung bedeuten, im ungedämmten Altbau aber um 50 % toleriert werden können. Der hygienisch bedingte Luftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ kann sowohl durch Lüftungsanlagen als auch durch eine sinnvolle Fensterlüftung bewerkstelligt werden.

3. Energieeffizientes Bauen beinhaltet in Zukunft auch Energieeffizienz in Bezug auf Kühlung und Beleuchtung. Dazu sind bautechnische und bauphysikalische Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs sinnvoll. Diese erhöhen in aller Regel auch die thermische Behaglichkeit, da, vor allen Dingen in Extremzeiten, Übertemperaturen, d. h. Temperaturen über 26°C , durch technische Maßnahmen wie außenliegende Jalousien oder schaltende Fenster reduziert werden können.

Wir werden also in Zukunft nicht nur in energieeffizienteren, sondern auch in behaglichen Gebäuden wohnen und arbeiten dürfen. Dies erhöht nicht nur die Möglichkeit für eine Regeneration der Personen, sondern bietet auch die Möglichkeit Arbeit effizienter zu gestalten, da die Leistungsfähigkeit in erheblichem Maße von der thermischen und hygrischen Behaglichkeit abhängt. Dies zu quantifizieren ist Inhalt zukünftiger Forschungsarbeiten. Darüber wird in der Folge auch zu berichten sein.

Literatur

- [1] Sedlbauer, K.; Erhorn, H.; Holm, A.; Sinnesbichler, H.: Energieeffizienz und Raumklima – Widerspruch oder Symbiose? Langversion demnächst als Internet-Veröffentlichung unter www.bauphysik.de
- [2] Erhorn, H.; Gertis, K.: Mindestwärmeschutz und/oder Mindestluftwechsel? Gesundheits-Ingenieur 1/1986; S. 12-14.
- [3] Hartmann, Th.: Bedarfsgeregelte Wohnungslüftung. Tagungshandbuch Hermann-Rietschel-Colloquium 2002, S. 79-87.
- [4] Richter, W.; Hartmann, Th.: Mindestluftwechsel zur Verhinderung der Schimmelpilzbildung in Wohnungen. VDI-Berichte Nr. 1603, (2001), S. 121-130.
- [5] Kainz, E.: Lüftungskonzepte zur Erhaltung der Raumluftqualität und gleichzeitiger Vermeidung von Schimmelpilzen. Diplomarbeit, Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen, Fachhochschule Rosenheim (2004).



! Autor

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Sedlbauer ist seit November 2003 Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) in Stuttgart und Holzkirchen und Professor an der Universität Stuttgart.