

BEHAGLICHKEITSATLAS FÜR DEN WOHNUNGSBAU

Christoph Meyer
Ingenieurbüro für Bauklimatik Hausladen und Meyer
Sickingenstr. 10, D-34117 Kassel
meyer@ib-bauklimatik.de

KURZFASSUNG

Der Wärmeschutzstandard neuer oder sanierter Wohngebäude hat eine Qualität erreicht, die neue Wege bei der Art der Wärmeübergabe in den Raum gangbar erscheinen lässt. Die dadurch erzielbaren Vereinfachungen und Einsparungen werden wegen Unsicherheiten bzgl. der Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit aber nur zögerlich genutzt. Eine fallweise Vorabüberprüfung und -bewertung des zu erwartenden Raumklimas mittels Simulationsrechnungen ist zwar möglich, in der Planungspraxis von Wohngebäuden aus Kostengründen aber selten praktikabel. Es wurde daher ein Katalog von 144 typischen Wohnraumvarianten erstellt, die sich in Fassadengeometrie, Heizungs- und Lüftungskonzept und Fassadenqualität unterscheiden. Das sich jeweils im Heizfall einstellende Raumklima wird mittels Raumströmungssimulationen ermittelt, ergänzt durch eigene Software zur detaillierten Behaglichkeitsbewertung, und umfassend ausgewertet.

ABSTRACT

The thermal quality of residential buildings has reached a level, that seems to permit new concepts of room heating. But the resulting simplifications and savings are being exploited only hesitantly, due to uncertainties regarding their effects on thermal comfort. Case-to-case studies of the indoor climate to be expected are possible by applying up-to-date simulation techniques, but are rarely practiced due to economic reasons. This led to the idea of a catalogue, in which 144 variations of a standard living room with varying façade qualities and layouts, heating and ventilation systems are tested under winter conditions, and compared for their thermal comfort. The investigations were carried out using computational fluid dynamics, supplemented by especially designed in-house software tools for a comprehensive evaluation of thermal comfort.

EINLEITUNG

Dank bautechnischer und gesetzlicher Entwicklungen hat sich der Wärmeschutz neuer oder sanierter Wohngebäude zunehmend verbessert. Inzwischen ist eine Qualität erreicht, die neue Wege bei der Art der Wär-

meübergabe in den Raum gangbar erscheinen lassen. Dadurch würden häufig Vorteile wie verkürzte Leitungswege, geringere Verteilverluste, Vereinfachungen von Fußbodenaufbauten und des gesamten Bauablaufs nutzbar. Bisher werden diese Einsparpotenziale allerdings nur zögerlich ausgeschöpft. Ein Grund dafür sind Unsicherheiten bzgl. der Auswirkungen derzeit noch ungewohnter Wärmeübergabekonzepte auf die thermische Behaglichkeit im Raum. Eine fallweise Vorabüberprüfung und -bewertung des zu erwartenden Raumklimas mittels Simulationsrechnungen ist zwar möglich, in der Planungspraxis von Wohngebäuden aus Kostengründen aber selten praktikabel.

So entstand unter dem Arbeitstitel "Behaglichkeitsatlas" ein Katalog, in dem eine Auswahl typischer Wohnräume unterschiedlicher Dämmstandards, Fassadengestaltungen und technischer Ausstattungen unter winterlichen Bedingungen auf thermische Behaglichkeit untersucht und vergleichend bewertet wird. Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau gefördert (Aktenzeichen Z6-5.4-01.15/III13-800101-15) [Meyer et al. 2005]. Die Untersuchungen wurden mittels Raumströmungssimulationen und einer ergänzenden Software durchgeführt, die im Rahmen eines früheren, vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau geförderten Vorhabens (Aktenzeichen B15-800197-14) [Meyer 1999] entwickelt wurde.

Es ist offensichtlich, dass ein solcher Katalog nicht alle baulichen und haustechnischen Variationsmöglichkeiten abdecken kann. Er versucht aber, ein möglichst breites Spektrum in der Praxis vorkommender Wohnraumvarianten abzudecken. Noch größere Variationsmöglichkeiten gibt es bei der Möblierung und Raumausstattung. Auf deren Berücksichtigung wurde daher vollständig verzichtet, obwohl sie in Einzelfällen erheblichen Einfluss auf Luftströmungen und Wärmeverteilung im Raum nehmen können.

MODELLIERUNG

Für die im Rahmen der Katalogerstellung durchgeführten Simulationen wurde die CFD-Software StarCD verwendet. Ergänzend kam eigene

Software zum Einsatz, mit deren Hilfe sich eine erweiterte Palette von Behaglichkeitskenngrößen berechnen lässt. Es wurde das Standard k-e-Turbulenzmodell und ein hybrides Wandmodell verwendet. Untersucht wurde ausschließlich der statische Heizfall unter winterlichen Bedingungen, ohne Berücksichtigung interner oder solarer Wärmeeinträge.

UNTERSUCHTE RAUMVARIANTEN

Alle untersuchten Raumvarianten haben identische Innenmaße von 4,6 x 4,6 x 2,7 m (B x T x H), die in DIN V 18011 [DIN V 18011 1984] für Wohnraumgrößen bei vier Bewohnern empfohlen werden. Die 144 Varianten dieses Wohnraums resultieren aus Kombinationen der folgenden Unterscheidungsmerkmale:

Vier Raumtypen

Die vier Raumtypen unterscheiden sich in Fensteranordnung und -größe, und damit auch in ihrem jeweiligen Verglasungsanteil. In allen Fällen beträgt die Brüstungshöhe 0,8 m, die Sturzhöhe 0,3 m, und die Laibungstiefe 0,2 m.

*Tabelle 1
Verglasungsanteile der vier Raumtypen*

RAUMTYP	VERGLASUNGSANTEIL
	L
zwei gleichgroße Fenster	33 %
durchlaufendes Fensterband	46 %
raumhohe Verglasung	70 %
Fenster und Balkontür	50 %

Drei Fassadenqualitäten

Jeder der vier Raumtypen wird in drei unterschiedlichen Wärmeschutzqualitäten bewertet. Der mittlere Standard entspricht ungefähr dem der EnEV. Konkrete Vorgaben für einzuhaltende Bauteilqualitäten werden dort für den Neubau allerdings nicht gemacht, woraus sich gewisse Spielräume ergeben. Der niedrige Dämmstandard wurde in Anlehnung an die Wärmeschutzverordnung '82 festgelegt, der hohe Dämmstandard orientiert sich am derzeitigen Passivhausstandard.

*Tabelle 2
Thermische Fassadenqualitäten*

DÄMMSTANDARD	BAUTEIL	U-WERT [W/(M ² K)]
niedrig (WSchV '82)	Außenwand	0,80
	Fenster	2,50
mittel (EnEV)	Außenwand	0,35
	Fenster	1,50
hoch (Passivhaus)	Außenwand	0,15
	Fenster	1,00

Fünf Wärmeübergabevarianten

Bewertet werden fassadennah angeordnete Heizkörper, zwei unterschiedliche Anordnungen von Heizkörpern an der Innenwand, Fußbodenheizung und Luftheizung.

Alle Heizkörper sind in Anlehnung an einschlägige Normen und für Vor-/ Rücklauftemperaturen von 55°C/ 45°C dimensioniert. Für Brüstungsmontage wird eine einheitliche Bauhöhe von 0,5 m vorgegeben, ansonsten soll die Heizkörperbreite der des Fensters möglichst nahe kommen. Heizkörper an der Innenwand werden über bzw. neben der Zimmertür installiert. Die jeweilige Baugröße orientiert sich an der Türbreite bzw. -höhe.

Es kommen bis zu dreireihige Normplattenheizkörper zum Einsatz. Vor raumhohen Verglasungen werden flachbauende, zwei- bis dreireihige Konvektoren mit Strahlungsschild verwendet, für die Montage neben der Zimmertür 1,8 m hohe Heizwände. Die jeweiligen Anteile konvektiver und radiativer Wärmeabgabe wurden den Herstellerangaben entnommen.

Unter diesen Dimensionierungsvorgaben stand für den niedrigsten Fassadendämmstandard (WSchV '82) kein Heizkörper ausreichender Leistung für die Montage über der Zimmertür zur Verfügung. Diese Kombination wird daher im Behaglichkeitsatlas nicht bewertet.

Die Fußbodenheizung ist randlos, und in einem einen Meter breiten Randstreifen entlang der Fassade verichtet verlegt.

Die Zuluft der Luftheizung wird über zwei Weitwurfdüsen in der Innenwand eingeblasen. Die Luftmenge entspricht zunächst dem hygienisch bedingten Luftwechsel. Sie wird bei steigendem Wärmebedarf erhöht, sobald die Zulufttemperatur 50°C erreicht. Höhere Temperaturen können zu Geruchsbelästigung durch verschmorende Staubpartikel führen.

Vier Lüftungskonzepte

Untersucht wird ein zentrales Abluftkonzept mit dezentraler Nachströmung durch Außenwanddurchlassenelemente, ein zentrales Zu- und Abluftkonzept mit Wärmerückgewinnung und eine Luftheizung. Die Abluft verlässt den Raum jeweils durch einen erhöhten Türspalt. Als vierte Variante werden die Raummodelle jeweils ohne Luftwechsel, entsprechend fensterbelüfteten Räumen bei geschlossenem Fenster, untersucht.

Die Zuluftmenge der drei mechanisch angetriebenen Lüftungskonzepte wurde in Anlehnung an die EnEV festgelegt. Ausgehend von einem Luftwechsel von 0,4 h⁻¹ für die gesamte Wohnung, und bei einem vorausgesetzten Flächenanteil der Zuluft Räume von 75 %, ergibt sich dort ein Luftwechsel von 0,53 h⁻¹.

Für die untersuchten Musterräume resultiert daraus eine Zuluftmenge von ca. 30 m³/h. Die Zulufttemperatur der Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung beträgt 14,4°C, entsprechend einem Wärmebereitstellungsgrad von etwa 70 %.

Die Zuluftelemente von Luftheizung und Zu-/Abluftanlage mit WRG sind identisch. In beiden Fällen wird in einer horizontalen Ebene radial eingeblasen. Als Außenluftdurchlass wurden quadratische, auf die Wand aufgesetzte Elemente gewählt, die über ihre seitlichen und oberen Stirnflächen parallel zur Wand einblasen.

Die Luftheizung hat in der Systematik des Katalogs von Raumvarianten eine Sonderstellung, da sie Heizung und Lüftung gleichzeitig ist. Kombinationen mit anderen Heizungs- oder Lüftungskonzepten erübrigen sich.

Außenklima und Raumnutzung

Um die Ergebnisse der einzelnen Raumvarianten hinsichtlich thermischer Behaglichkeit vergleichbar zu halten, muss eine Referenzgröße festgelegt werden, die in allen Raumvarianten identisch ist. Geht man davon aus, dass ein Nutzer die Heizung in jedem Raum so einstellen würde, dass sich jeweils ähnliche, ihm angenehme Temperaturverhältnisse ergäben, wären ideale Referenzgrößen die operative Temperatur oder der PMV-Wert aus DIN°ISO°7730 [DIN EN ISO 7730 1995]. In der verwendeten Simulationssoftware ist eine Regelung der Heizleistung nach diesen Größen leider nicht praktikabel. Ersatzweise wird daher die Lufttemperatur an einem Referenzpunkt in Raummitte und 1,3 m Höhe auf einen Sollwert von 22°C (±0,1 K) geregelt. Bei der angenommenen Wohnraumnutzung kommt diese Lufttemperatur dem Behaglichkeitsoptimum nach DIN°ISO°7730 sehr nahe.

Als Außentemperatur wird -3,4°C angenommen, die laut Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes für Würzburg während lediglich 5 % der Stunden eines Jahres unterschritten wird. Interne Wärmelasten wurden in den Untersuchungen nicht berücksichtigt.

ERGEBNISSE UND AUSWERTUNGEN

Für das sich unter den beschriebenen Bedingungen in jeder einzelnen Raumvariante einstellende Klima werden praktisch alle Kenngrößen thermischer Behaglichkeit aus DIN 1946/2 [DIN 1946/2 1994] und aus DIN EN ISO 7730 ermittelt:

- Lufttemperatur,
- Strahlungstemperatur,
- Luftgeschwindigkeit,
- operative Temperatur (bzw. Globetemperatur),
- PMV und PPD,

- Strahlungstemperaturasymmetrie (3-achsig und richtungsabhängig),
- vertikaler Temperaturgradient.

Im Katalog sind diese Ergebnisse jeweils für einen Punkt in Raummitte und in 1,3 m Höhe, und als Mittel- und Extremwerte für die gesamte Aufenthaltszone angegeben. Besonders viel Platz werden der grafischen Darstellung der Behaglichkeitsgrößen und ihrer räumlichen Verteilung in ausgewählten Raumschnitten eingeräumt.

Für jedes Raummodell werden außerdem die Temperaturen der einzelnen Raumbooberflächen tabellarisch und grafisch aufgeführt, und eine nach Konvektion und Strahlung getrennte Wärmebilanz aufgestellt. Bei deren Interpretation ist wichtig zu beachten, dass ausschließlich Wärmeströme innerhalb des Raumes berücksichtigt sind. Wärmeverluste der Heizungsanlage etc. sind nicht berücksichtigt. So tauchen beispielsweise im Falle der Luftheizung keine Lüftungswärmeverluste in den Bilanzen auf.

Darüber sind die umfangreichen Ergebnisse der 144 untersuchten Raumvarianten als Datenbasis für umfangreiche vergleichende, systemspezifische Auswertungen geeignet [Meyer 2005]. Für interessierte Leser steht daher ein für weiterführende Auswertungen vorbereiteter Ergebnisdatensatz zum kostenlosen Download im Internet bereit [<http://www.ib-bauklimatik.de>].

LITERATUR

- DIN V 18011 1984: Stellflächen, Abstände und Bewegungsflächen im Wohnungsbau, zurückgezogen
- DIN 1946/2 1994: Raumlufttechnik, Gesundheits-technische Anforderungen, Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN ISO 7730 1995: Gemäßigtes Raumklima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit, Beuth Verlag, Berlin
- <http://www.ib-bauklimatik.de>
- Meyer, Ch. 1999: Optimierung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen, Bauforschungsbericht, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart
- Meyer, Ch. 2005: Behaglichkeitsatlas für den Wohnungsbau, TAB – Technik am Bau, Heft 12
- Meyer, Ch., Oppermann, J., Wimmer, A. 2005: Behaglichkeitsatlas - Bewertung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen hinsichtlich Raumklima und thermischer Behaglichkeit, Bauforschungsbericht, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart