



**zukunft haus**

Energie sparen. Wert gewinnen.

# Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus.

**Teil 2: Sommerliche Verhältnisse.**

Planungsleitfaden für Architekten und Fachplaner.



# Inhalt.

<b>Variantenübersicht.</b> .....	<b>4</b>
----------------------------------	----------

## **Grundlagen.**

<b>1</b> Thermische Behaglichkeit. ....	6
<b>2</b> Methodische Anmerkungen. ....	10
<b>3</b> Randbedingungen. ....	11
<b>4</b> Ungekühlte Räume. ....	12
<b>5</b> Ankühlung und Vollkühlung. ....	13

## **Einflussgrößen.**

<b>A</b> Wärmeschutz und Bauschwere. ....	14
<b>B</b> Verschattung und Fensterflächenanteil. ....	22
<b>C</b> Anlagentechnik. ....	36

## **Zusammenfassung.**

<b>6</b> Zusammenfassung und Empfehlungen. ....	74
<b>7</b> Impressum. ....	75



# Variantenübersicht.

Einflussgrößen	Allgemeines	Fallbeispiele	Seite
<b>A</b> Wärmeschutz und Bauschwere	14–15	Altbau, schwer 	16–17
		Niedrigenergiehaus, schwer 	18–19
		Niedrigenergiehaus, leicht 	20–21
<b>B</b> Verschattung und Fensterflächenanteil	22–23	Fenster 30 Prozent:	
		– Ohne Verschattung 	24–25
		– Feste Verschattung 	26–27
		Fenster 100 Prozent:	
		– Ohne Verschattung 	28–29
		– Ohne Verschattung, Sonnenschutzverglasung 	30–31
– Bewegliche Verschattung 	32–33		
– Feste Verschattung 	34–35		



Einflussgrößen	Allgemeines	Fallbeispiele	Seite
Anlagentechnik	36-39	<p><b>C</b></p> <p>Kühlfußboden/-wand/-decke:</p>	
		<p><b>Bauteilintegrierte Flächenkühlung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, ohne Verschattung</li> </ul>	40-45
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	46-51
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 100 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	52-57
		<p><b>Freie Kühlflächen</b></p> <p>Konvektionskühldecke:</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	58-59
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kühl-/Heizkörper</li> </ul>	60-61
		<p><b>Luftkühlung</b></p> <p>Quelllüftung:</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	62-63
		<p>Mischlüftung mit Drallluftauslässen:</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	64-65
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, ohne Verschattung, Sonnenschutzverglasung</li> </ul>	66-67
		<p><b>Kühlung und Lüftung</b></p> <p>Kühldecke und Quelllüftung:</p>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	68-69
		<p>Kühlfußboden und Abluftanlage:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	70-71		
<p>Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage:</p>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fenster 30 Prozent, feste Außenverschattung</li> </ul>	72-73		

# 1 Thermische Behaglichkeit.

## Wissenswertes für die Bau- und Modernisierungspraxis.

Angenehme und behagliche Räume bestimmen wesentlich den Nutzen und den Komfort von Wohnungen oder Büros. Um diese Qualität im Sommer zu erreichen, genügt es oft nicht, die Wärmedämmung der Räume zu verbessern und Verschattungsmöglichkeiten einzuplanen. Thermische Behaglichkeit stellt sich unter sommerlichen Verhältnissen im Niedrigenergiehaus nicht von selbst ein. Damit stehen der Neubau und die Sanierung von Wohn- und Bürogebäuden vor neuen Anforderungen.

Behagliche sommerliche thermische Bedingungen lassen sich erzielen, wenn geeignete bau- und anlagentechnische Lösungen sinnvoll kombiniert werden.

In der Praxis zeigt sich, dass eine Vielzahl von Unsicherheiten bestehen. 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 Flächenkühlung?
- Welche Auswirkungen hat Luftkühlung im Vergleich zur Flächenkühlung?
- Wie lassen sich Kühlflächen und Lüftungskonzepte sinnvoll kombinieren?

Bei einer ganzheitlichen Betrachtungsweise ist das Erreichen der thermischen Behaglichkeit eine ausgesprochen wichtige Voraussetzung für kostengünstiges Bauen, optimierte Energieeinsparung bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung sowie gesundes und insbesondere konfliktfreies Nutzen der Aufenthaltsräume in Wohnungen, Büros usw.

Im Detail enthält die Broschüre Praxistipps, die auf der Basis umfassender wissenschaftlicher Untersuchungen entwickelt wurden.

Hier finden sich die neuesten Informationen rund um die thermische Behaglichkeit im Sommer in Gebäuden, die nach den Standards für Niedrigenergiehäuser errichtet oder saniert wurden. Der thermischen Behaglichkeit in der Heizperiode widmet sich die dena-Broschüre „Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus – Teil 1: Winterliche Verhältnisse“.

Die vorliegende Broschüre soll Fachplanern, Architekten, Handwerkern und Bauherren eine Hilfestellung geben, um Bauvorhaben und Modernisierungen auch hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit im Sommer zu optimieren. Der Fokus liegt dabei auf kombinierten Heiz- und Kühlsystemen. Der vorliegende Teil 2 „Sommerliche Verhältnisse“ knüpft damit nahtlos an Teil 1 „Winterliche Verhältnisse“ an und basiert im Wesentlichen auf der gleichen Anlagentechnik. Grundsätzlich vorausgesetzt wird die sinnvolle Verknüpfung von baulichen und anlagentechnischen Lösungen unter Beachtung der Nutzungsrandbedingungen (zum Beispiel zusätzliche innere Kühllasten durch Geräte oder Kunstlicht, Bekleidung im Büro) mit dem Ziel eines hohen thermischen Komforts im Sommer unter Vermeidung von hygienisch oder bauphysikalisch bedenklichen Verhältnissen sowie unter Minimierung des Energieverbrauchs.

Die Seiten 7 bis 9 wenden sich an Praktiker, die einen schnellen Überblick suchen. Auf Seite 10 werden Hinweise zum methodischen Vorgehen gegeben. Seite 12 verdeutlicht die thermischen Verhältnisse in ungekühlten Räumen, damit wird ein Vergleichsfall für die danach folgenden Kühlvarianten geschaffen. Auf Seite 13 erfolgt eine Diskussion von Ankühlung und Vollkühlung.

Die weiteren Kapitel gehen auf wesentliche bauliche und anlagentechnische Einflussgrößen ein und dienen anhand von Fallbeispielen der vertiefenden Information, wobei der Schwerpunkt auf der Flächenkühlung liegt. Eine Zusammenfassung (Seite 74) rundet diese Broschüre ab.

## Raumklima und thermische Behaglichkeit.

Ein in geschlossenen Räumen normal gekleideter Mensch gibt bei üblicher körperlicher Betätigung über **100 Watt** Wärme in Form von Strahlung, Konvektion und Verdunstung an die Umgebung ab. Bei einem ganztägigen Aufenthalt beträgt die Wärmeabgabe pro Person ca. 2,5 kWh/d.

Die meisten Menschen fühlen sich im Sommer bei einer Raumtemperatur von 23 bis 27 °C wohl. Mit zunehmender Lufttemperatur verringern sich die Strahlungs- und Konvektionsanteile. Bei etwa 34 °C findet eine 100-prozentige Verdunstungskühlung statt. Man schwitzt. Umgekehrt ist Frieren bis zum Zittern das andere Extrem der Unbehaglichkeit.

Das Raumklima wird beeinflusst durch:

- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Luftwechsel
- Strahlungstemperatur
- Luftfeuchte

Die **Empfindungstemperatur (operative Temperatur)** ist ein seit Jahren bekannter Maßstab zur Beurteilung thermischer Komfortzustände und bildet näherungsweise den Mittelwert aus der Lufttemperatur und den gemittelten Oberflächentemperaturen des Raums.

Nach DIN EN ISO 7730 wird mit dem **PMV-Wert** (Predicted Mean Vote) ein mittleres Raumklima durch die Nutzer beurteilt. Daraus folgt der **PPD-Wert** (Predicted Percentage of Dissatisfied) als zu erwartender Prozentsatz Unzufriedener.

PMV bzw. PPD beurteilen die thermische Behaglichkeit global, erforderlich sind weitere, spezielle Kriterien:

- Zugluftrisiko
- Strahlungsasymmetrie
- Vertikale Lufttemperaturdifferenz im Raum
- Oberflächentemperaturen der Umfassungskonstruktion

Die sogenannte **summative thermische Behaglichkeit** fasst die Behaglichkeitskriterien zusammen und ermöglicht eine sehr schnell erfassbare und übersichtliche Darstellung. Das kann für die Zukunft ein wichtiges Instrument zur Kommunikation zwischen Architekt, Planer, Installateur und Bauherr bzw. Modernisierer für eine optimale Behaglichkeit in Räumen werden.

Die summative thermische Behaglichkeit und ihre Bildung sowie weitere Kriterien der thermischen Behaglichkeit werden auf Seite 10 näher erläutert.

Erfahrungswert für die Empfindungstemperatur im Sommer: 23 bis 27 °C

Ein Raum wird nach DIN EN ISO 7730 als behaglich (Kategorie B) empfunden, wenn

- die Oberflächentemperatur des Fußbodens mindestens 19 °C,
- die Differenz zwischen Oberflächentemperaturen verschiedener Raumflächen (Strahlungsasymmetrie) weniger als 14 K bei Kühldecken bzw. weniger als 10 K bei Kühlwänden und
- die vertikale Lufttemperaturdifferenz zwischen der Kopfhöhe einer sitzenden Person (1,1 m) und Bodennähe (0,1 m) weniger als 3 K beträgt. Nach unten abfallende Temperaturen werden dabei als weniger unangenehm empfunden als nach unten ansteigende.

## Raumtemperaturen.

Nach DIN EN ISO 7730 sind in Aufenthaltsräumen in Abhängigkeit von ihrer Nutzung sommerliche Empfindungstemperaturen von 20 bis 27 °C zulässig, wobei in für sitzende Tätigkeiten vorgesehenen Räumen ein Wert von 23,5 bis 25,5 °C als optimal im Sinne der thermischen Behaglichkeit gilt. Über 26 °C können verstärkt Beeinträchtigungen im Bereich der Aufenthaltzone auftreten.

Auch beim Niedrigenergiehaus unterscheiden sich die vertikalen Lufttemperaturverläufe in Abhängigkeit von den verschiedenen Kühlsystemen. Auffällig sind die niedrigen Lufttemperaturen bei den Luftkühlsystemen, die in Verbindung mit wärmeren Umschließungsflächen zur gleichen Empfindungstemperatur führen.

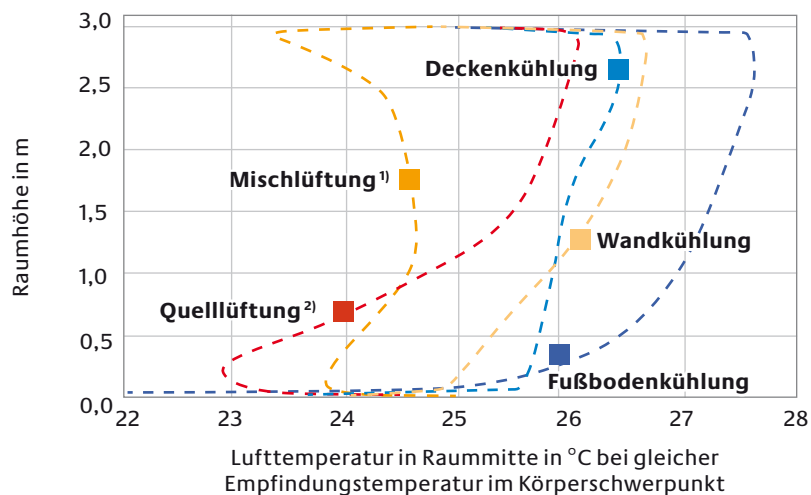
**Tendenziell steigt mit verbessertem Wärmeschutz die Behaglichkeit gegenüber älteren Gebäuden.**

## Luftgeschwindigkeit und Zugluftrisiko.

Nach DIN EN ISO 7730 wirken sich Luftgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Turbulenzgrad der Luft auf das Zugluftrisiko aus.

Das Zugluftrisiko wird durch das Kühlsystem (zum Beispiel Anordnung der Kühlfläche) und durch das Lüftungssystem (zum Beispiel Einbringung der Außen- bzw. Zuluft) beeinflusst. Unterschiede in der Behaglichkeit können sich beispielsweise zwischen Kühlfußboden und Kühldecke oder zwischen Quelläftung und Mischlüftung einstellen und machen optimierte konstruktive Lösungen erforderlich.

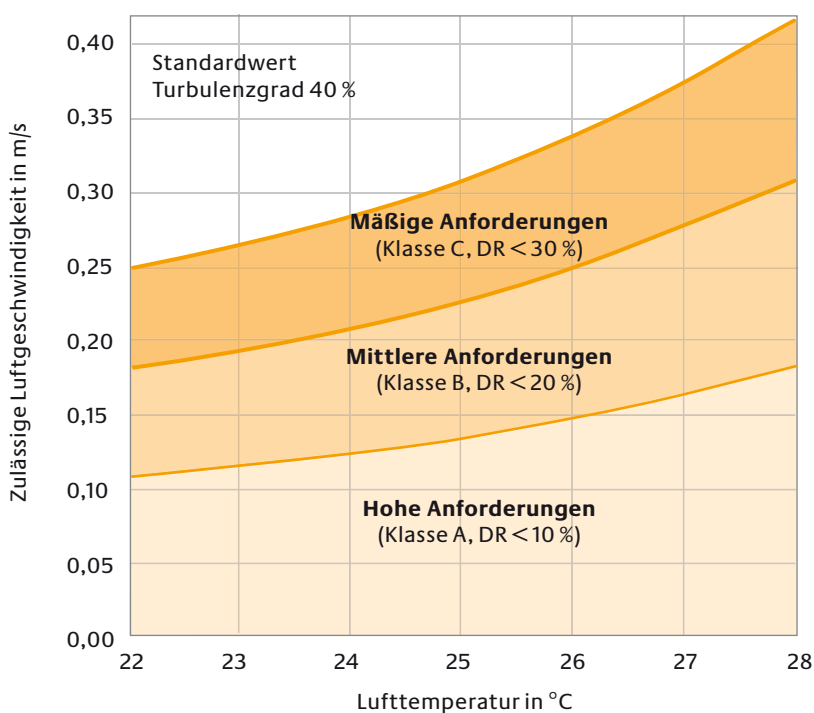
**Zulässige Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Lufttemperatur und zulässigem Zugluftrisiko** (ausgewähltes Beispiel nach DIN EN ISO 7730).



1) Mischlüftung: Zuluft wird üblicherweise im Deckenbereich eingebracht und mischt sich schnell mit der Raumluft.

2) Quelläftung: Zuluft wird in Fußbodennähe eingebracht und steigt an inneren Wärmequellen nach oben.

**Vertikaler Lufttemperaturverlauf in der Aufenthaltzone im Niedrigenergiehaus bei gleicher Empfindungstemperatur (24,5 °C) im thermischen Körperschwerpunkt (für eine sitzende Person in 0,6 m Höhe über dem Fußboden).**



### Grafiken dieser Broschüre.

Anhand umfangreicher grafischer Darstellungen soll in dieser Broschüre verdeutlicht werden, wie die unterschiedlichen Einflussgrößen – beispielsweise das Kühlsystem oder die Anordnung der Kühlflächen – auf die thermische Behaglichkeit wirken.

In den Darstellungen zur summarischen thermischen Behaglichkeit werden die vier Kategorien A, B, C und D (in Anlehnung an DIN EN ISO 7730 und DIN EN 15251) unterschieden und entsprechend farblich gekennzeichnet.

Mit diesen Kategorien lassen sich Aussagen zur Qualität der Behaglichkeit im Raum unter Berücksichtigung der Lüftung und anderer Einflussgrößen treffen. Eventuelle Schwachpunkte werden aufgezeigt und können bereits im Vorfeld minimiert werden. Grundsätzlich sollte möglichst die Klasse A angestrebt werden.

Bei der Darstellung anderer Behaglichkeitskriterien sind die kritischen Bereiche durch rötliche Farbtöne gekennzeichnet. Die grafische Darstellung der Behaglichkeitskriterien erfolgt für eine vertikale Ebene in Raummitte und gegebenenfalls für eine horizontale Ebene in jeweils angegebenen unterschiedlichen Höhen.

Alle Abbildungen beziehen sich – wenn nicht anders angegeben – auf den in Kapitel 3 (Seite 11) beschriebenen Modellraum. Die Abbildungen zeigen den bei der Auswertung der instationären Simulationsrechnungen ermittelten thermisch kritischen Zeitpunkt 16.00 Uhr. Die Aufenthaltszone im Raum wird hervorgehoben. Sie umfasst den Bereich mit einem Abstand von 1,0 m zur Außenwand und 0,5 m zu den Innenwänden sowie bis zu 2,0 m über dem Fußboden.

Die Ergebnisse sind auf ähnliche Raumverhältnisse (Größe, Orientierung) im Grundsatz übertragbar.

### Weiterführende Regelwerke.

#### 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 (Deutsche Fassung DIN EN ISO 7730: 2006).

#### DIN EN 13779.

Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme (Deutsche Fassung DIN EN 13779: 2007).

#### DIN EN 15251.

Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik (Deutsche Fassung DIN EN 15251: 2007).

Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

Die summarische thermische Behaglichkeit kann in beliebigen Ebenen im Raum dargestellt werden. Nachfolgend werden als Ergebnis von rechen-technischen Untersuchungen die kritischen Ebenen – vertikaler Schnitt in Raummitte (im Regelfall rechtwinklig zur Außenwand) und horizontaler Schnitt 0,6 m über dem Fußboden – dargestellt. Eine zusätzliche, schematisierte 3-D-Darstellung verdeutlicht die Behaglichkeitssituation im gesamten Raum.

## 2 Methodische Anmerkungen.

In Versuchen mit Testpersonen wurden Kriterien abgeleitet, die unabhängig von Geschlecht und Alter die thermische Behaglichkeit für verschiedene Situationen (Bekleidung, Tätigkeit usw.) beschreiben.

Dies sind nach DIN EN ISO 7730 die (mittlere) Raumklimabeurteilung durch die Nutzer – sogenannter PMV-Wert (Predicted Mean Vote) – und der daraus abgeleitete (zu erwartende) Prozentsatz der Unzufriedenen – sogenannter PPD-Wert (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Die Angaben in dieser Broschüre gelten für Aufenthaltsräume mit den dort üblichen körperlichen Aktivitäten und der dabei gebräuchlichen Kleidung.

### Umfassende Kriterien der thermischen Behaglichkeit.

Aufgrund des unterschiedlichen Empfindens der Menschen geht man davon aus, dass sehr gute thermische Verhältnisse im Raum vorliegen, wenn nicht mehr als 10 Prozent der Raumnutzer Akzeptanzprobleme haben. Ein einfacher Maßstab zur Beurteilung thermischer Komfortzustände ist die operative Temperatur (oder Empfindungstemperatur). Sie bildet näherungsweise den Mittelwert aus der Lufttemperatur und den (gemittelten) Oberflächentemperaturen des Raums. Diese Beziehung ist allerdings nur auf Räume mit geringen Luftbewegungen anwendbar.

### Spezielle Kriterien der thermischen Behaglichkeit.

Auch bei günstigen Werten von PMV bzw. PPD lassen sich lokal unbehagliche Zustände nicht ausschließen. Aus diesem Grund gibt es hierfür spezielle Kriterien:

#### Risiko der Zugluftbelästigung.

Der bekleidete Mensch empfindet Zugluft insbesondere im Nacken und an den Fußgelenken als störend. Daraus folgt zum Beispiel für einen Aufenthaltsraum mit 26 °C Lufttemperatur eine maximale Zugluftgeschwindigkeit von ca. 0,15 bis 0,25 m/s für Kategorie B (siehe Diagramm auf Seite 8).

#### Strahlungsasymmetrie.

Dieses Phänomen wird auch als „Strahlungszug“ bezeichnet und lässt sich mit dem Gefühl beschreiben, das zum Beispiel beim Aufenthalt unmittelbar in der Nähe sommerheißer Fensterflächen bei gegenüberliegenden kühlen Innenwänden auftritt.

#### Vertikale Lufttemperaturdifferenz im Raum.

Dieser Behaglichkeitsmaßstab resultiert aus der Erfahrung, dass zu große Temperaturunterschiede zwischen Kopf (für sitzende Personen bei 1,1 m) und Fuß (0,1 m) als unangenehm empfunden werden. Er wird für eine horizontale Ebene im thermischen Körperschwerpunkt (0,6 m) dargestellt.

#### Zulässige Oberflächentemperaturen.

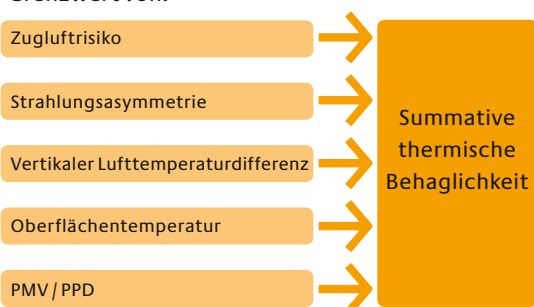
Dieses Kriterium soll Unterkühlungen zum Beispiel an den Füßen vermeiden. Daraus resultieren beispielsweise die Vorgaben für die minimale Oberflächentemperatur bei Fußbodenkühlung.

### Summative thermische Behaglichkeit.

Die Gesamtbewertung der thermischen Behaglichkeit eines Raums erfordert die Berücksichtigung umfassender (globaler) und spezieller (lokaler) Kriterien. Eine optimale Möglichkeit zur vereinfachten Darstellung ergibt sich aus der rechnerischen Kombination der globalen Kriterien PMV bzw. PPD und der lokalen Kriterien Zugluftrisiko, Strahlungsasymmetrie, vertikale Lufttemperaturdifferenz und Oberflächentemperaturen in Form der summativen thermischen Behaglichkeit.

Dabei geht man davon aus, dass sich die Gesamtbewertung eines Raums aus einem Vergleich der jeweiligen Teilbewertungen ergibt. Die angewendete konservative Betrachtung berücksichtigt dabei die jeweils ungünstigsten Werte. Die vertikale Lufttemperaturdifferenz nimmt eine gewisse Sonderstellung ein, da sie ausschließlich auf die Ebene des Körperschwerpunkts in 0,6 m Höhe bezogen wird.

Grenzwert von:



## 3 Randbedingungen.

### Raumgeometrie.

Die Grundlage dieses Leitfadens bilden Untersuchungen für einen nach Westen orientierten Modellraum mit einer Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent sowie eine Soll-Empfindungstemperatur in Raummitte von 24,5 °C.

Die Aufenthaltszone im Raum wird in den Abbildungen hervorgehoben.

### Kühllasten.

Im Raum befinden sich typische Wärmequellen (Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung), die eine angenommene innere Kühllast von 25 W/m<sup>2</sup> bewirken und näherungsweise als zwei zylindrische Wärmequellen in Raummitte modelliert werden. Für das Wetter und die resultierenden Kühllasten werden die Daten für den 23. Juli der Kühllastzone 3 nach VDI 2078: 2003-02 verwendet.

### Wärmeschutz.

Es werden zwei Wärmeschutzniveaus untersucht: Altbau und Niedrigenergiehaus.

### Bauschwere.

#### Schwer:

- Bauschwere ca. 950 kg/m<sup>2</sup> Außenwand
- Außen- und Innenwände aus Mauerwerk (Hochlochziegel)
- Massivdecken und -fußböden (Beton)

#### Leicht:

- Bauschwere ca. 400 kg/m<sup>2</sup> Außenwand
- Außenwände aus Gasbeton (übertragbar auf Ständerbauweise)
- Innenwände in Ständerbauweise (Gipskarton)
- Decken und Fußböden in Leichtbaukonstruktion

### Anlagentechnik.

Grundsätzlich wird zwischen Flächen- und Luftkühlung unterschieden.

Im Einzelnen werden folgende Varianten betrachtet:

#### Flächenkühlung

(Luftwechsel  $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ):

- Kühlfußboden
- Kühlwand (1 Innenwand Längsseite)
- Kühldecke

#### Luftkühlung

(Luftwechsel  $n = 6,0 \text{ h}^{-1}$ ):

- Quelllüftung
- Mischlüftung mit Drallluftauslässen

### Verschattung und Verglasung.

In den Berechnungen ist grundsätzlich eine Wärmeschutzverglasung berücksichtigt.

In einzelnen Varianten, die mit Sonnenschutzverglasung berechnet werden, ist dies gesondert ausgewiesen.



### Fensterflächenanteil.

Um den Einfluss in den Varianten zu verdeutlichen, werden diese mit unterschiedlichem Fensterflächenanteil berechnet und dargestellt:

- 30 Prozent: Fenster 3 x 1,5 m = 4,5 m<sup>2</sup>
- 100 Prozent: Fenster 5 x 3 m = 15 m<sup>2</sup>

### Modellraum

Abmessungen: 5 x 6 x 3 m

Wände: eine Außenwand

Fensterflächenanteil: 30 Prozent, 3 x 1,5 m

Aufenthaltszone:

Abstand zur Außenwand: 1,0 m

Abstand zu den Innenwänden: 0,5 m

Höhe: bis 2,0 m über dem Fußboden

Die Abbildungen zeigen den bei der Auswertung der instationären Simulationsrechnungen ermittelten thermisch kritischen Zeitpunkt 16.00 Uhr.

#### Altbau:

- Außenwand:  $U = 1,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Fenster:  $U = 4,66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

#### Niedrigenergiehaus:

- Außenwand:  $U = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Fenster:  $U = 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

#### Kombinationen für Kühlung und Lüftung:

- Kühldecke und Quelllüftung ( $n = 6,0 \text{ h}^{-1}$ )
- Kühlfußboden und Abluftanlage ( $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ )
- Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage ( $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ )

- Wärmeschutzverglasung:  $g = 0,62$

- Sonnenschutzverglasung:  $g = 0,30$

Es werden zwei typische Verschattungen betrachtet:

- Feste Außenverschattung (zum Beispiel Markise, keine direkte Strahlung auf das Fenster)
- Bewegliche Außenverschattung (zum Beispiel Jalousie, bis 200 W/m<sup>2</sup> solare Einstrahlung offen, dann Nachführung der Lamellen senkrecht zum Sonnenstand, 20 Prozent direkte Strahlung auf das Fenster)



# 4 Ungekühlte Räume.

## Maximale Strahlungsasymmetrie



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

## Vertikale Lufttemperaturdifferenz



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

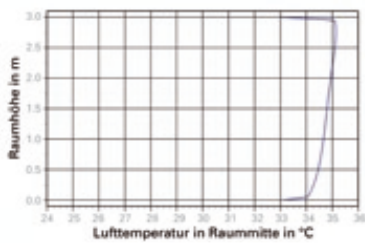
In Deutschland ist die sommerliche Kühlung in Wohngebäuden gegenwärtig eher die Ausnahme und auch in Bürogebäuden keine Standardlösung. Deshalb sollen die thermischen Verhältnisse für einen ungekühlten Raum als Vergleichsfall dargestellt werden.

Trotz der unterstellten geringen inneren Kühllasten ( $12 \text{ W/m}^2$ ), des begrenzten Fensterflächenanteils (30 Prozent) sowie des hohen Wärmeschutzes und der festen Außenverschattung sind hier drastische Einschränkungen der summativen thermischen Behaglichkeit zu erwarten. Hinsichtlich der globalen und summativen Behaglichkeit lässt sich keine Einstufung im Sinne der DIN EN ISO 7730 erreichen (schlechter als Kategorie C), die Lufttemperatur steigt im Raum unter den angegebenen Randbedingungen drastisch an.

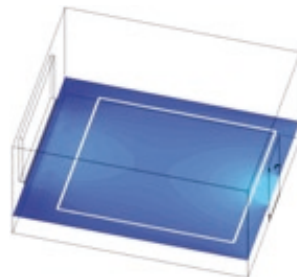
Insbesondere durch den Verzicht auf Verschattungsmaßnahmen werden die thermischen Verhältnisse weiter verschlechtert.

Durch die nachfolgend untersuchten Kühlverfahren wird generell eine wesentliche Verbesserung der thermischen Behaglichkeit erreicht. Allerdings erweist sich eine Unterscheidung in Ankühlungs- und Vollkühlungssysteme als grundsätzlich sinnvoll.

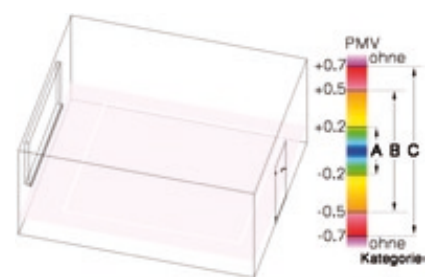
### Höhenabhängiger Lufttemperaturverlauf



### Maximale Strahlungsasymmetrie



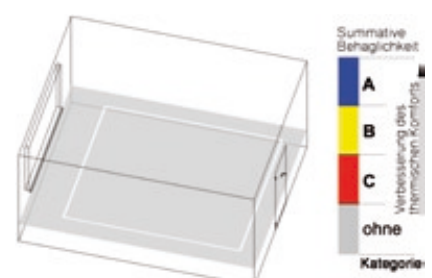
### Mittlere Raumklimabewertung PMV



### Vertikale Lufttemperaturdifferenz



### Summative Behaglichkeit





## 5) Ankühlung und Vollkühlung.

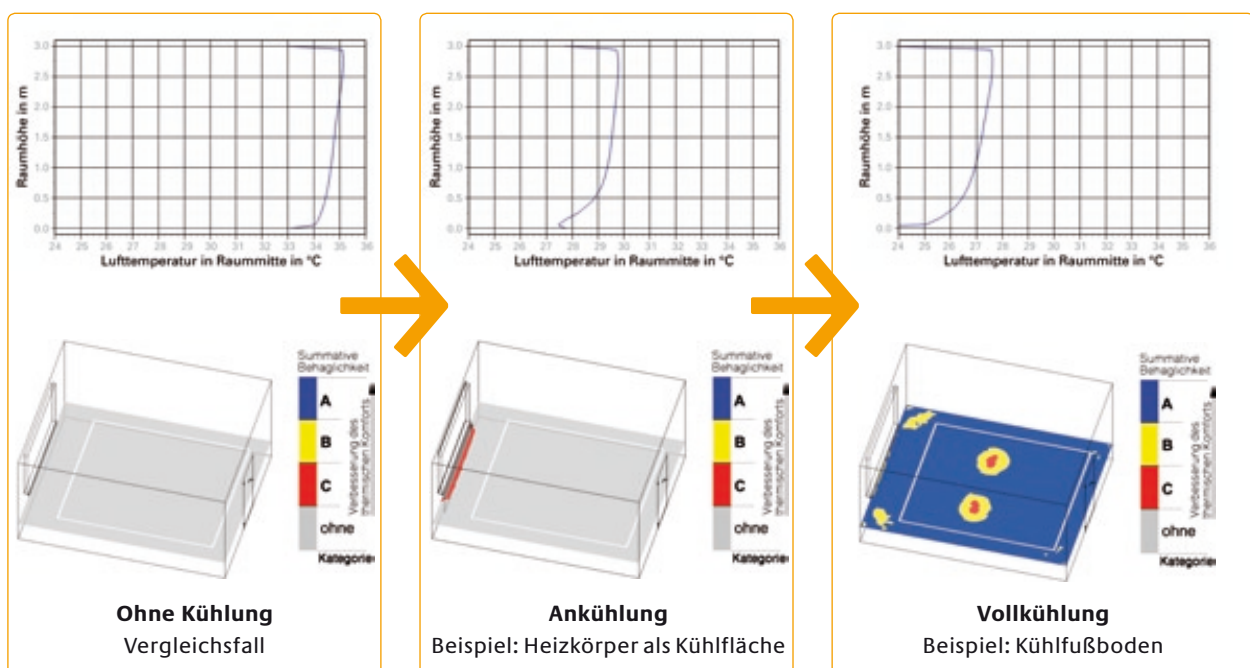
Im Wohnbereich und bei einfachen Bürogebäuden spielen Lösungsansätze zur Ankühlung (Kühlung ohne garantierte Sicherstellung von Raumtemperaturen) und auch zur Teilkühlung (Kühlung nur von einzelnen Räumen bzw. Wohnbereichen) eine wesentliche Rolle.

Mit Ankühlungssystemen wird das Ziel verfolgt, die Raumtemperaturen im Sommerfall zu senken, ohne garantierte Verhältnisse (zum Beispiel eine Behaglichkeitsklasse nach DIN EN ISO 7730 unabhängig von den Lastverhältnissen) anzustreben. Eine Ankühlung kann beispielsweise in Kombination mit einer begrenzten Kühlleistung (zum Beispiel Kälteerzeugung durch freie Kühlung oder Kälteübergabe durch Heizkörper als Kühlfläche) zweckmäßig sein.

Gegenüber dem Vergleichsfall ohne Kühlung zeigt sich das Potenzial der Ankühlung. Die Lufttemperatur kann unter den betrachteten Randbedingungen spürbar reduziert werden. Eine generelle Klassifizierung der globalen thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 kann aber in den betrachteten Varianten der Ankühlung 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 oder Kühlfußboden, und Luftkühlverfahren, wie beispielsweise Quelllüftung und Mischlüftung, geeignet.

Die aus den unterschiedlichen Kühlkonzepten (Ankühlung und Vollkühlung) resultierenden sommerlichen thermischen Verhältnisse im Vergleich zum ungekühlten Raum verdeutlicht beispielhaft die unten stehende Abbildung.



## A Wärmeschutz und Bauschwere.

Um den **Einfluss des Wärmeschutzes** auf die sommerlichen thermischen Verhältnisse zu verdeutlichen, werden grob zwei exemplarische Wärmeschutzstandards unterschieden.

### Altbau:

Gesamtheit aller Gebäude, erbaut vor der Wärmeschutzverordnung (WSchVO) 77.

### Niedrigenergiehaus (NEH):

Gebäude, die nach EnEV 2007 erbaut oder vergleichbar saniert wurden. Die Aussagen gelten tendenziell auch für Gebäude nach der WSchVO 95. **Für Neubauten, die die Mindestanforderungen der EnEV 2007 übertreffen (zum Beispiel EnEV 2009, KfW-Effizienzhäuser), verbessern sich die Ergebnisse.**

Geht man von einem begrenzten Fensterflächenanteil (hier 30 Prozent an einer Außenwand), einer minimierten solaren Einstrahlung (hier feste Außenverschattung) und einer schweren Bauweise aus, weist der Wärmeschutz im Vergleich zur Verschattung oder Sonnenschutzverglasung nur einen geringen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit im Sommer auf. Sowohl bei den Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen als auch bei der daraus resultierenden Strahlungsasymmetrie sind, unter diesen Bedingungen, zwischen Altbau und Niedrigenergiehaus praktisch keine Unterschiede zu erkennen.

Bei ungünstigeren Randbedingungen (keine bzw. eingeschränkte Verschattung, gegebenenfalls in Kombination mit größeren Fensterflächen) ist ein größerer Einfluss des Wärmeschutzes auf die thermische Behaglichkeit zu erwarten. Ein besserer Wärmeschutz weist dann durch geringere solare Kühllasten (Wärmeschutzverglasung) und einen verminderten Wärmetransport durch die Außenwände in den Raum Vorteile auf.

### Maximale Strahlungsasymmetrie

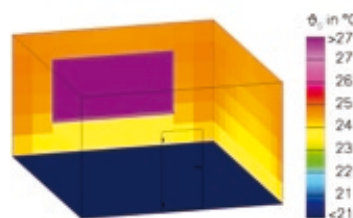


Kritischer Bereich

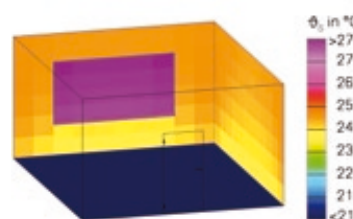


Unkritischer, angenehmer Bereich

### Oberflächentemperaturen verschiedener Raumumschließungsflächen

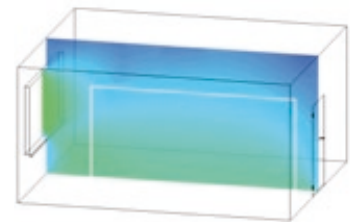


NEH – schwer

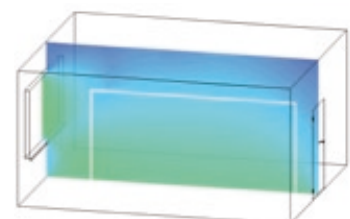


Altbau – schwer

### Maximale Strahlungsasymmetrie



NEH – schwer



Altbau – schwer

Zur Bewertung des Einflusses der **Bauschwere** werden für das Niedrigenergiehaus mit Kühlfußboden nachfolgend exemplarisch zwei Bauweisen unterschieden.

**Schwer:**

- Bauschwere ca. 950 kg/m<sup>2</sup> Außenwand
- Außen- und Innenwände aus Mauerwerk (Hochlochziegel)
- Massivdecken und -fußböden (Beton)

**Leicht:**

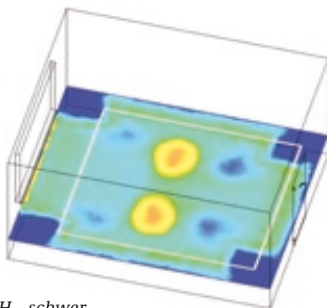
- Bauschwere ca. 400 kg/m<sup>2</sup> Außenwand
- Außenwände aus Gasbeton (übertragbar auf Ständerbauweise)
- Innenwände in Ständerbauweise (Gipskarton)
- Decken und Fußböden in Leichtbaukonstruktion

Die Bauschwere hat im Allgemeinen eher einen untergeordneten Einfluss, da nur oberflächennahe Schichten der Umfassungsflächen an Wärmeübertragungsvorgängen beteiligt sind.

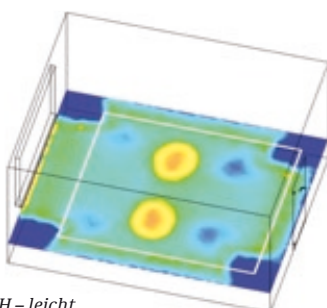
Bei günstigen Randbedingungen (Fensterflächenanteil 30 Prozent und feste Außenverschattung) zeigen sich bei einem Kühlfußboden sowohl in der vertikalen Lufttemperaturdifferenz als auch bei der Strahlungsasymmetrie und beim Zugluftrisiko nur geringe Differenzen zwischen schwerer und leichter Bauweise. Zu erkennen sind die beiden inneren Wärmequellen und ihr Einfluss auf die vertikale Lufttemperaturdifferenz.

Bei ungünstigen Randbedingungen (große Fenster, geringe Verschattung) zeigen sich deutlichere Unterschiede, wobei eine leichte Bauweise tendenziell ungünstigere wärmephysiologische Verhältnisse, zum Beispiel bei der summativen thermischen Behaglichkeit, aufweist.

**Vertikale Lufttemperaturdifferenz**

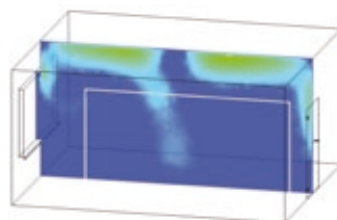


NEH – schwer

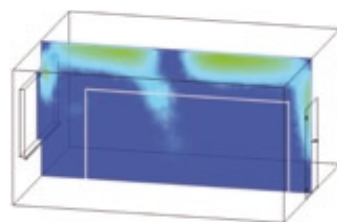


NEH – leicht

**Zugluftrisiko**



NEH – schwer



NEH – leicht

**Vertikale Lufttemperaturdifferenz**



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

**Zugluftrisiko**



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich



## Altbau, schwer.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Wärmeschutz und Bauschwere wird für Altbauten in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

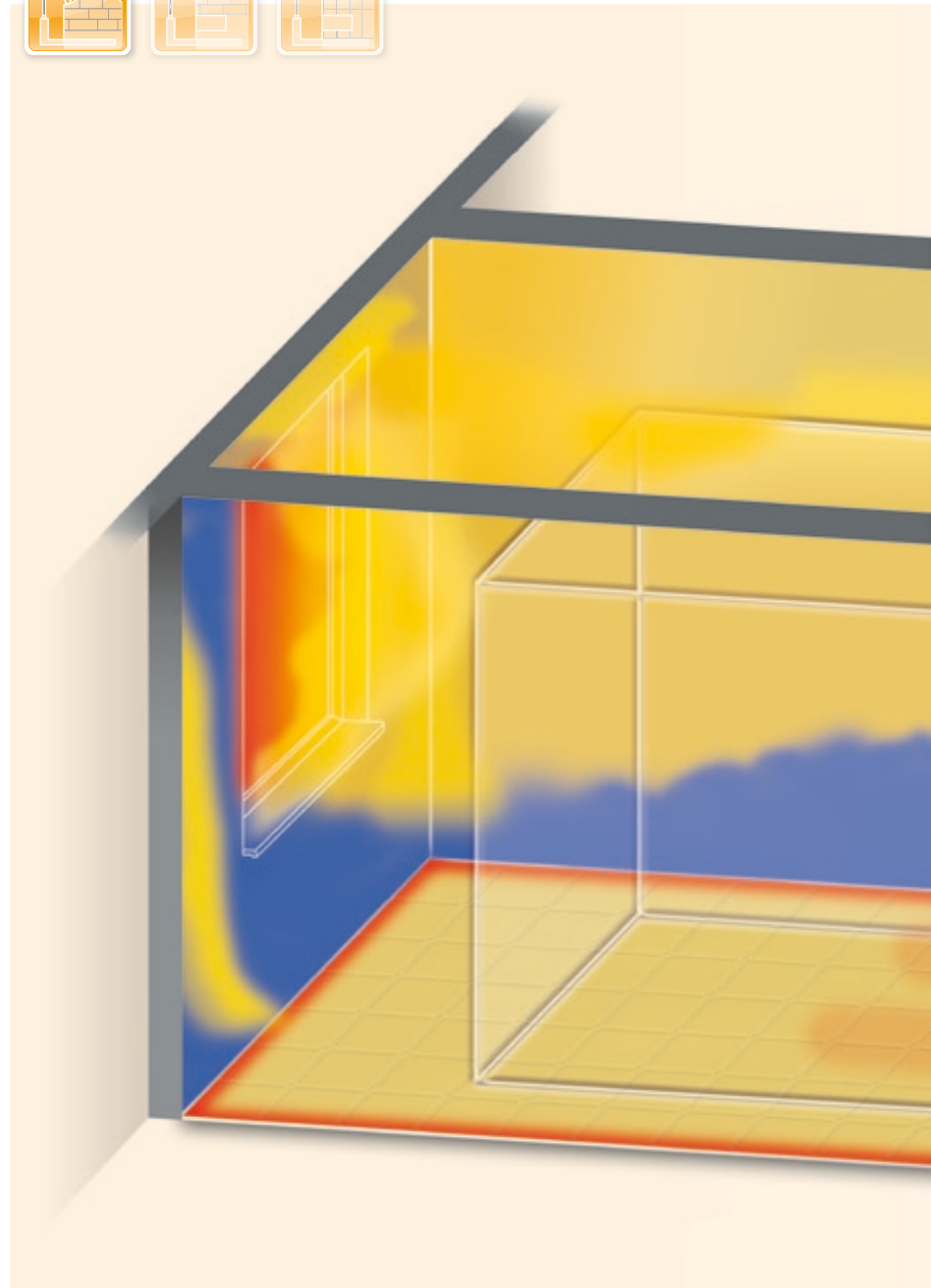
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Die Kombination einer erhöhten Lufttemperatur und eines infolge der Temperaturschichtung im Raum auftretenden Zuglufttrisikos hat Komforteinschränkungen im Kopfbereich zur Folge. Wärmeschutz und Bauschwere haben allerdings nur einen untergeordneten Einfluss auf diese Effekte.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

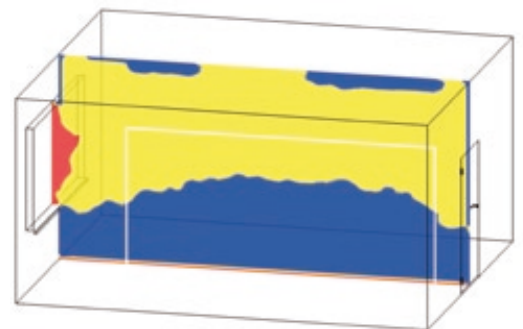
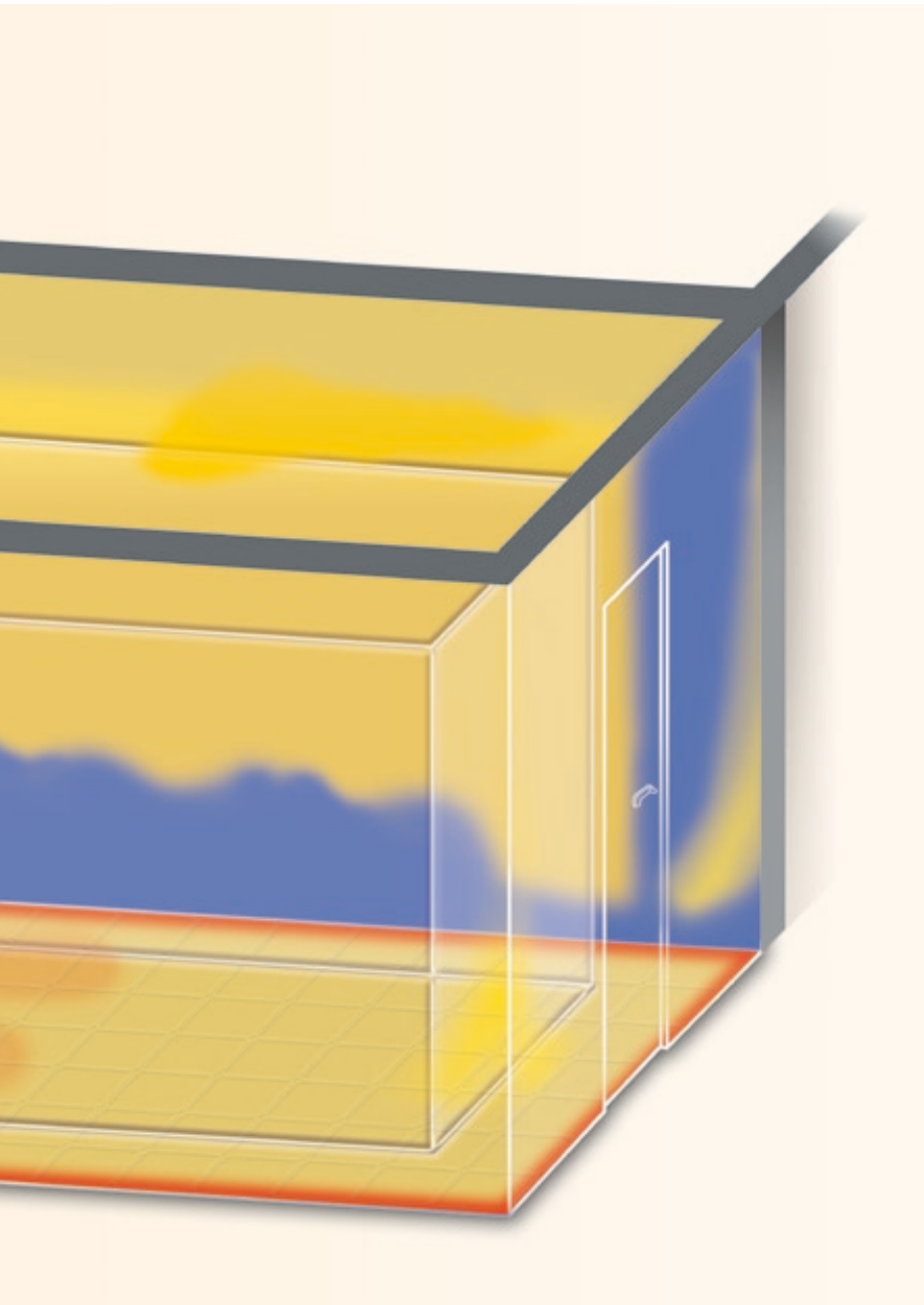


Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

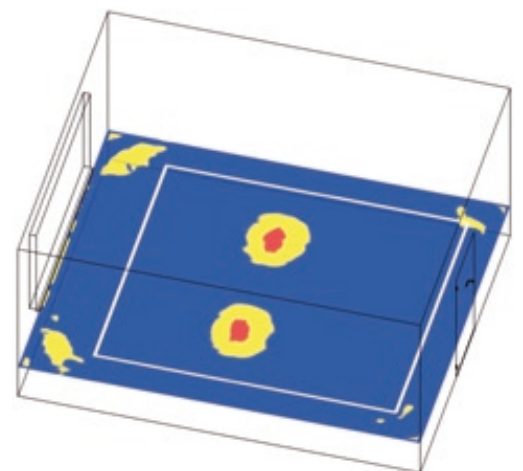


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Kopfbereich ergeben sich Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Verbesserter Wärmeschutz und schwere Bauweise führen zu erhöhter thermischer Behaglichkeit im Sommer.
- Die Solareinstrahlung sollte durch Verschattung und Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, minimiert werden.
- Ein geeignetes Nutzerverhalten, zum Beispiel verstärkte Nachtlüftung, kann die sommerliche thermische Behaglichkeit verbessern.



# Niedrigenergiehaus, schwer.

## Kühlfußboden.

Der Einfluss von Wärmeschutz und Bauschwere wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

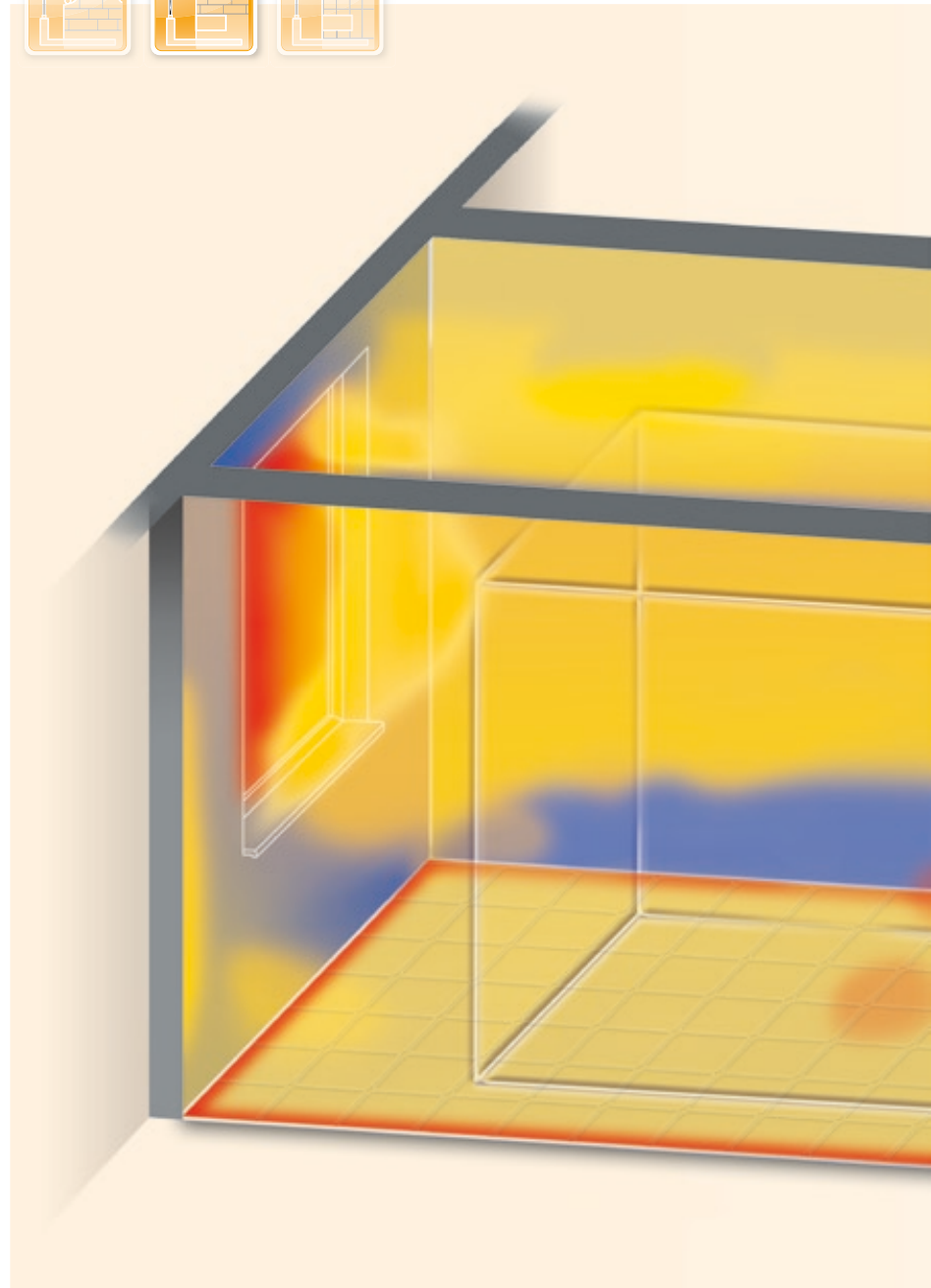
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Die Kombination einer erhöhten Lufttemperatur bzw. einer erhöhten vertikalen Lufttemperaturdifferenz und eines infolge der Temperaturschichtung im Raum auftretenden Zugluftrisikos hat Komforteinschränkungen im Kopfbereich zur Folge.

Ein erhöhter Wärmeschutz verbessert die Verhältnisse zum Beispiel durch verringerte solare Kühllasten infolge einer Wärmeschutzverglasung nur wenig.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

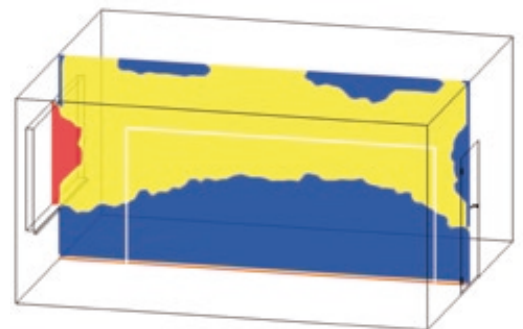
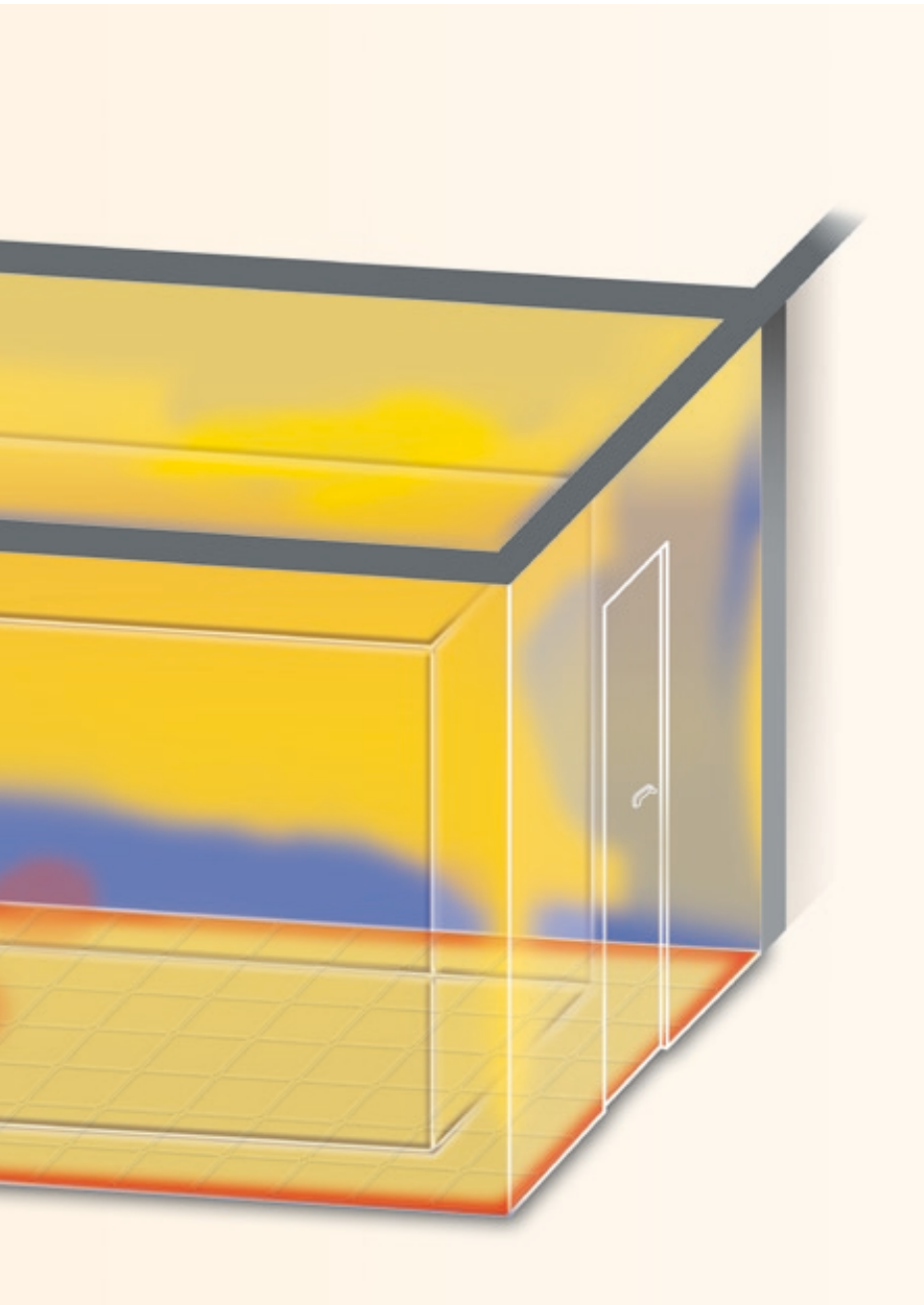


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

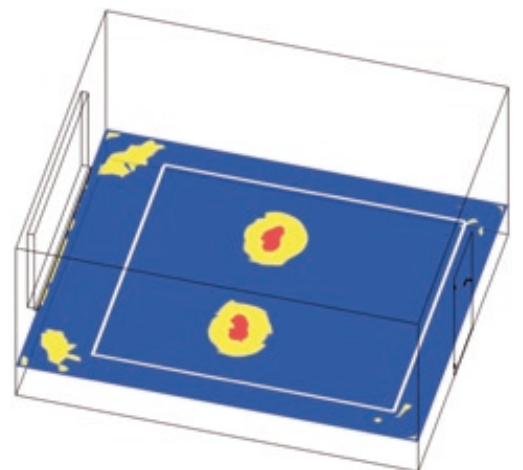


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Kopfbereich ergeben sich Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Verbesserter Wärmeschutz und schwere Bauweise führen zu erhöhter thermischer Behaglichkeit im Sommer.
- Die Solareinstrahlung sollte durch Verschattung und Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, minimiert werden.
- Ein geeignetes Nutzerverhalten, zum Beispiel verstärkte Nachtlüftung, kann die sommerliche thermische Behaglichkeit verbessern.

## Niedrigenergiehaus, leicht.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Wärmeschutz und Bauschwere wird für ein Niedrigenergiehaus in leichter Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

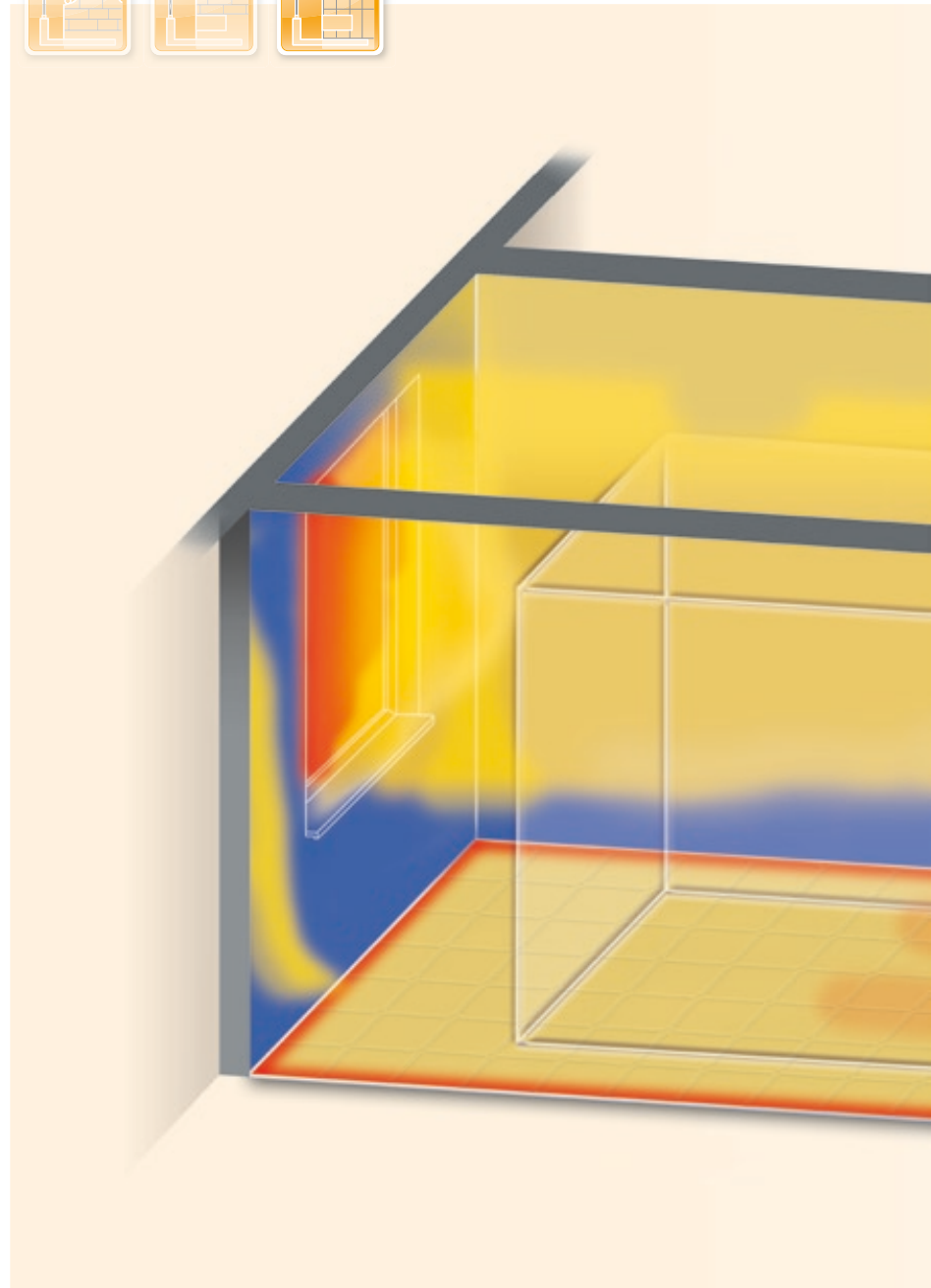
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Die Kombination einer erhöhten Lufttemperatur bzw. einer erhöhten vertikalen Lufttemperaturdifferenz und eines infolge der Temperaturschichtung im Raum auftretenden Zugluftrisikos hat Komforteinschränkungen im Kopfbereich zur Folge.

Die leichte Bauweise hat im Vergleich zur schweren Bauweise kaum Auswirkungen auf die sommerliche thermische Behaglichkeit im Raum.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



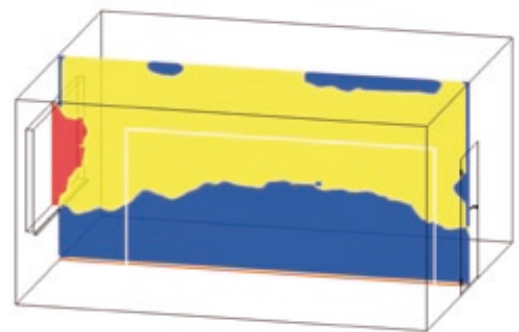
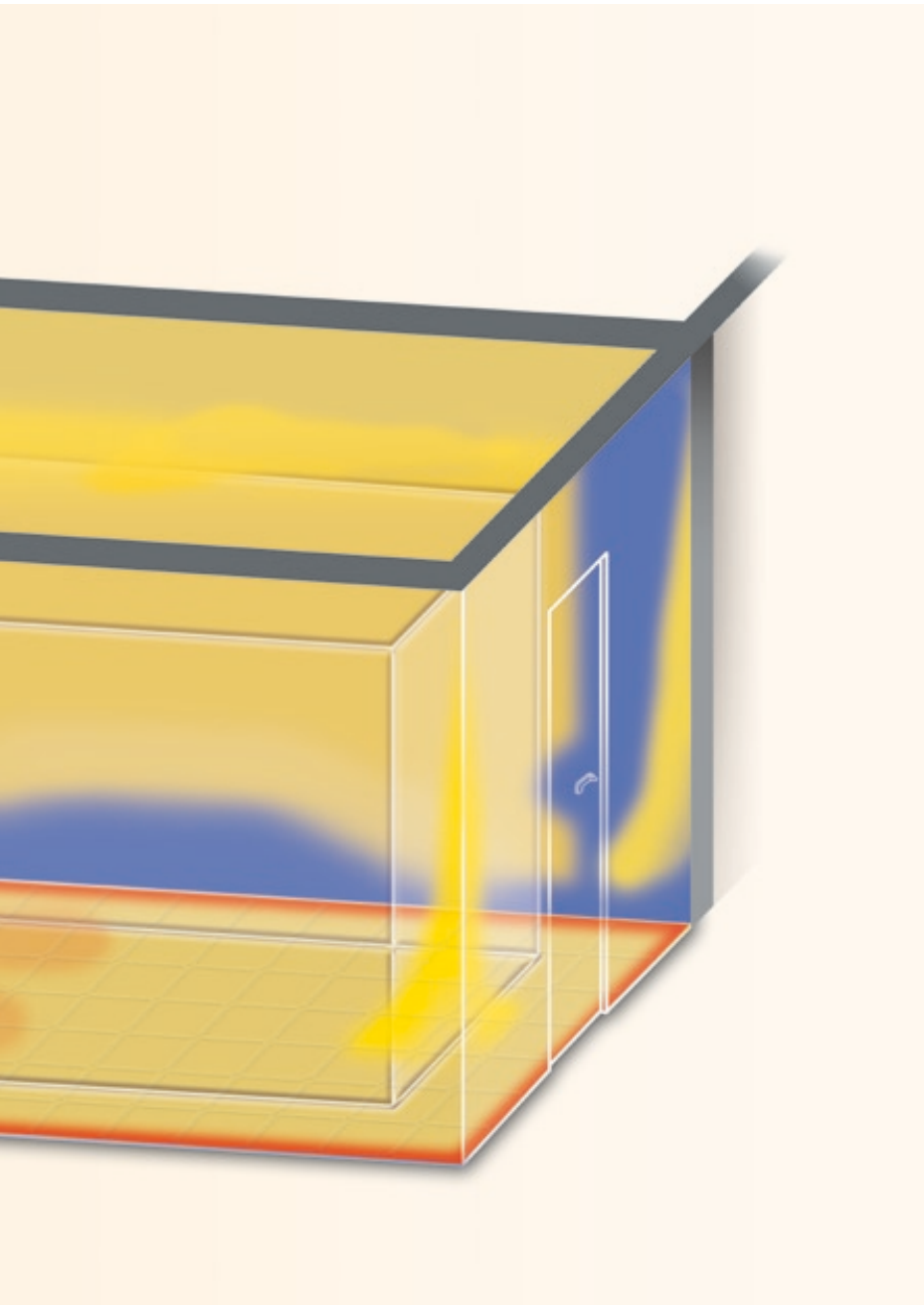
Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



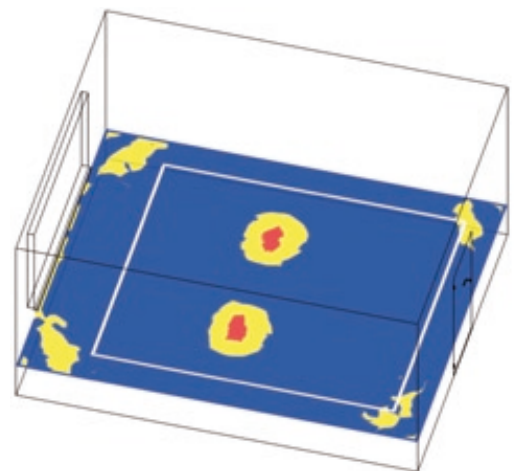
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Kopfbereich ergeben sich Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Verbesserter Wärmeschutz und schwere Bauweise führen zu erhöhter thermischer Behaglichkeit im Sommer.
- Die Solareinstrahlung sollte durch Verschattung und Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, minimiert werden.
- Ein geeignetes Nutzerverhalten, zum Beispiel verstärkte Nachtlüftung, kann die sommerliche thermische Behaglichkeit verbessern.

## B Verschattung und Fensterflächenanteil.

Um den Einfluss der **Verschattung** zu beurteilen, werden für das Niedrigenergiehaus mit Kühlfußboden zwei typische Praxisfälle verglichen.

### Ohne Verschattung:

- 30 Prozent Fensterflächenanteil
- 100 Prozent Fensterflächenanteil
- 100 Prozent Fensterflächenanteil und Sonnenschutzverglasung

### Feste Außenverschattung:

- 30 Prozent Fensterflächenanteil
- 100 Prozent Fensterflächenanteil

### Bewegliche Außenverschattung:

- 100 Prozent Fensterflächenanteil

Sowohl der Vergleich der vertikalen Lufttemperaturdifferenz (zu erkennen sind die beiden inneren Wärmequellen) als auch der maximalen Strahlungsasymmetrie verdeutlicht, dass die Verschattung eine der entscheidenden Größen für die sommerliche thermische Behaglichkeit darstellt. Ohne oder mit unzureichender Verschattung sind auch wenig anspruchsvolle wärme-physiologische Kriterien kaum zu erfüllen.

Große Fensterflächen verstärken diesen negativen Effekt. Der Einsatz von Verglasungen mit geringem Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$ , wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, vermindert die Auswirkungen fehlender Verschattung.

### Vertikale Lufttemperaturdifferenz



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

### Maximale Strahlungsasymmetrie

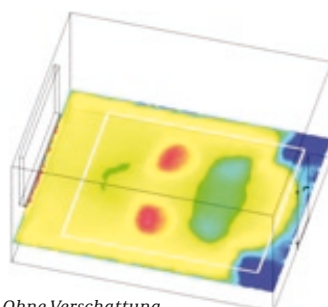


Kritischer Bereich

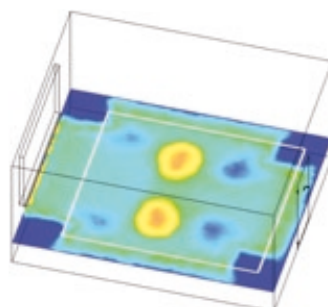


Unkritischer, angenehmer Bereich

### Vertikale Lufttemperaturdifferenz

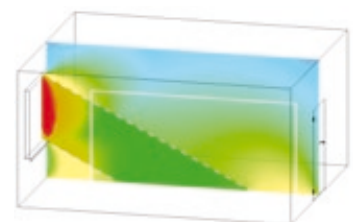


Ohne Verschattung,  
Fensterflächenanteil 30 Prozent

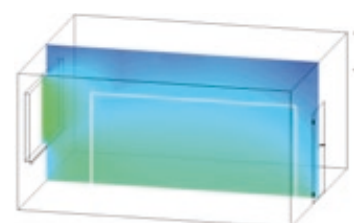


Feste Außenverschattung,  
Fensterflächenanteil 30 Prozent

### Maximale Strahlungsasymmetrie



Ohne Verschattung,  
Fensterflächenanteil 30 Prozent



Feste Außenverschattung,  
Fensterflächenanteil 30 Prozent

Die **Bedeutung des Fensterflächenanteils** für die sommerliche Wärme-physiologie wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden in zwei beispielhaften Szenarien dargestellt.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent:**

- 1 Außenwand mit Fensterfläche  $b \times h = 3 \times 1,5 \text{ m} = 4,5 \text{ m}^2$
- Ohne Verschattung

**Fensterflächenanteil 100 Prozent:**

- 1 Außenwand mit Fensterfläche  $b \times h = 5 \times 3 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$
- Ohne Verschattung

Betrachtet man zunächst die Schichtung der Lufttemperatur, fallen kaum Unterschiede in Abhängigkeit von der Fensterfläche auf. Ähnliches gilt für die vertikale Lufttemperaturdifferenz und das Zugluftrisiko (nicht dargestellt).

Ein deutlich anderes Bild ergibt sich bei der Strahlungsasymmetrie. Hier resultiert aus der Fensterflächenvergrößerung bei fehlender Verschattung eine deutliche Verringerung der lokalen und daraus resultierend der globalen thermischen Behaglichkeit.

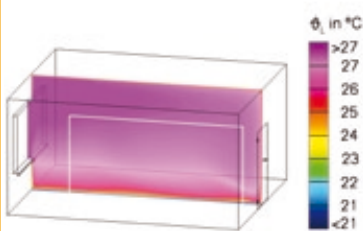
Grundsätzlich hat der Fensterflächenanteil in Abhängigkeit von der Verschattung einen großen Einfluss auf die sommerliche thermische Behaglichkeit. Allerdings ergibt sich bei guter Verschattung ein gewisser „Freiheitsgrad“ hinsichtlich der Fenstergröße.

Für den sommerlichen Wärmeschutz ist die Verminderung der solaren Einstrahlung von zentraler Bedeutung.

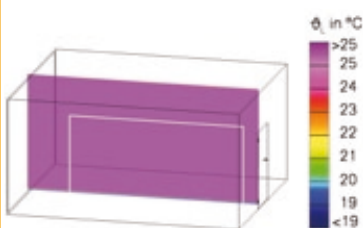
Wichtige Einflussgrößen sind dabei

- Verschattung oder alternativ
- Verglasungen mit geringem Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  in Verbindung mit optimierten Fensterflächenanteilen.

**Lufttemperaturverteilung**

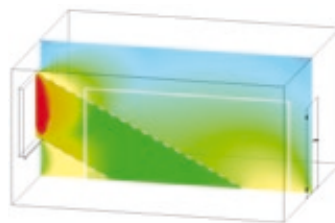


Fensterflächenanteil 30 Prozent, ohne Verschattung

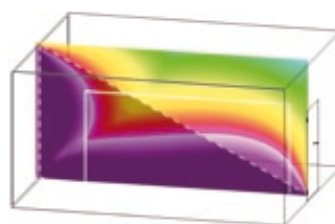


Fensterflächenanteil 100 Prozent, ohne Verschattung

**Maximale Strahlungsasymmetrie**



Fensterflächenanteil 30 Prozent, ohne Verschattung



Fensterflächenanteil 100 Prozent, ohne Verschattung

**Maximale Strahlungsasymmetrie**



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

## Ohne Verschattung, Fensterfläche 30 Prozent.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Verschattung und Fensterflächenanteil wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

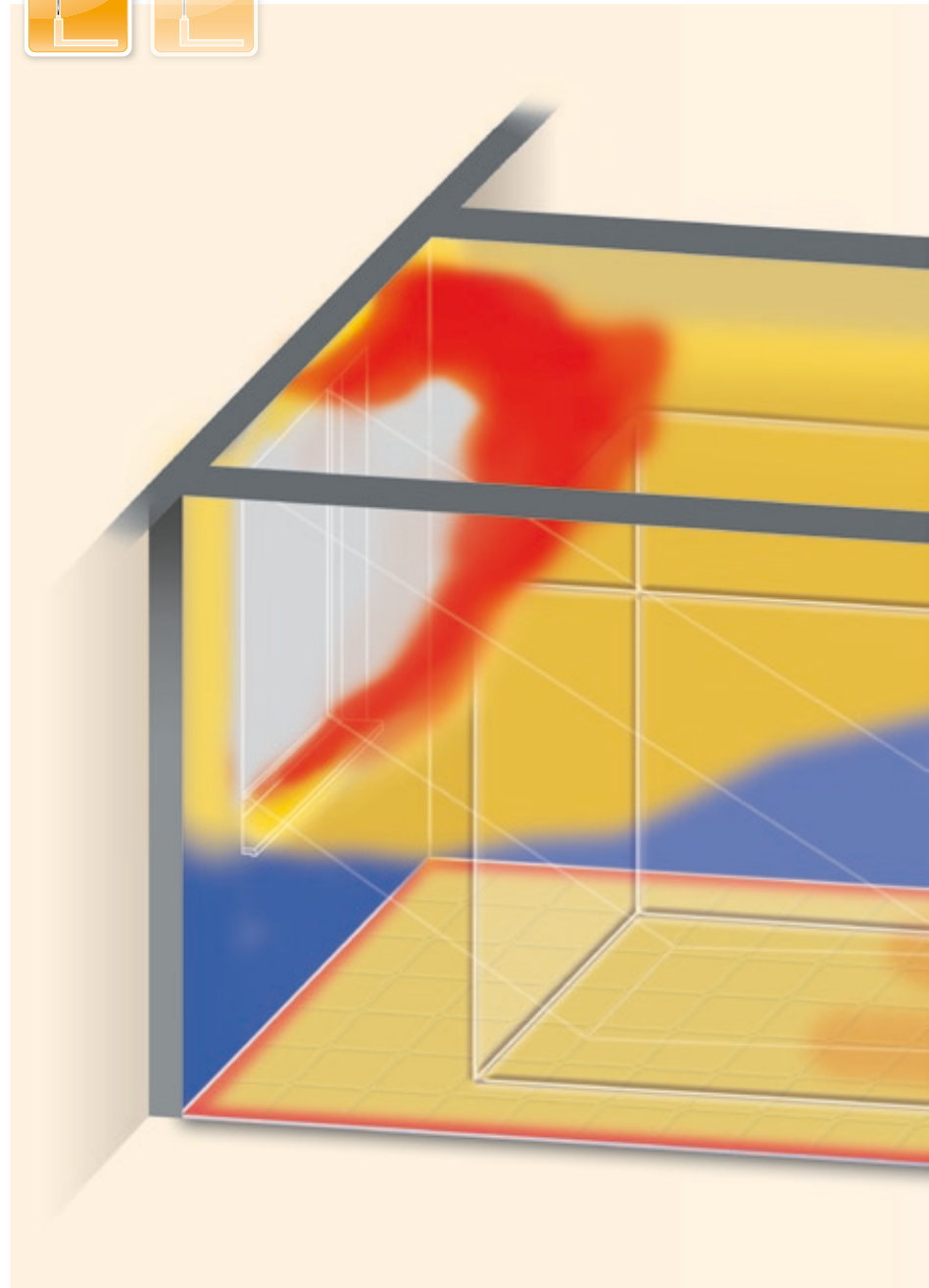
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und keine Verschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Ausgehend von einer ausgeprägten Diskomfortzone unmittelbar am unverschatteten Fenster sind auch in der Aufenthaltszone weiträumig Einschränkungen des thermischen Komforts sowohl im Fuß- als auch im Kopfbereich zu verzeichnen. Ursächlich sind Defizite in lokalen (Strahlungsasymmetrie, vertikale Lufttemperaturdifferenz, teilweise auch Zugluftrisiko) und globalen (PMV) Kriterien.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

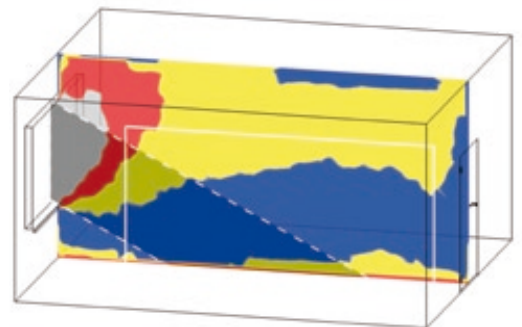
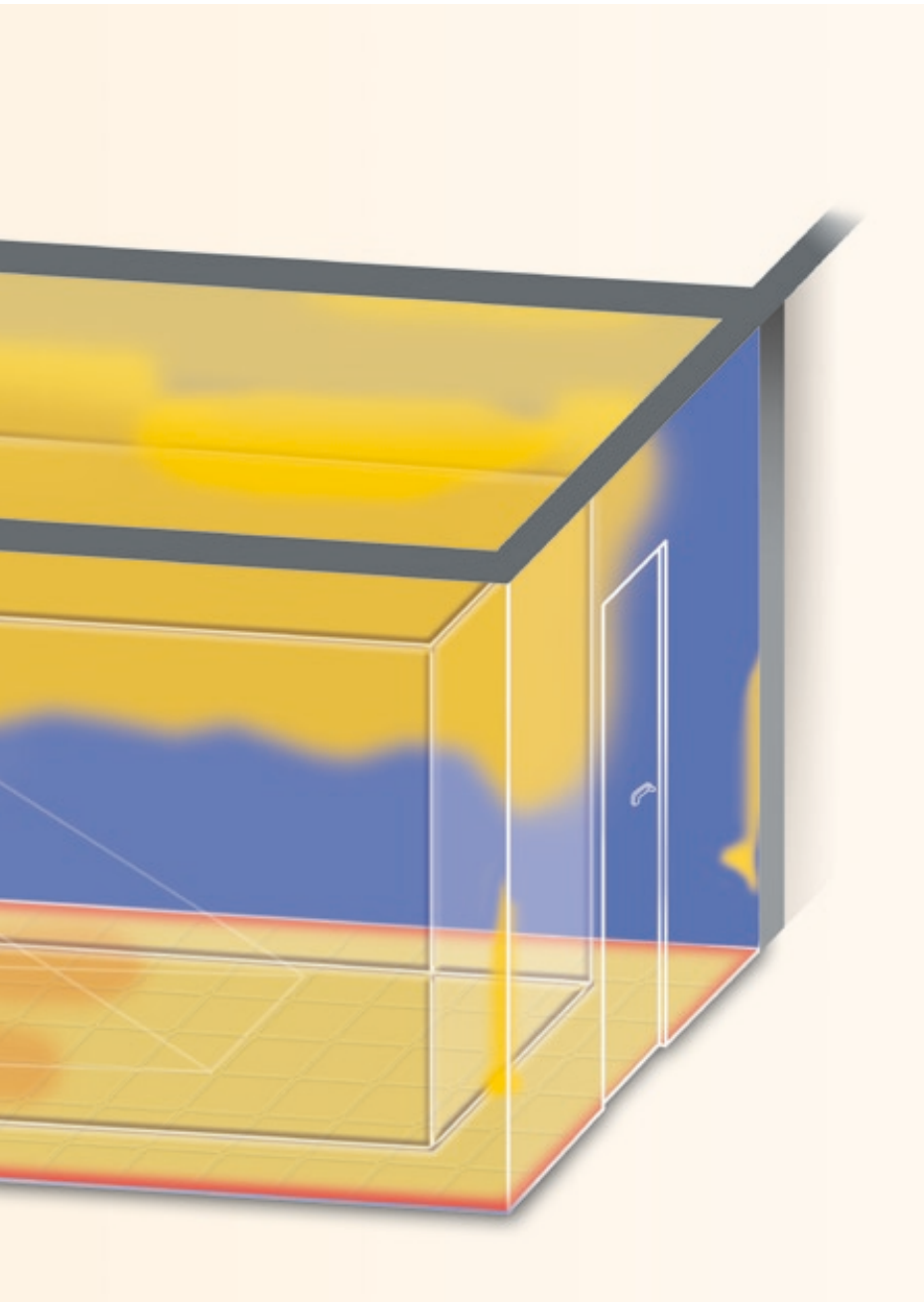


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemaisgt
D	ohne

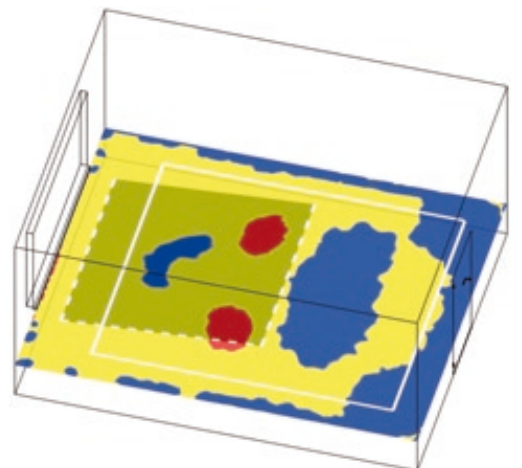


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Sowohl im Kopf- als auch im Fußbereich sind Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Eine Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, verringert die solaren Lasten im Raum und verbessert damit die sommerliche thermische Behaglichkeit.
- Kühlverfahren mit direkter Kühlung der besonnten Flächen sind vorteilhaft.



## Feste Außenverschattung, Fensterfläche 30 Prozent.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Verschattung und Fensterflächenanteil wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

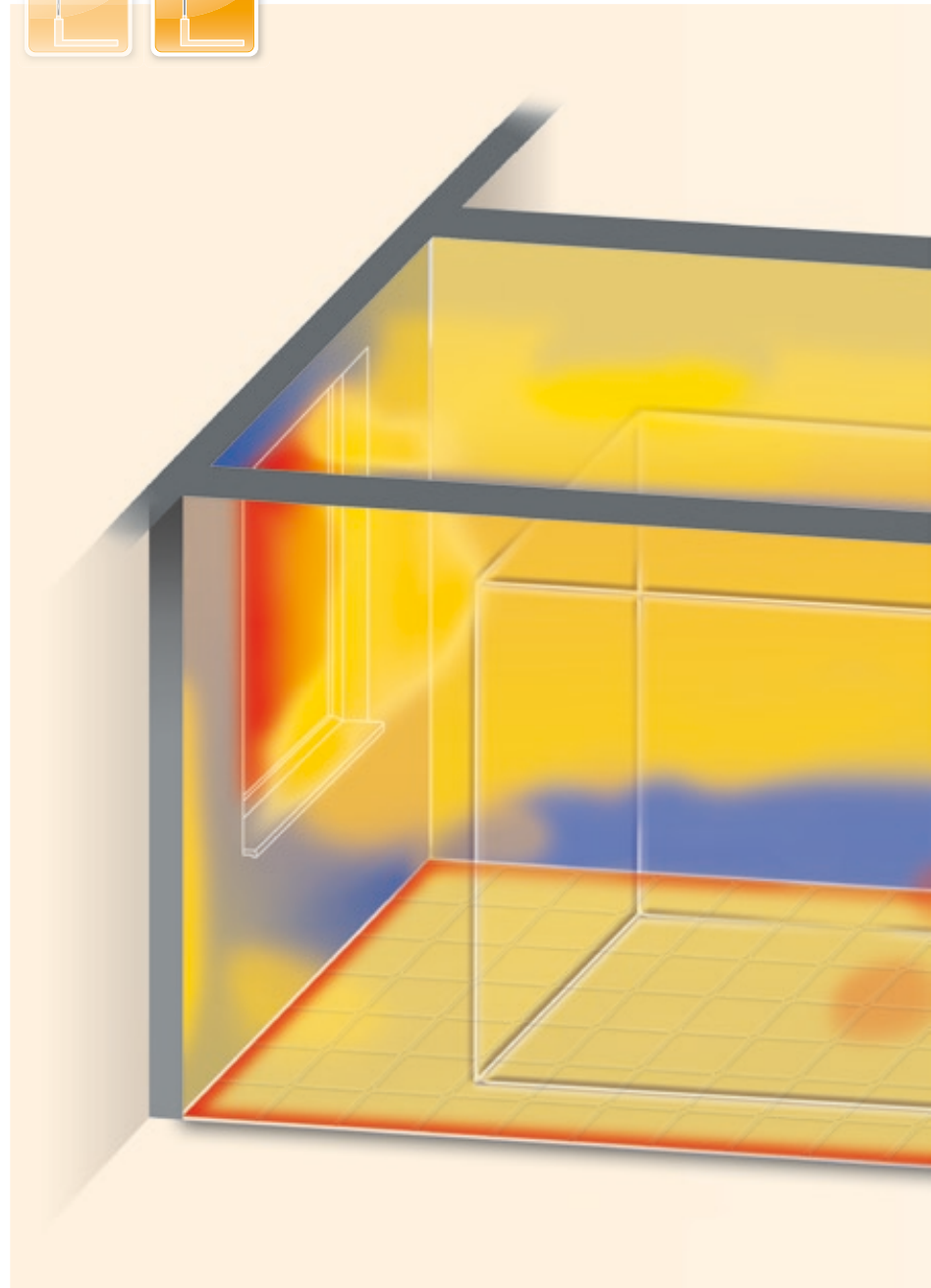
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Durch die Verschattung werden insbesondere die maximale Strahlungsasymmetrie und die vertikale Lufttemperaturdifferenz verringert und die summative Behaglichkeit wird damit spürbar verbessert. Komforteinschränkungen existieren auch mit Außenverschattung im Kopfbereich.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

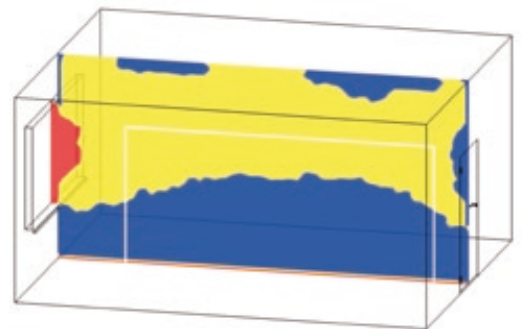
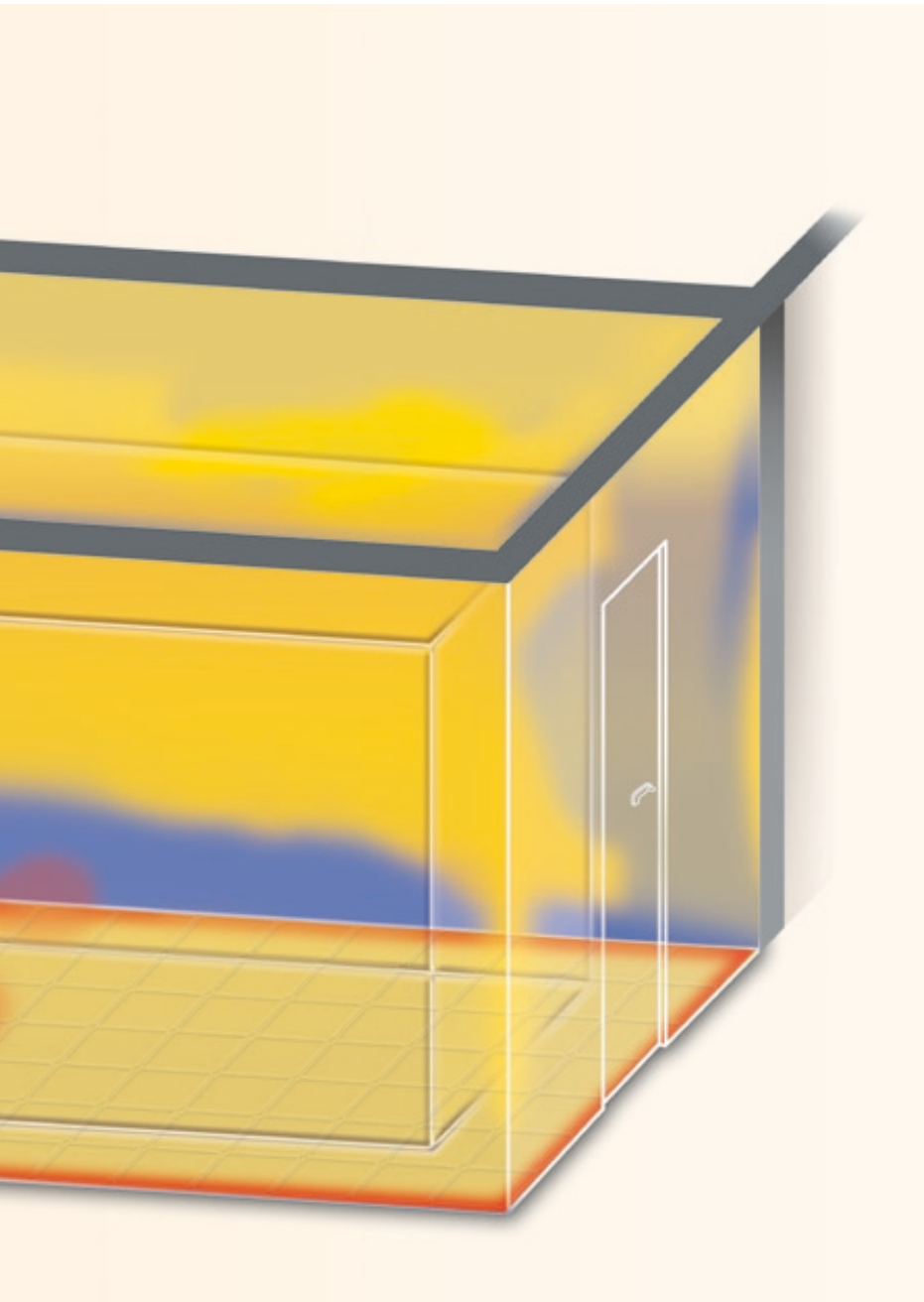


Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

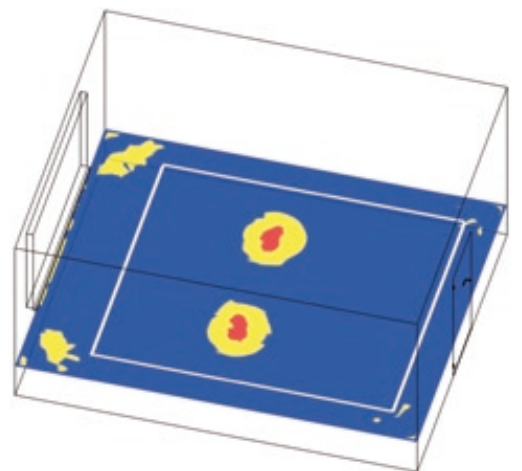


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Kopfbereich ergeben sich Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Eine Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, verringert die solaren Lasten im Raum und verbessert damit die sommerliche thermische Behaglichkeit.

## Ohne Verschattung, Fensterfläche 100 Prozent.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Verschattung und Fensterflächenanteil wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und keine Verschattung.

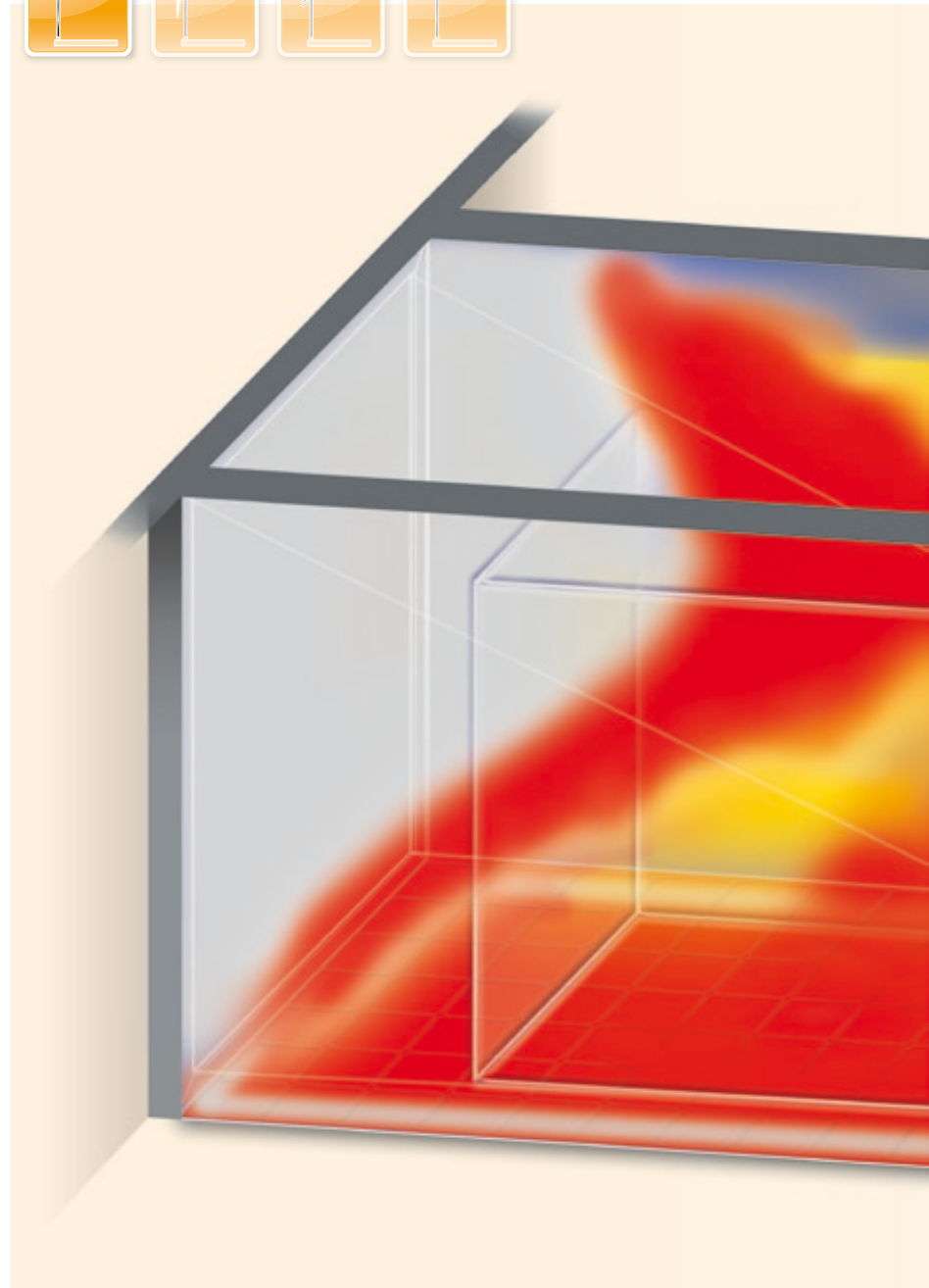
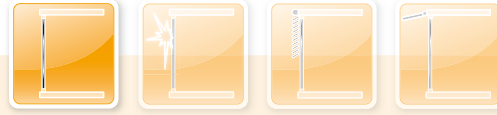
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Der Einbau von großen Fensterflächen (Glaswänden) unter Verzicht auf eine Verschattung führt trotz der Kühlung zu einem deutlich eingeschränkten thermischen Komfort.

In Fensternähe kann keine Behaglichkeitsklasse mehr eingehalten werden, auch im Aufenthaltsbereich lässt sich größtenteils nur noch die Klasse B bis C erreichen.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



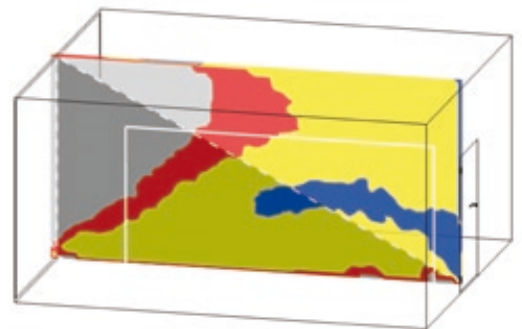
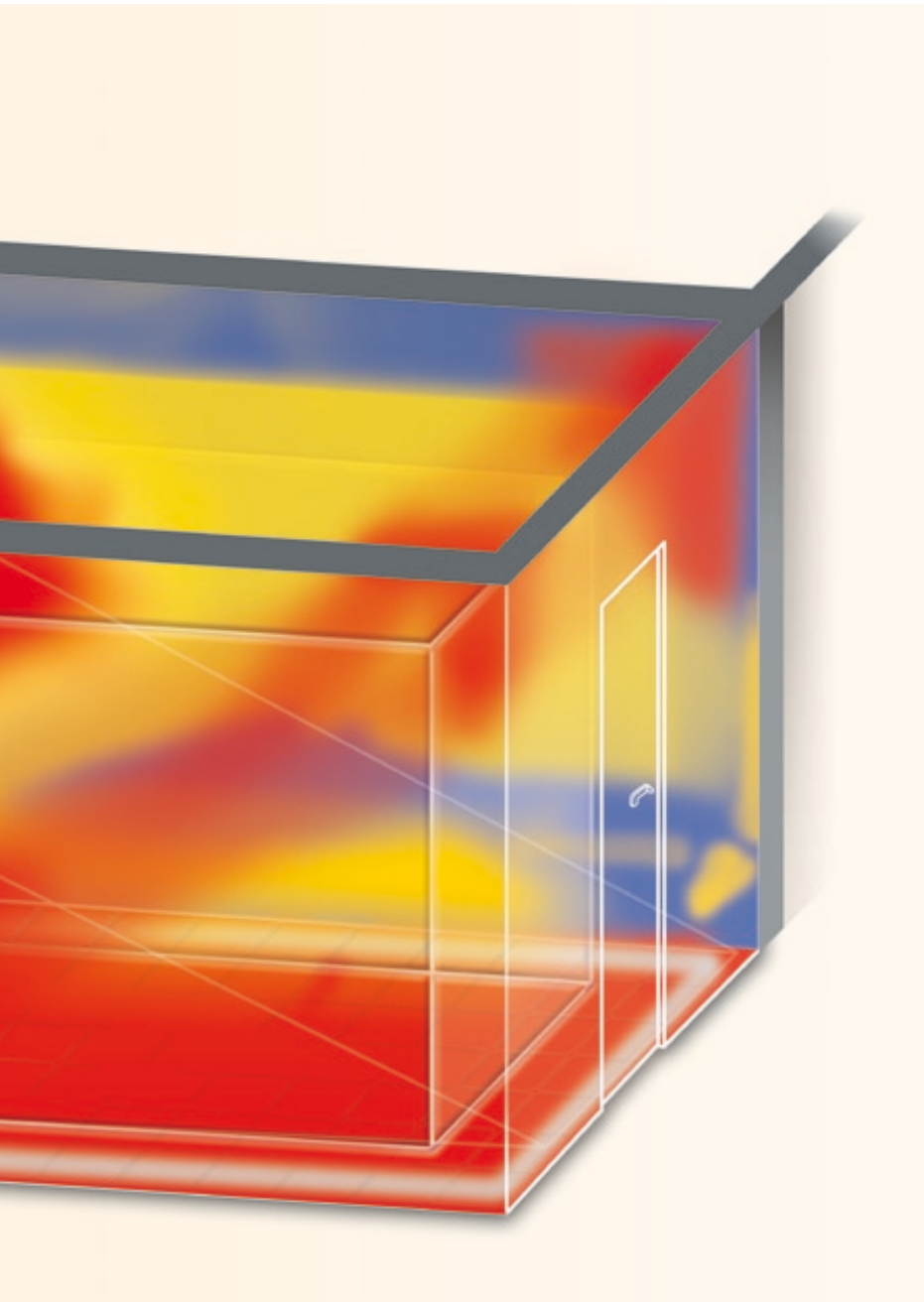
Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



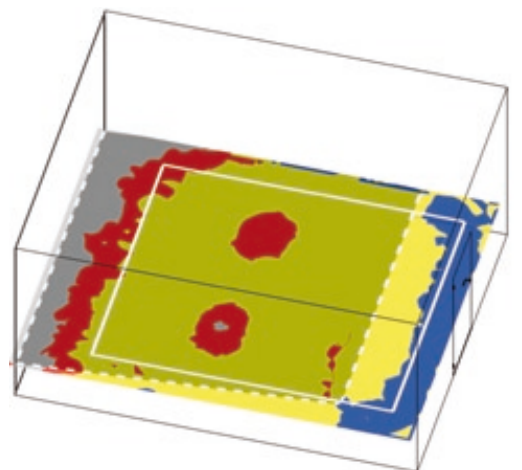
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B bis C erreicht.

In Fensternähe ist keine Komfortklassifizierung mehr möglich.





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Eine Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, verringert die solaren Lasten im Raum und verbessert damit die sommerliche thermische Behaglichkeit.
- Kühlverfahren mit direkter Kühlung der besonnten Flächen sind vorteilhaft.

## Ohne Verschattung, mit Sonnenschutzverglasung, Fensterfläche 100 Prozent.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Verschattung und Fensterflächenanteil wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und keine Verschattung. Es kommt eine Sonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,3 zum Einsatz.

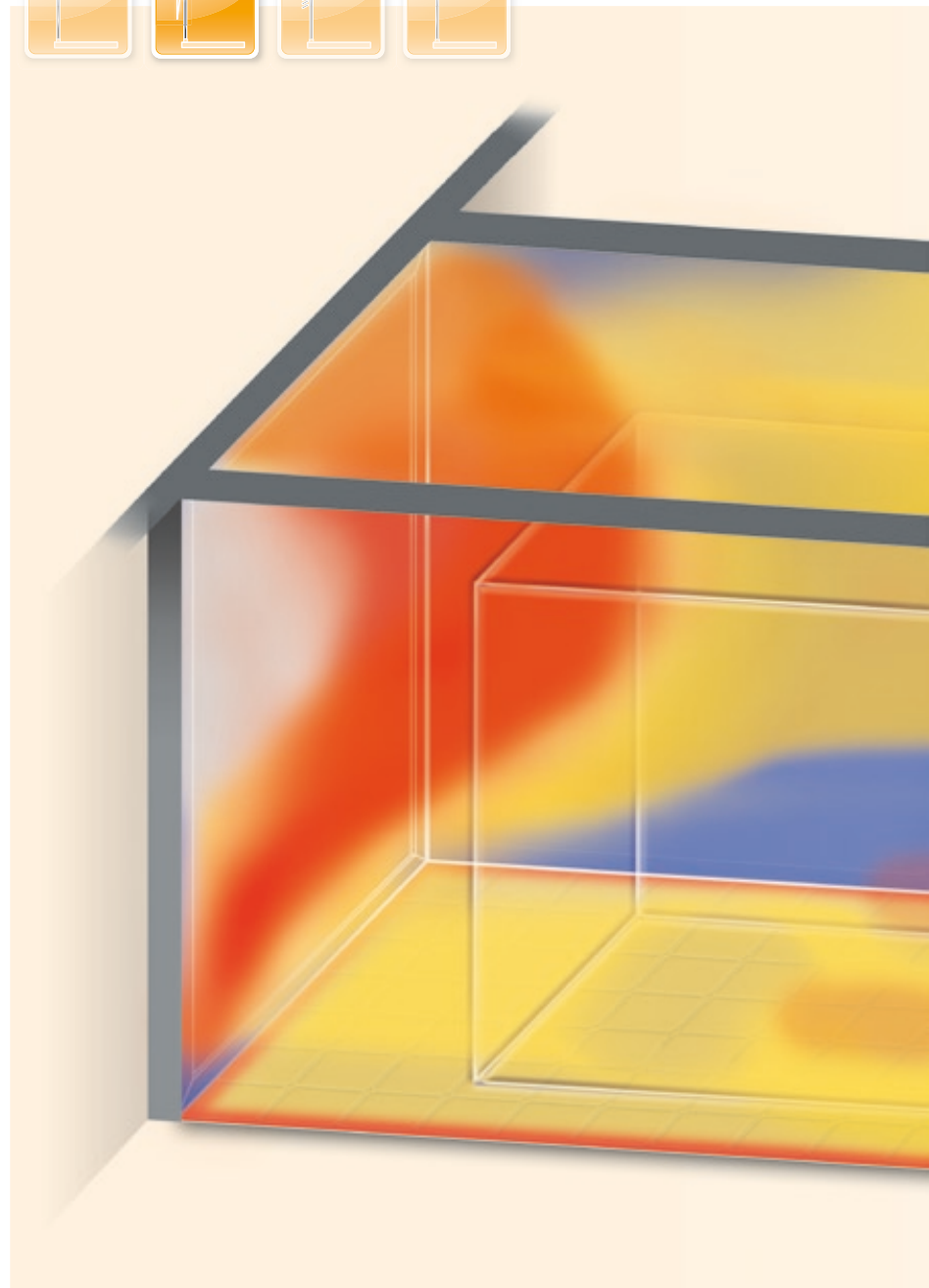
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Der Einbau von großen Fensterflächen (Glaswänden) unter Verzicht auf eine Verschattung kann durch die Kombination Sonnenschutzverglasung und Kühlung hinsichtlich des thermischen Komforts teilweise kompensiert werden.

Im Aufenthaltsbereich sind Einschränkungen des thermischen Komforts im Kopfbereich zu beobachten. Defizite in der vertikalen Lufttemperaturdifferenz und in der mittleren Klimabewertung PMV sind dafür maßgeblich.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

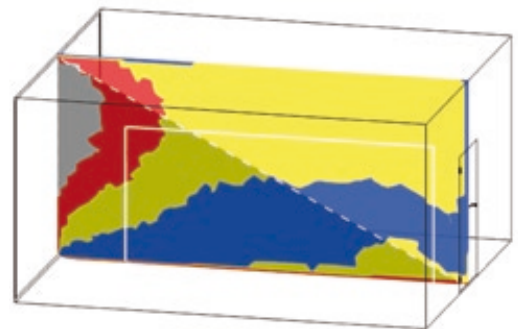
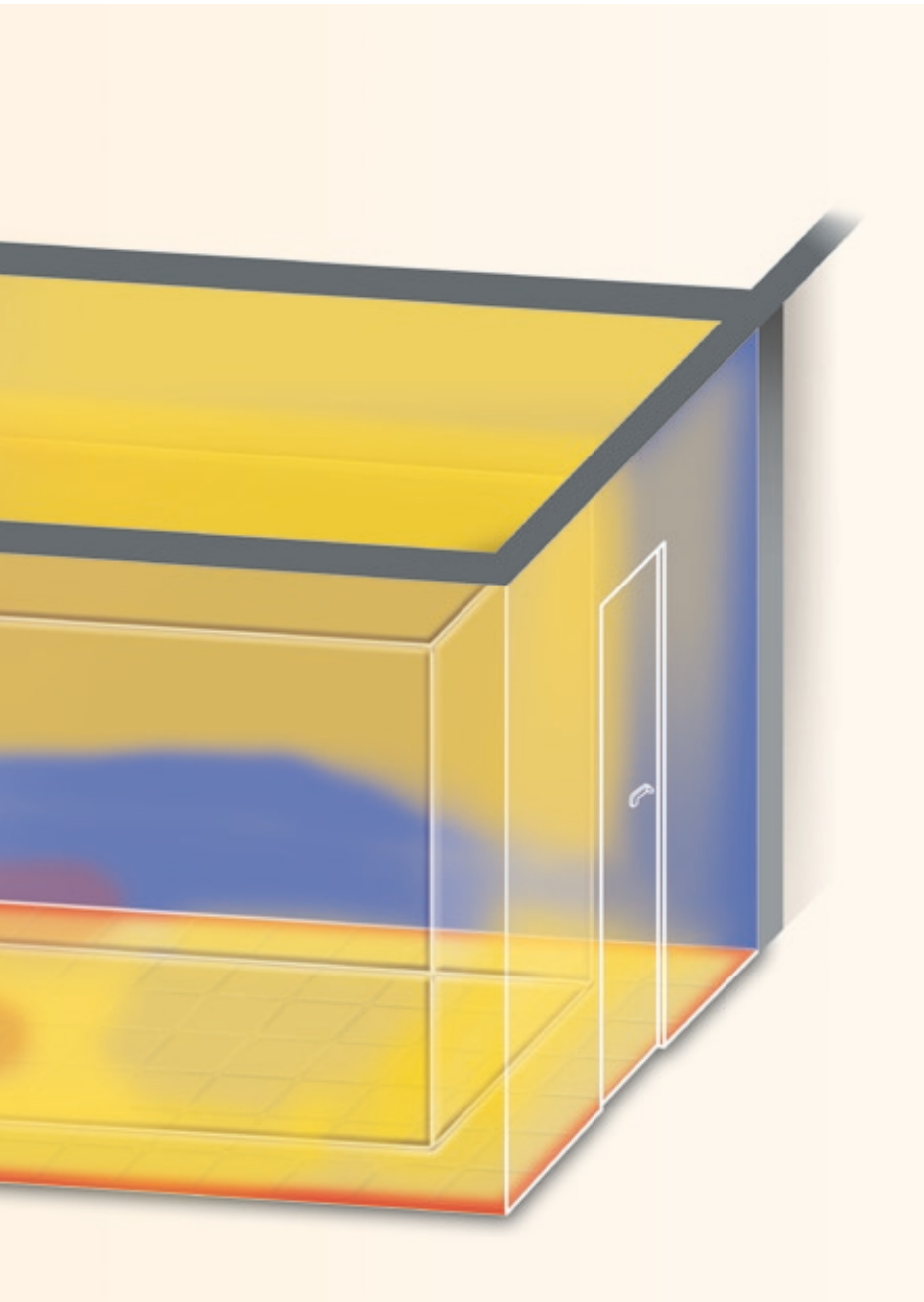


Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

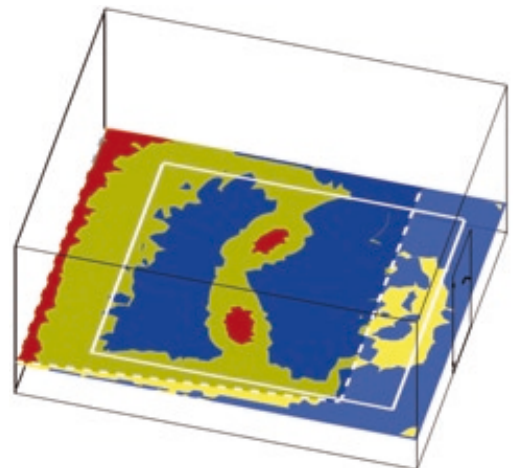


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Im Kopfbereich – insbesondere in Fensternähe – sind Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Eine Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, verringert die solaren Lasten im Raum und verbessert damit die sommerliche thermische Behaglichkeit.
- Kühlverfahren mit direkter Kühlung der besonnten Flächen sind vorteilhaft.

## Bewegliche Außenverschattung, Fensterfläche 100 Prozent.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Verschattung und Fensterflächenanteil wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und eine bewegliche Außenverschattung.

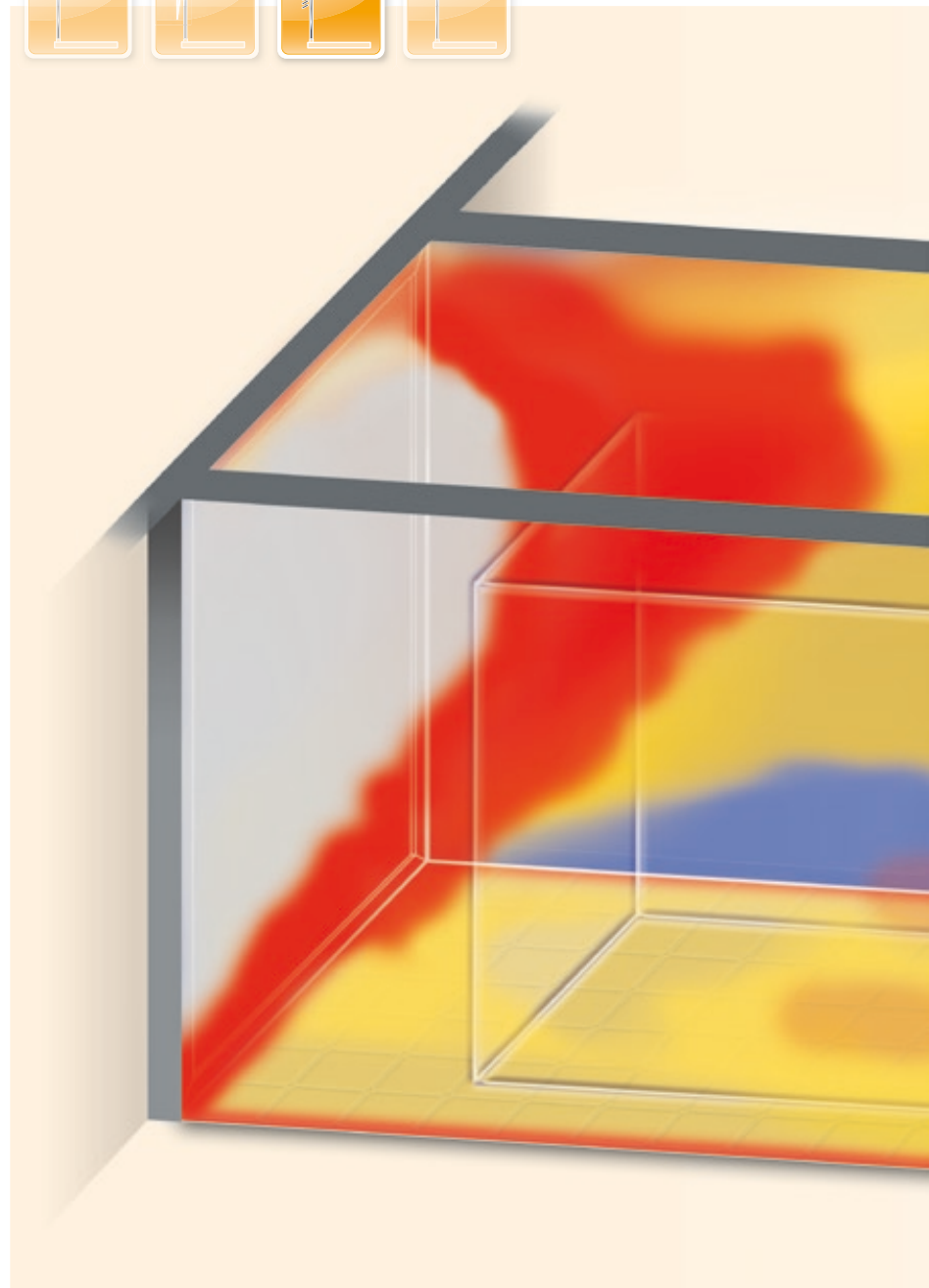
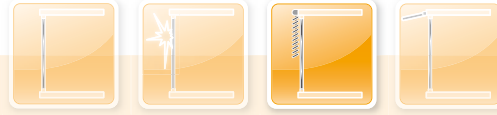
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Durch die bewegliche Außenverschattung kann die Diskomfortzone im Fensterbereich gegenüber dem unverschatteten Fenster mit Standardverglasung deutlich verkleinert werden.

Trotzdem sind auch in der Aufenthaltszone weiträumig Einschränkungen des thermischen Komforts vor allem im Kopfbereich zu verzeichnen. Defizite in der vertikalen Lufttemperaturdifferenz und in der mittleren Klimabewertung PMV sind dafür maßgeblich.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



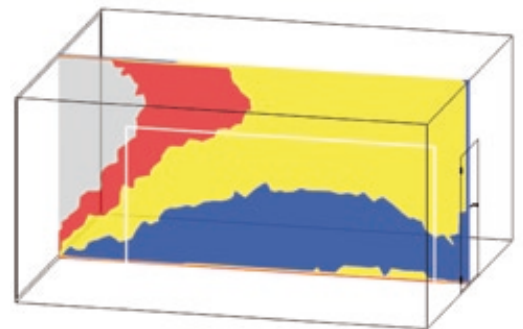
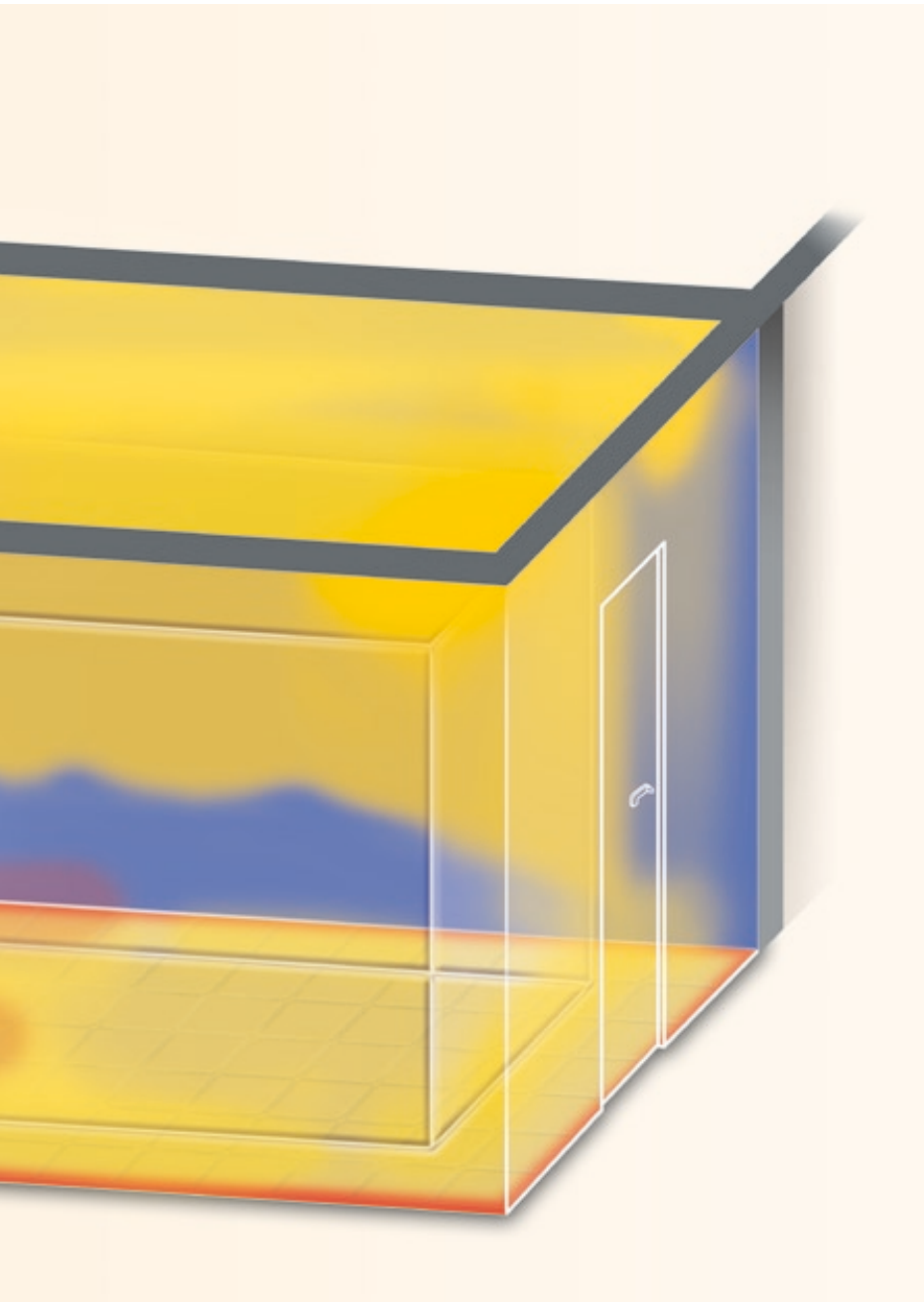
Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemaisigt
D	ohne



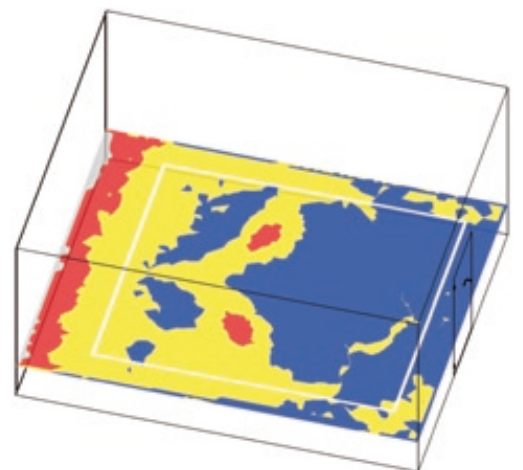
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Im Kopfbereich – insbesondere in Fensternähe – sind Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit zu verzeichnen.





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Eine Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, verringert die solaren Lasten im Raum und verbessert damit die sommerliche thermische Behaglichkeit.
- Es ist empfehlenswert, die bewegliche Außenverschattung in Abhängigkeit von dem Sonnenstand und der Strahlungsintensität automatisch zu regeln.

## Feste Außenverschattung, Fensterfläche 100 Prozent.

### Kühlfußboden.

Der Einfluss von Verschattung und Fensterflächenanteil wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

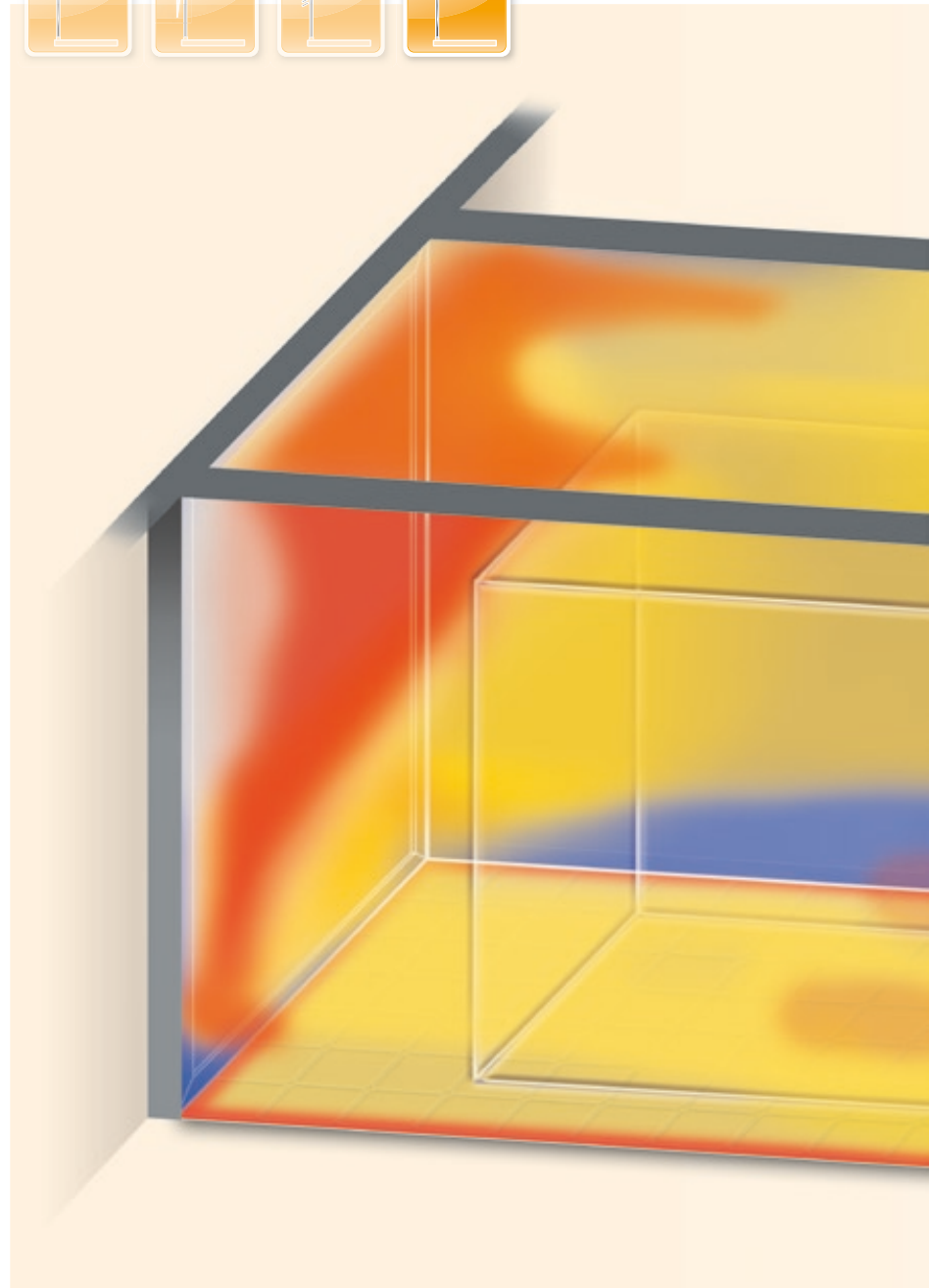
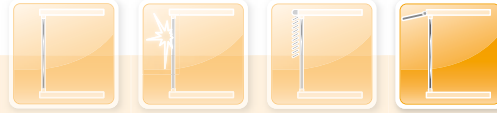
Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Durch die Verschattung kann die Diskomfortzone im Fensterbereich gegenüber dem unverschatteten Fenster mit Standardverglasung deutlich verkleinert werden.

Trotzdem sind auch in der Aufenthaltszone weiträumig Einschränkungen des thermischen Komforts vor allem im Kopf-, aber auch im Fußbereich zu verzeichnen. Defizite in der vertikalen Lufttemperaturdifferenz und in der mittleren Klimabewertung PMV sind dafür maßgeblich.

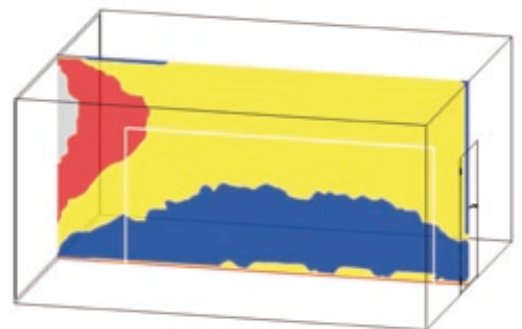
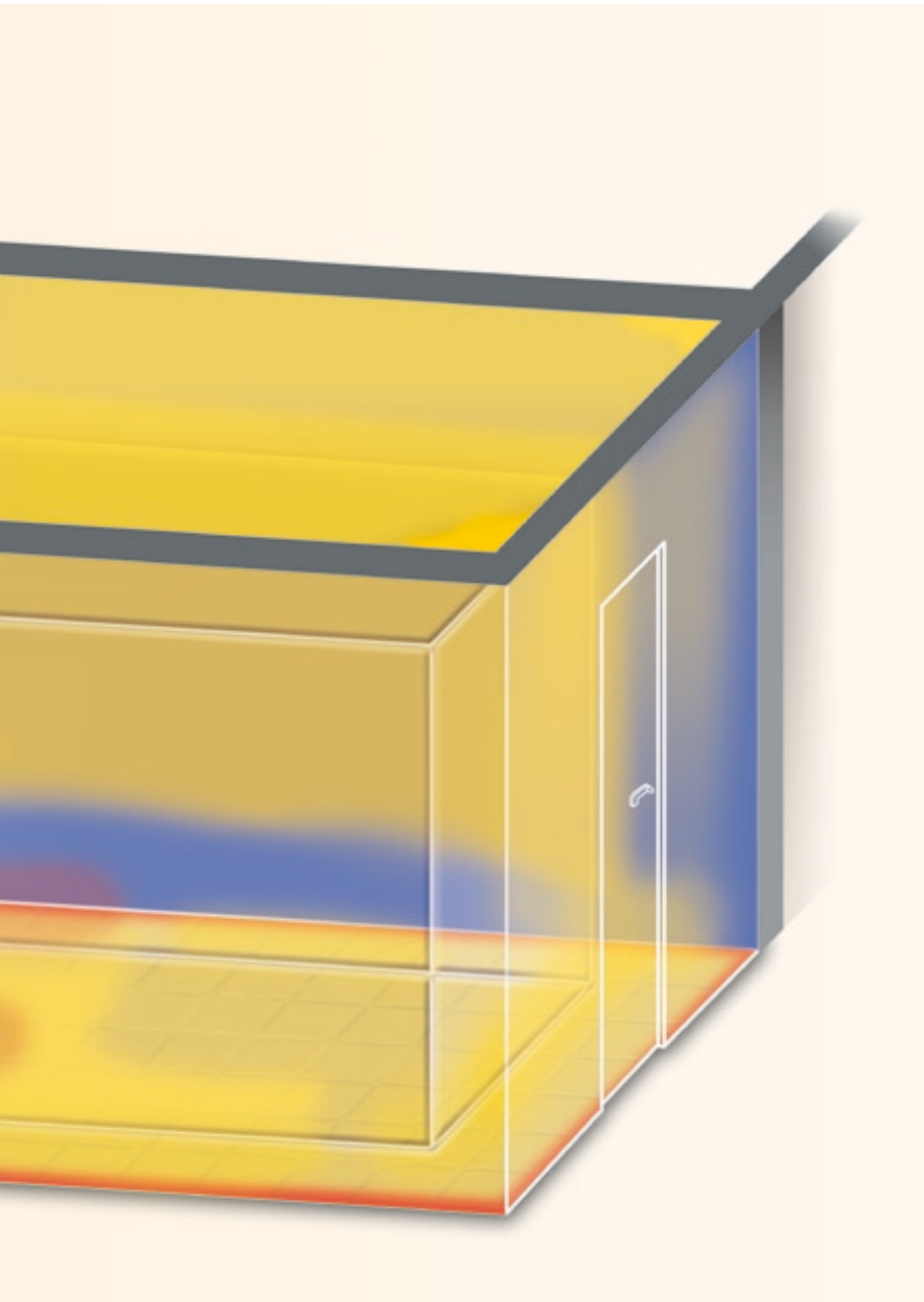
Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
<b>B</b>	<b>mittel</b>
C	gemaisgt
D	ohne

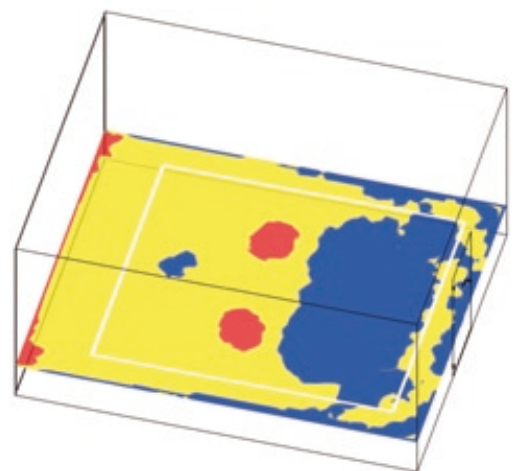


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Sowohl im Kopf- als auch im Fußbereich sind Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Eine Verglasung mit geringen g-Werten, wie zum Beispiel Sonnenschutzverglasung, verringert die solaren Lasten im Raum und verbessert damit die sommerliche thermische Behaglichkeit.

# C Anlagentechnik.

Grundsätzlich kommen für die Raumkühlung verschiedene Prinzipien zum Einsatz:

- Flächenkühlung
- Luftkühlung
- Kühlung und Lüftung

Zur Bewertung der **bauteilintegrierten Flächenkühlung** werden im Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise und mit 30 Prozent Fensterflächenanteil an der Außenwand nachfolgend exemplarisch drei Varianten betrachtet.

**Kühlfußboden:**

- Fußboden komplett gekühlt

**Kühlwand:**

- 1 Innenwand (Längsseite) komplett gekühlt
- Kühlung bauteilintegriert

**Kühldecke:**

- Decke komplett gekühlt
- Kühlung bauteilintegriert (Strahlungskühlung)

Zusätzlich wird der Einfluss der Verschattung durch die Unterscheidung ohne und mit fester Außenverschattung betrachtet. Hinsichtlich der Anordnung von Kühlflächen an Fußboden, Wand oder Decke lassen sich keine großen wärmephysiologischen Unterschiede erkennen.

Während der Kühlfußboden Vorteile beim Zugluftisiko aufweist, ist die Kühldecke günstiger bei der vertikalen Lufttemperaturdifferenz.

**Zugluftisiko**



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

**Vertikale Lufttemperaturdifferenz**

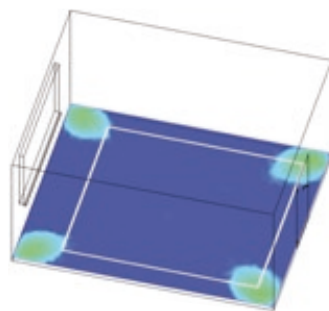


Kritischer Bereich

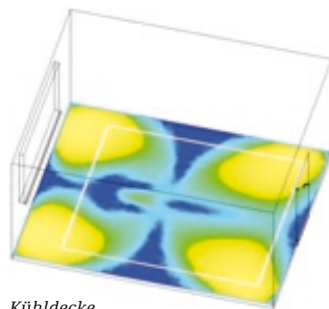


Unkritischer, angenehmer Bereich

**Zugluftisiko**

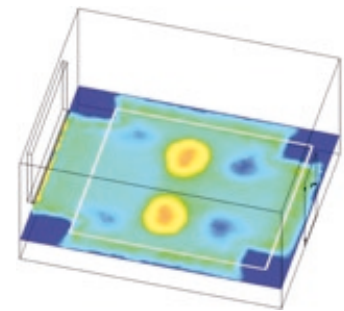


*Kühlfußboden, feste Außenverschattung*

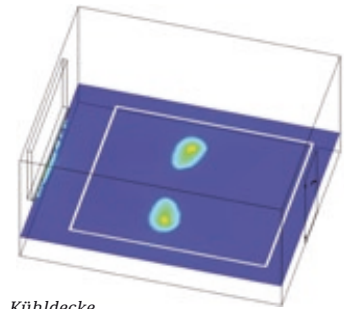


*Kühldecke, feste Außenverschattung*

**Vertikale Lufttemperaturdifferenz**



*Kühlfußboden, feste Außenverschattung*



*Kühldecke, feste Außenverschattung*



Bei einer Betrachtung der summativen Behaglichkeit ergeben sich in der Mehrzahl der Konstellationen tendenziell etwas günstigere Verhältnisse bei der Kühldecke gegenüber dem Kühlfußboden, die Wandkühlung nimmt eine Zwischenstellung ein.

**Freie Kühlflächen** mit höherem Konvektionsanteil (mögliche Ausführung als flächige Kühlelemente, zum Beispiel Kühlsegel, oder als Lamellenkühlelemente, beispielsweise Kühlbalken) weisen tendenziell ein größeres Zugluftrisiko bei höherer thermischer Belastbarkeit gegenüber Strahlungskühldecken (wie zum Beispiel bauteilintegrierten Systemen) auf.

Die **Luftkühlung** wird im Niedrigenergiehaus (schwere Bauweise, 30 Prozent Fensterflächenanteil) für folgende ausgewählte Varianten betrachtet:

#### Quelllüftung:

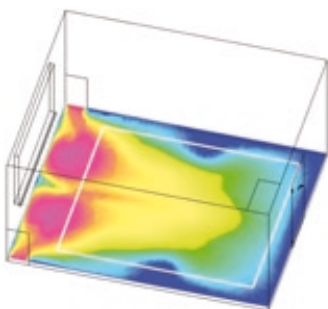
- 2 Zuluftauslässe unten an beiden Außenwandecken (freier Querschnitt 0,5 x 1,0 m)
- 1 Abluftauslass gegenüber der Außenwand in der Innenwandecke an der Decke
- Luftwechsel 6,0 h<sup>-1</sup>

#### Mischlüftung mit Drallluftauslässen:

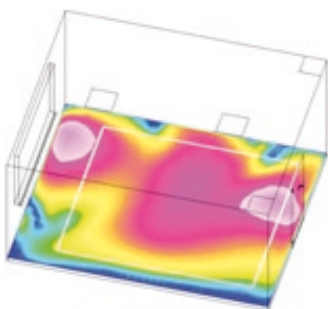
- 2 Drallluftauslässe zentral an der Decke (Durchmesser 0,5 m)
- 2 Abluftauslässe gegenüber der Außenwand in den Innenwandecken an der Decke
- Luftwechsel 6,0 h<sup>-1</sup>

Insbesondere bei den Luftkühl-systemen gibt es zahlreiche technische bzw. konstruktive Lösungen. Auswahl, Auslegung und Anordnung der Systemkomponenten spielen eine wichtige Rolle für die wärme-physiologischen Verhältnisse, systembedingte Unterschiede können dadurch oft relativiert werden.

#### Zugluftrisiko

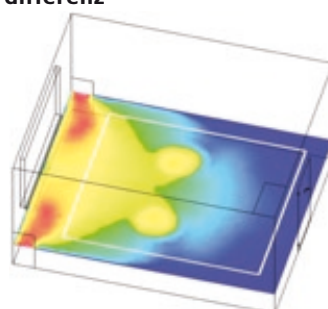


Quelllüftung, feste Außenversattung

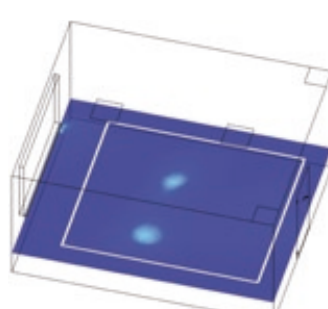


Mischlüftung, feste Außenversattung

#### Vertikale Lufttemperaturdifferenz



Quelllüftung, feste Außenversattung



Mischlüftung, feste Außenversattung

#### Zugluftrisiko



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

#### Vertikale Lufttemperaturdifferenz



Kritischer Bereich



Unkritischer, angenehmer Bereich

**Kühldecke und Quelllüftung:**

- Konstruktions- und Auslegungsdetails siehe vorherige Seiten
- Flächenkühlung und Luftkühlung
- Luftwechsel  $6,0 \text{ h}^{-1}$

**Kühlfußboden und Abluftanlage:**

- Konstruktions- und Auslegungsdetails siehe vorherige Seiten
- Luftzuführung über optimierten Fensterbank-Außenluftdurchlass
- Luftabströmung über unteren Türspalt der Innentür
- Flächenkühlung und Lüftung ohne Kühlfunktion mit Luftwechsel  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$

**Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage:**

- Konstruktions- und Auslegungsdetails siehe vorherige Seiten
- Luftzuführung über Tellerventil über Innentür
- Luftabströmung über unteren Türspalt der Innentür
- Flächenkühlung und Lüftung ohne Kühlfunktion mit Luftwechsel  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$

Kombinationen aus **Kühlung und Lüftung** werden im Niedrigenergiehaus (schwere Bauweise, 30 Prozent Fensterflächenanteil) für links stehende Varianten betrachtet.

In der Variante „Kühldecke und Quelllüftung“ werden Kühlverfahren kombiniert, man spricht deshalb auch von kombinierter Kühlung. Die Vorteile beider Systeme werden genutzt, für die Quelllüftung kann ein größerer Einsatzbereich erreicht werden. Die thermische Behaglichkeit wird durch die Luftkühlverfahren geprägt.

Die Varianten „Kühlfußboden und Abluftanlage“ sowie „Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage“ kombinieren ein Flächenkühlverfahren mit einer ventilatorgestützten Lüftung ohne aktive Kühlfunktion. Damit wird der hygienisch erforderliche Luftwechsel gewährleistet. In Abhängigkeit von der technischen Ausstattung (zum Beispiel Nachtlüftung, Erdreich-Wärmeübertrager, Abluft-Zuluft-Wärmepumpe mit Kühlfunktion) können mit der Lüftungsanlage zusätzliche Kühlpotenziale genutzt werden.

**Zugluftrisiko**

Kritischer Bereich



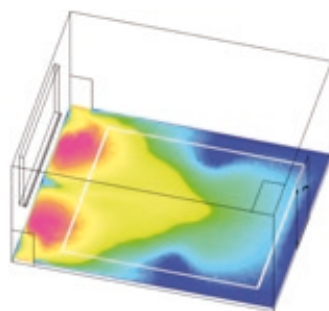
Unkritischer, angenehmer Bereich

**Vertikale Lufttemperaturdifferenz**

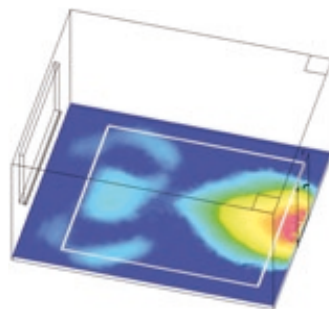
Kritischer Bereich



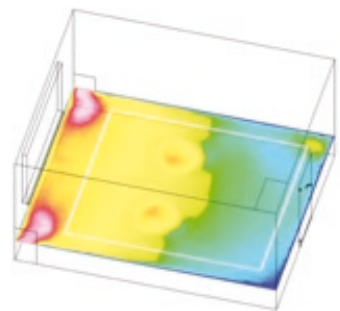
Unkritischer, angenehmer Bereich

**Zugluftrisiko**

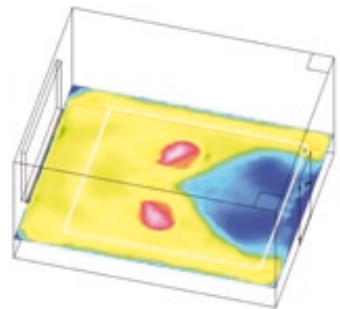
*Kühldecke und Quelllüftung,  
feste Außenverschattung*



*Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage,  
feste Außenverschattung*

**Vertikale Lufttemperaturdifferenz**

*Kühldecke und Quelllüftung,  
feste Außenverschattung*



*Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage,  
feste Außenverschattung*

Grundsätzlich sorgen Flächen- gegenüber Luftkühlssystemen für eindeutig günstigere wärmephysiologische Verhältnisse, da die Kombination eines hohen Luftwechsels mit niedrigen Lufttemperaturen zu Behaglichkeitseinbußen führt. Dabei sind die schon erwähnten system- und konstruktionsbedingten Unterschiede zu beachten.

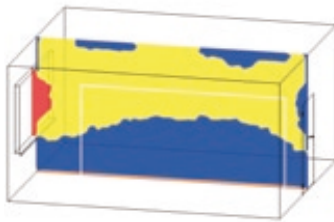
Typische Kühlvarianten werden für das Niedrigenergiehaus (schwere Bauweise, 30 Prozent Fensterflächenanteil, feste Außenverschattung) anhand der summativen thermischen Behaglichkeit verglichen.

Für die Planung von Kühlsystemen können folgende allgemeingültige Hinweise aus Sicht der thermischen Behaglichkeit gegeben werden:

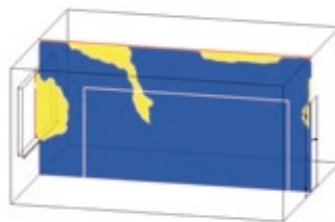
- Sinnvolle Verknüpfung von bau- und anlagentechnischen Lösungen
- Minimierung der solaren Kühllasten durch optimale Verschattung bzw. Verglasung mit geringen g-Werten und begrenztem Fensterflächenanteil
- Flächenkühlung mit Vorteilen gegenüber Luftkühlssystemen
- Kombination Flächenkühlung und Lüftung gewährleistet den hygienisch erforderlichen Luftwechsel

Beim **Systemvergleich** ist zu berücksichtigen, dass nur Luftkühl-systeme und kombinierte Systeme mit der hygienisch erforderlichen Lüftung verbunden sind und immer auch funktionelle Bewertungskriterien (zum Beispiel Platzangebot und Raumnutzung) zu beachten sind.

#### Flächenkühlung

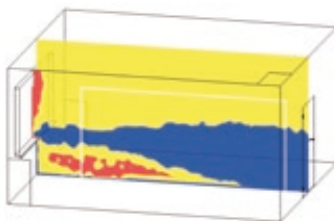


*Kühlfußboden*

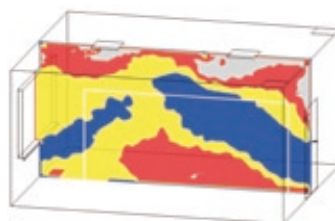


*Kühldecke*

#### Luftkühlung

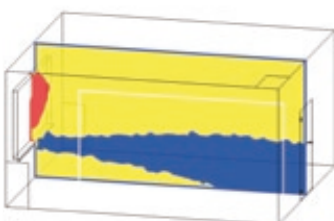


*Quelllüftung*

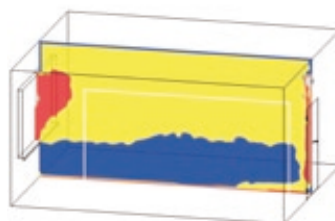


*Mischlüftung mit Drallluftauslässen*

#### Kühlung und Lüftung



*Kühldecke*



*Kühlfußboden*

## Flächenkühlung: Kühlfußboden.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, ohne Verschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

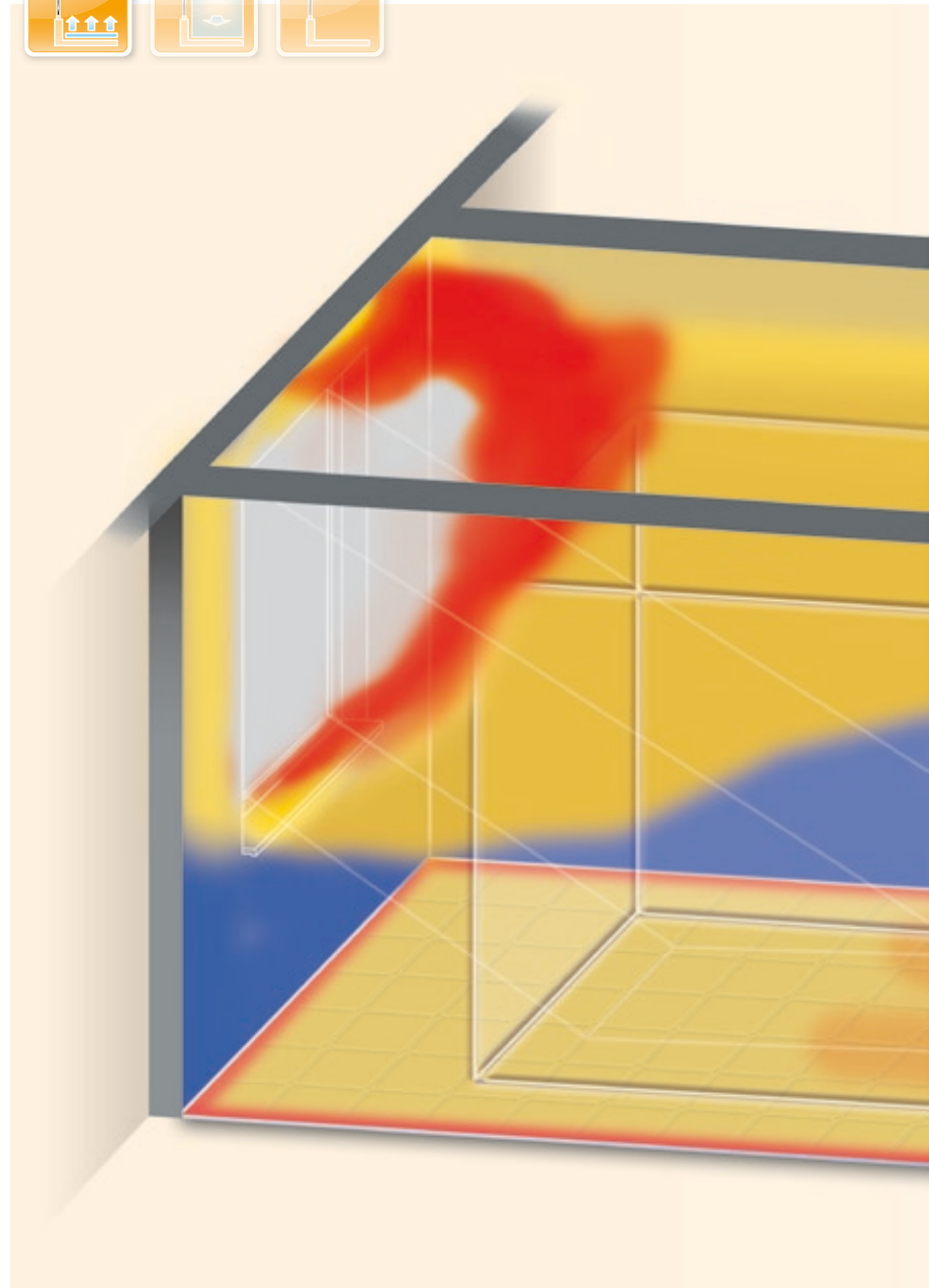
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und keine Verschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Ausgehend von einer ausgeprägten Diskomfortzone im unmittelbaren Bereich des unverschatteten Fensters sind auch in der Aufenthaltszone weiträumig Einschränkungen des thermischen Komforts sowohl im Fuß- als auch im Kopfbereich zu verzeichnen. Ursächlich sind Defizite in lokalen (Strahlungsasymmetrie, vertikale Lufttemperaturdifferenz, teilweise auch Zugluftrisiko) und globalen (PMV) Kriterien.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

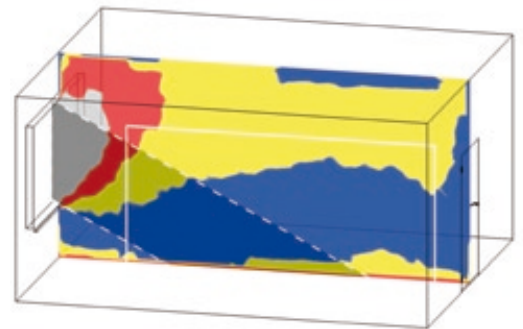
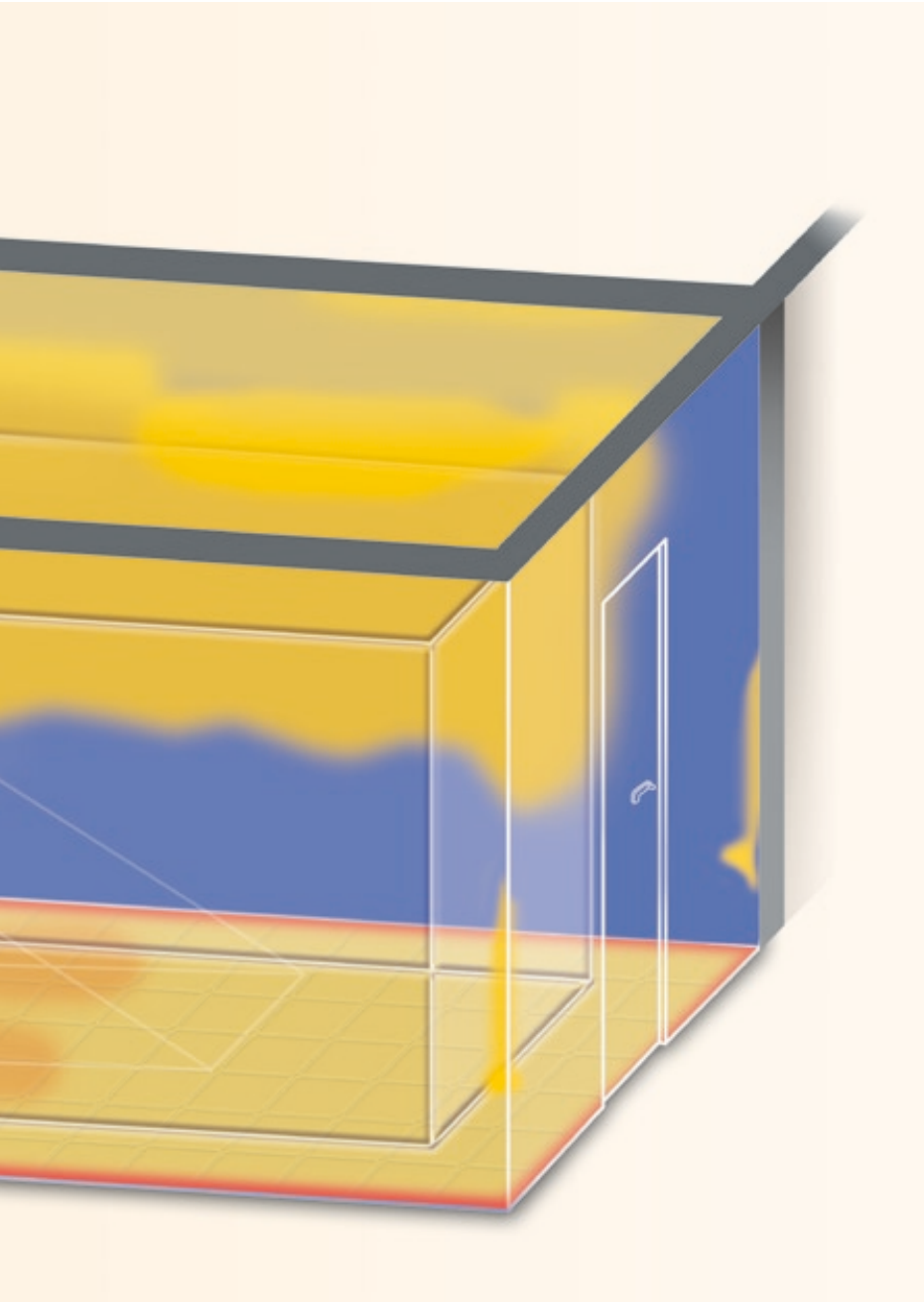


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemaisgt
D	ohne

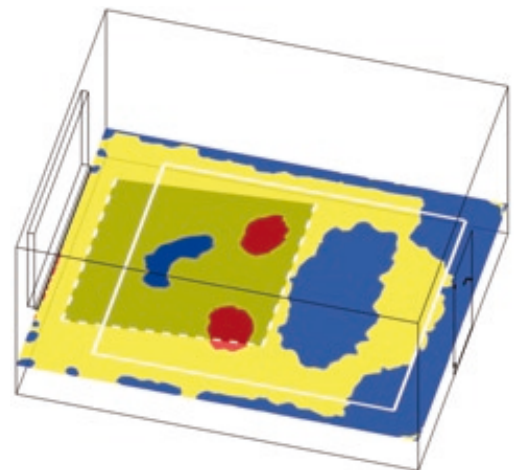


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Sowohl im Kopf- als auch im Fußbereich sind Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine fehlende Verschattung führt unabhängig von der Fenstergröße zu Einschränkungen des sommerlichen Raumkomforts.
- Kühlverfahren mit direkter Kühlung der besonnten Flächen sind vorteilhaft.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).



# Flächenkühlung: Kühlwand.

## Fensterflächenanteil 30 Prozent, ohne Verschattung.

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlwand (an der hinteren Längsseite) untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und keine Verschattung.

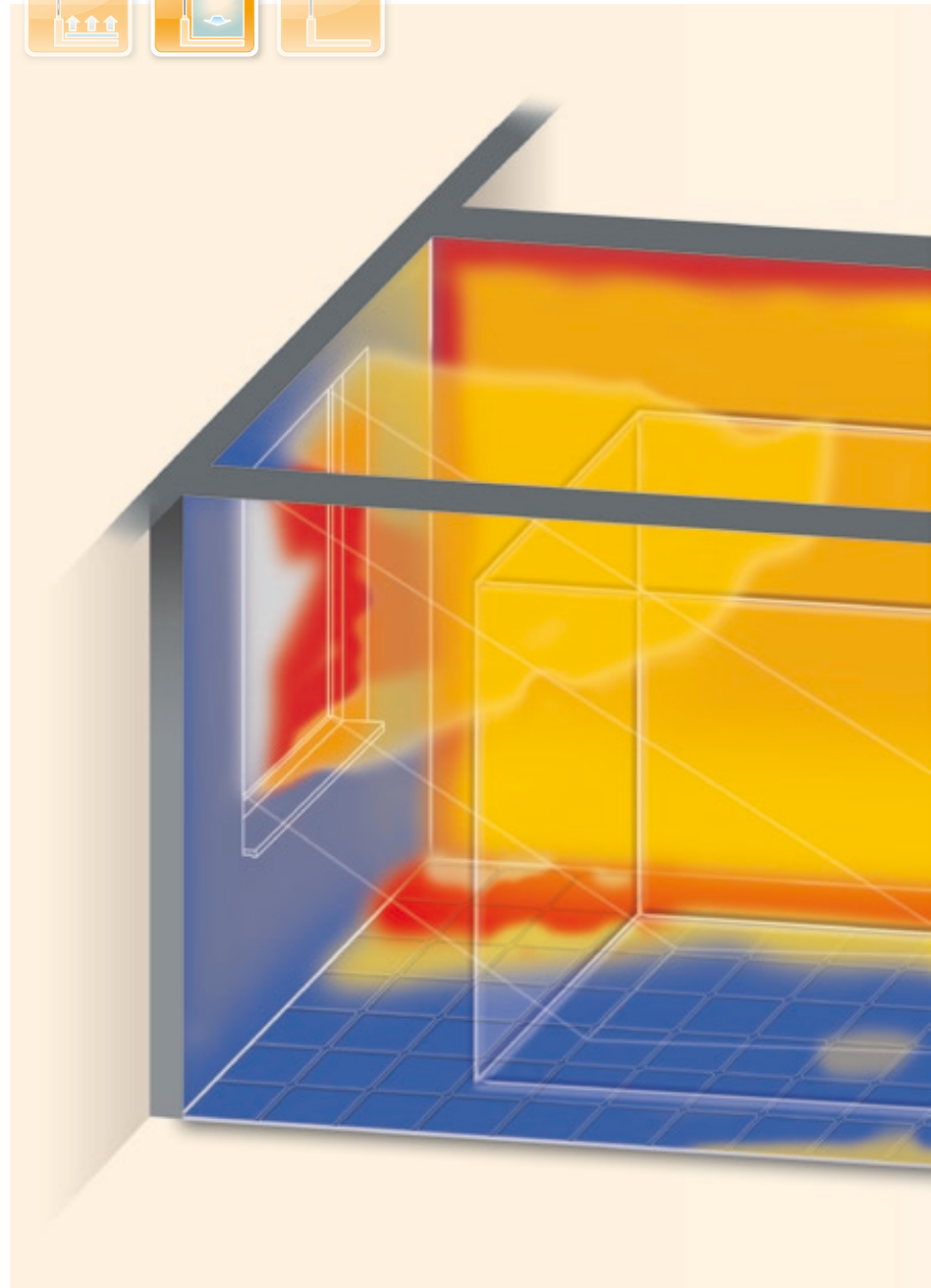
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Zonen eingeschränkter thermischer Komforts bestehen im unmittelbaren Bereich des unverschatteten Fensters und in der Nähe der gekühlten Innenwand. Im Aufenthaltsbereich kommt es nur zu verhältnismäßig geringen Einschränkungen.

Ursächlich sind Defizite hinsichtlich der Strahlungsasymmetrie und des Zugluft-risikos.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

A

hoch

B

mittel

C

gemäßigt

D

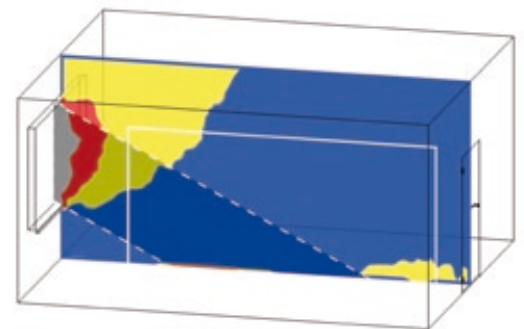
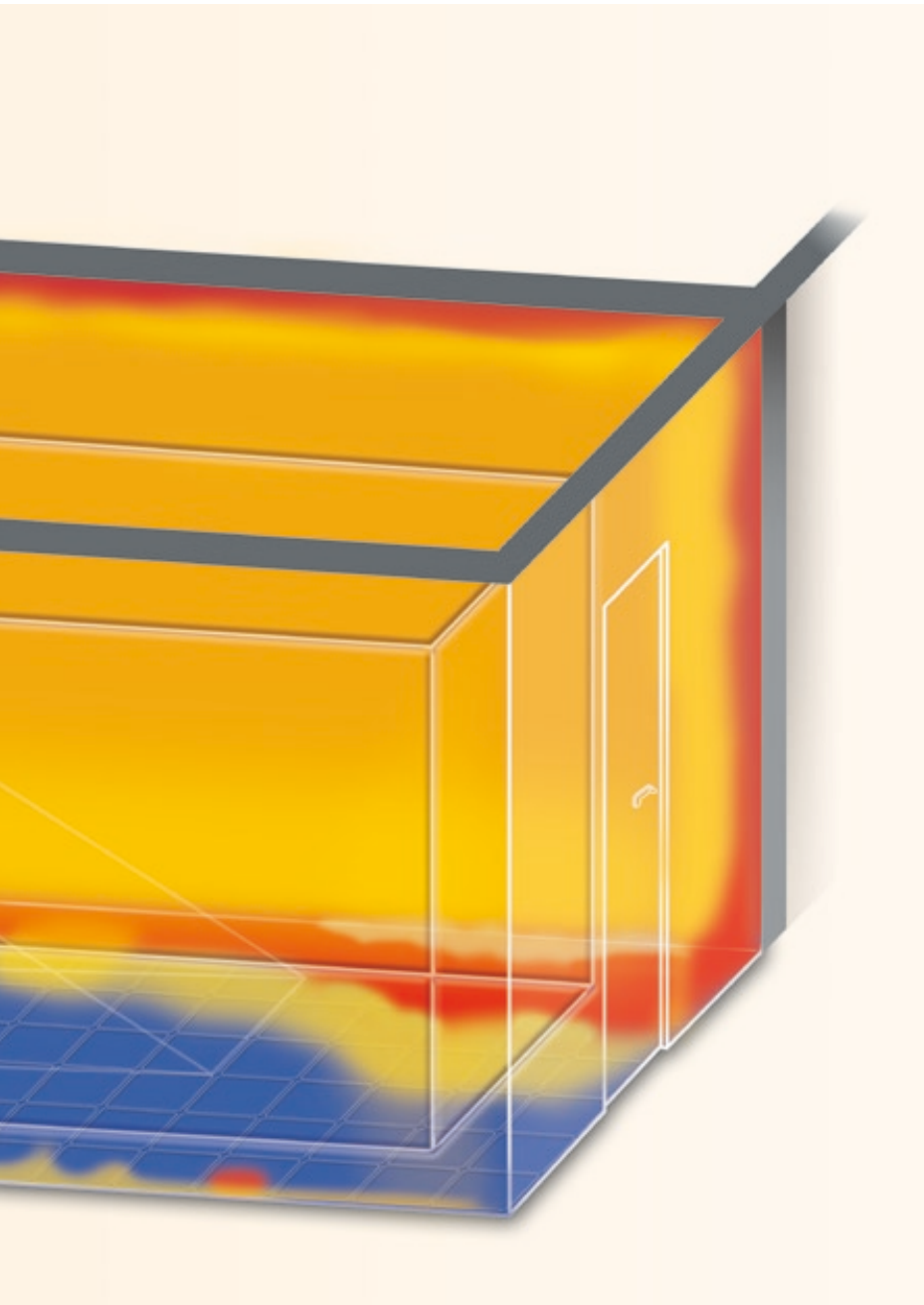
ohne



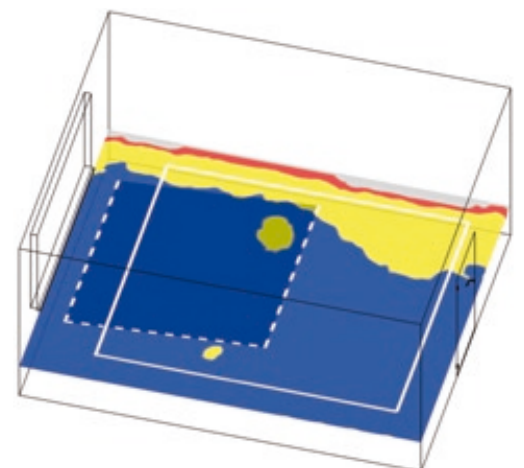
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Einstrahlungsbereich des unverschatteten Fensters und in der Nähe der gekühlten Wand sind geringe Defizite zu verzeichnen, hier wird die Kategorie B erreicht.





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine fehlende Verschattung führt unabhängig von der Fenstergröße zu Einschränkungen des sommerlichen Raumkomforts.
- Kühlverfahren mit direkter Kühlung der besonnten Flächen sind vorteilhaft.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

# Flächenkühlung: Kühldecke.

## Fensterflächenanteil 30 Prozent, ohne Verschattung.

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit bauteilintegrierter Kühldecke untersucht.

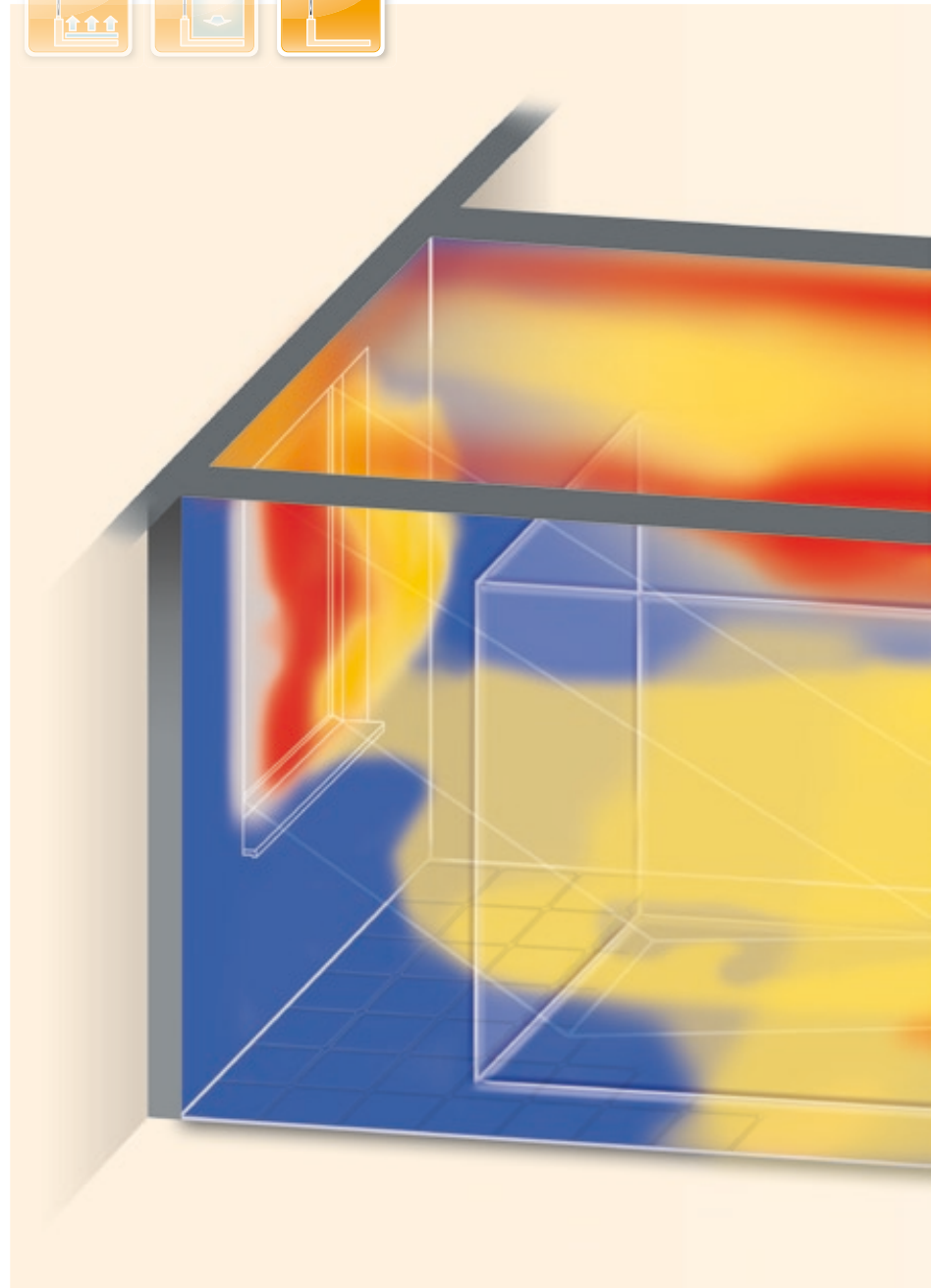
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und keine Verschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung andeutungsweise zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Eine Einschränkung des thermischen Komforts ist in weiten Bereichen der Aufenthaltszone zu beobachten. Defizite existieren bei der Strahlungsasymmetrie, beim Zugluftrisiko und global bei der PMV-Bewertung.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

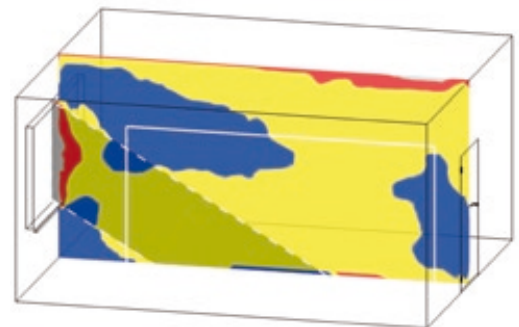
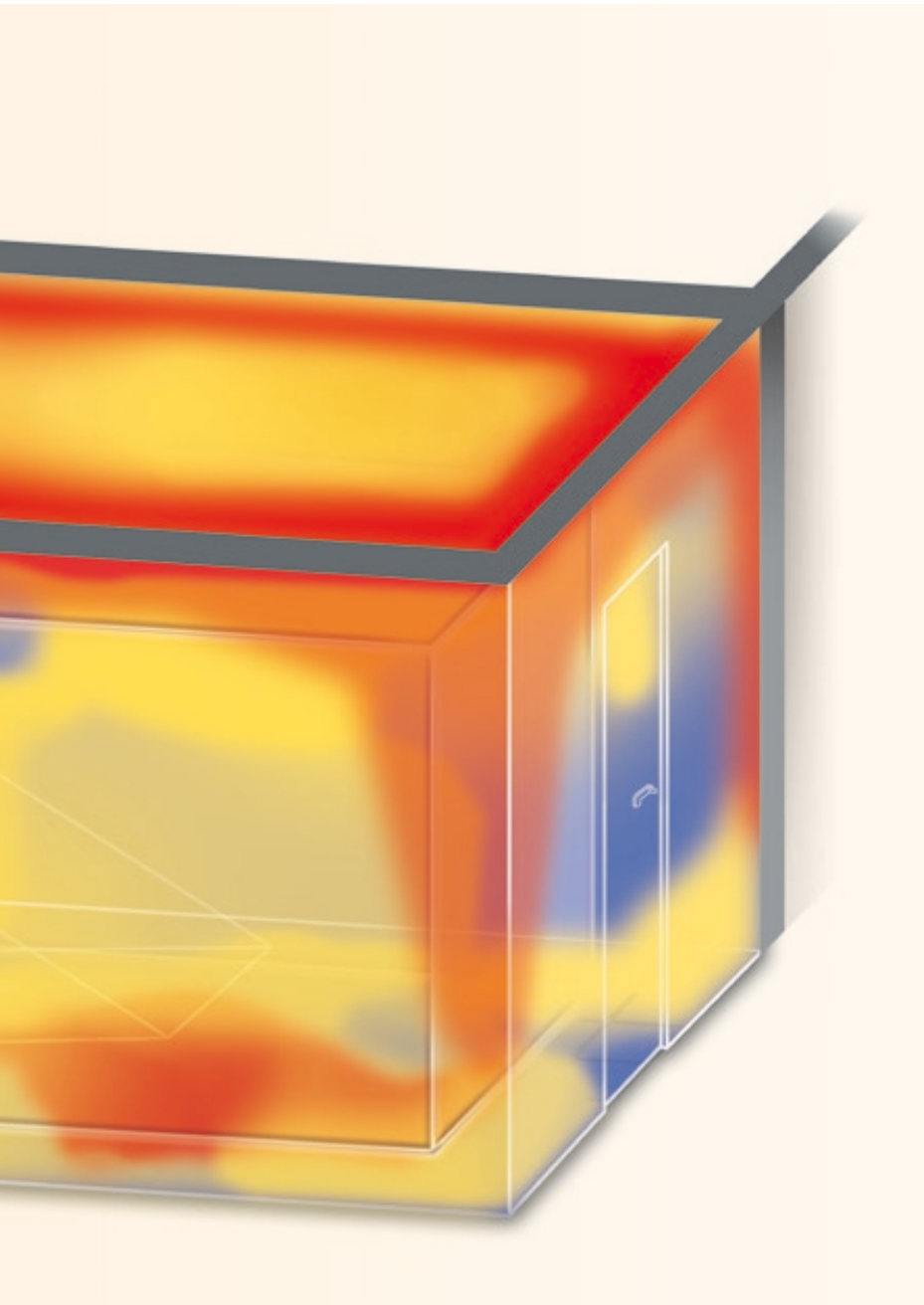


Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

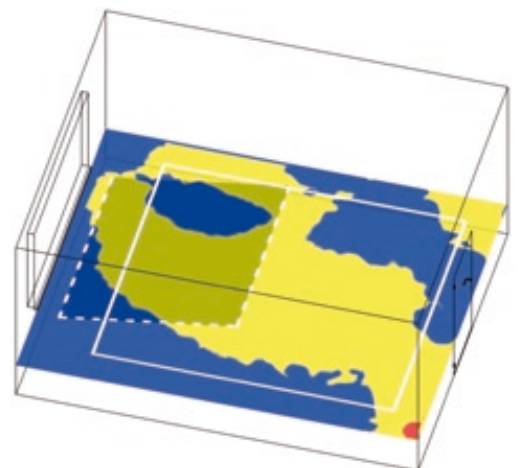


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Teilweise Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit sind unlokalisiert im gesamten Raum zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine fehlende Verschattung führt unabhängig von der Fenstergröße zu Einschränkungen des sommerlichen Raumkomforts.
- Kühlverfahren mit direkter Kühlung der besonnten Flächen sind vorteilhaft.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

## Flächenkühlung: Kühlfußboden.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

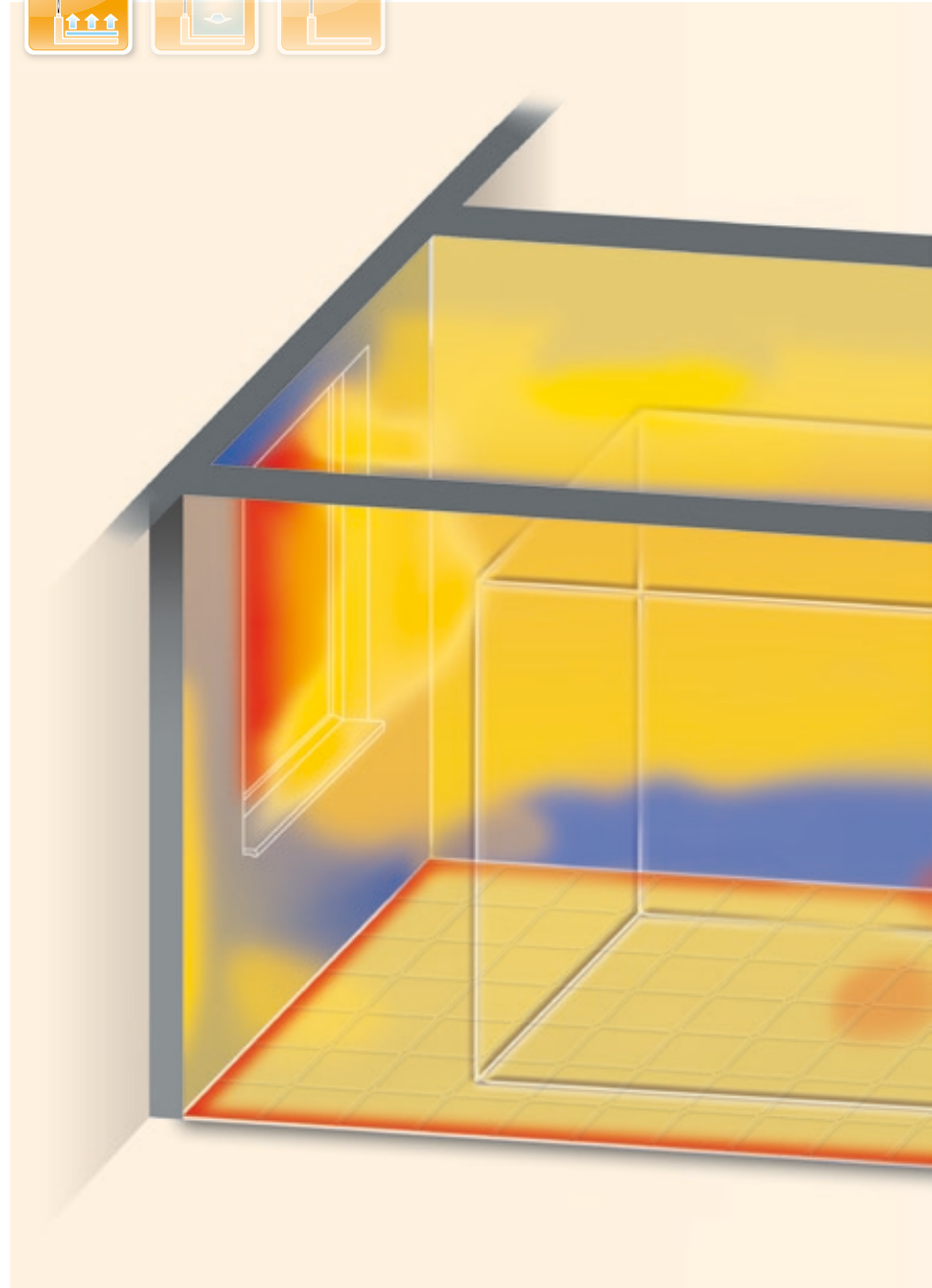
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Durch die Verschattung werden insbesondere die maximale Strahlungsasymmetrie und die vertikale Lufttemperaturdifferenz verringert und die summative Behaglichkeit wird damit gegenüber einem unverschatteten Raum spürbar verbessert. Komforteinschränkungen existieren auch mit Außenverschattung im Kopfbereich.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

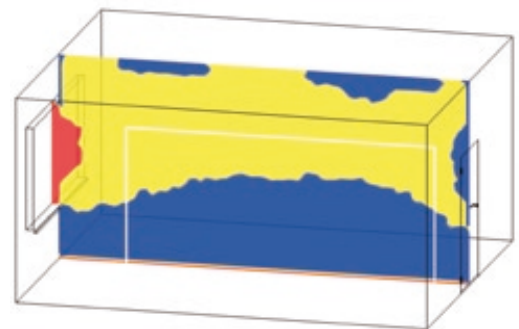
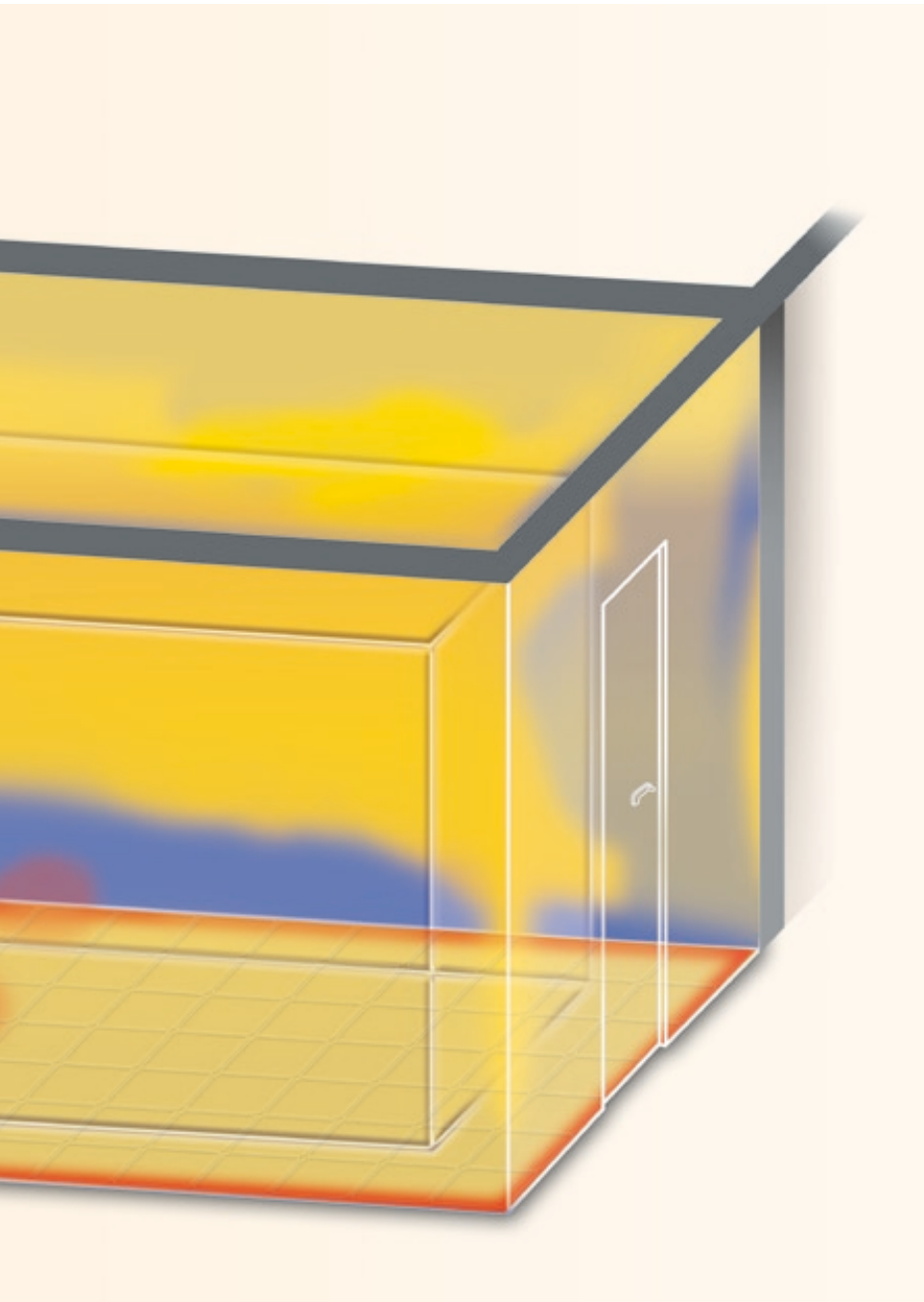


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

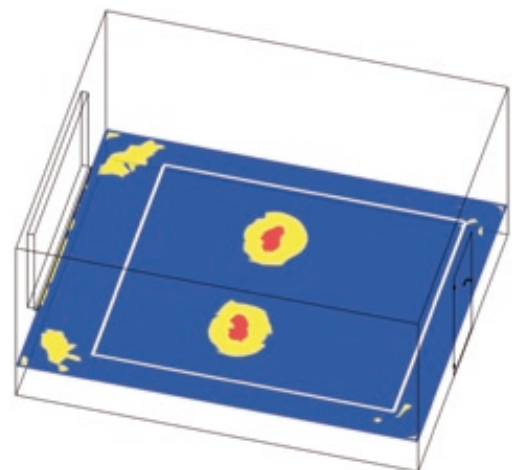


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Kopfbereich ergeben sich Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).



## Flächenkühlung: Kühlwand.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlwand (an der hinteren Längsseite) untersucht.

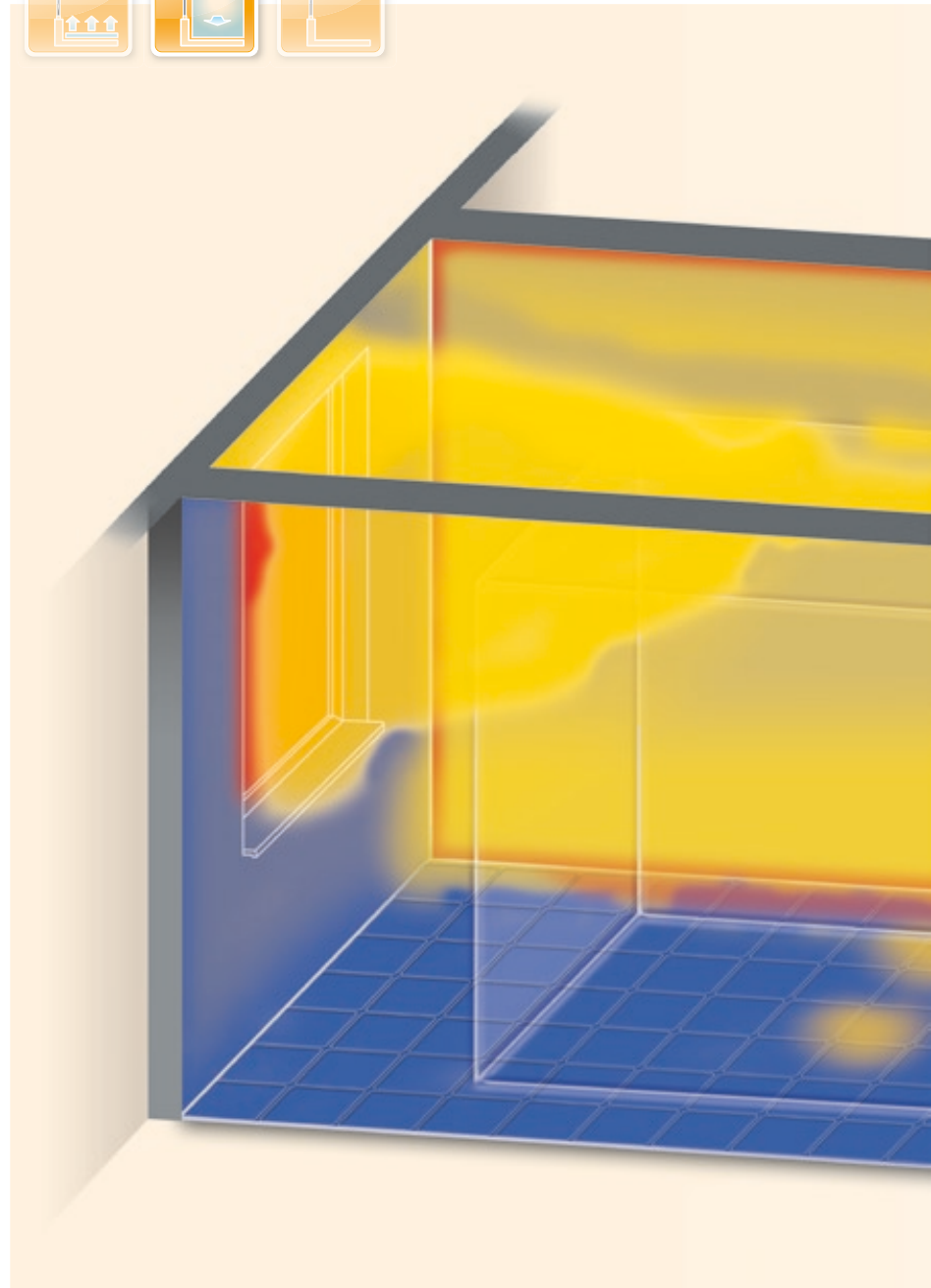
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Zonen eingeschränkten thermischen Komforts bestehen lediglich im Deckenbereich sowie im oberen Bereich der Aufenthaltszone in Außenwandnähe. Diese geringfügigen Einschränkungen resultieren aus der globalen Klimabewertung PMV.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

A

hoch

B

mittel

C

gemäßigt

D

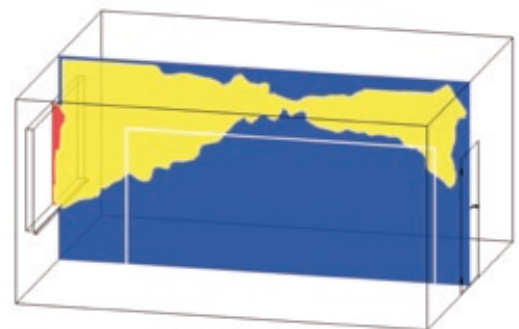
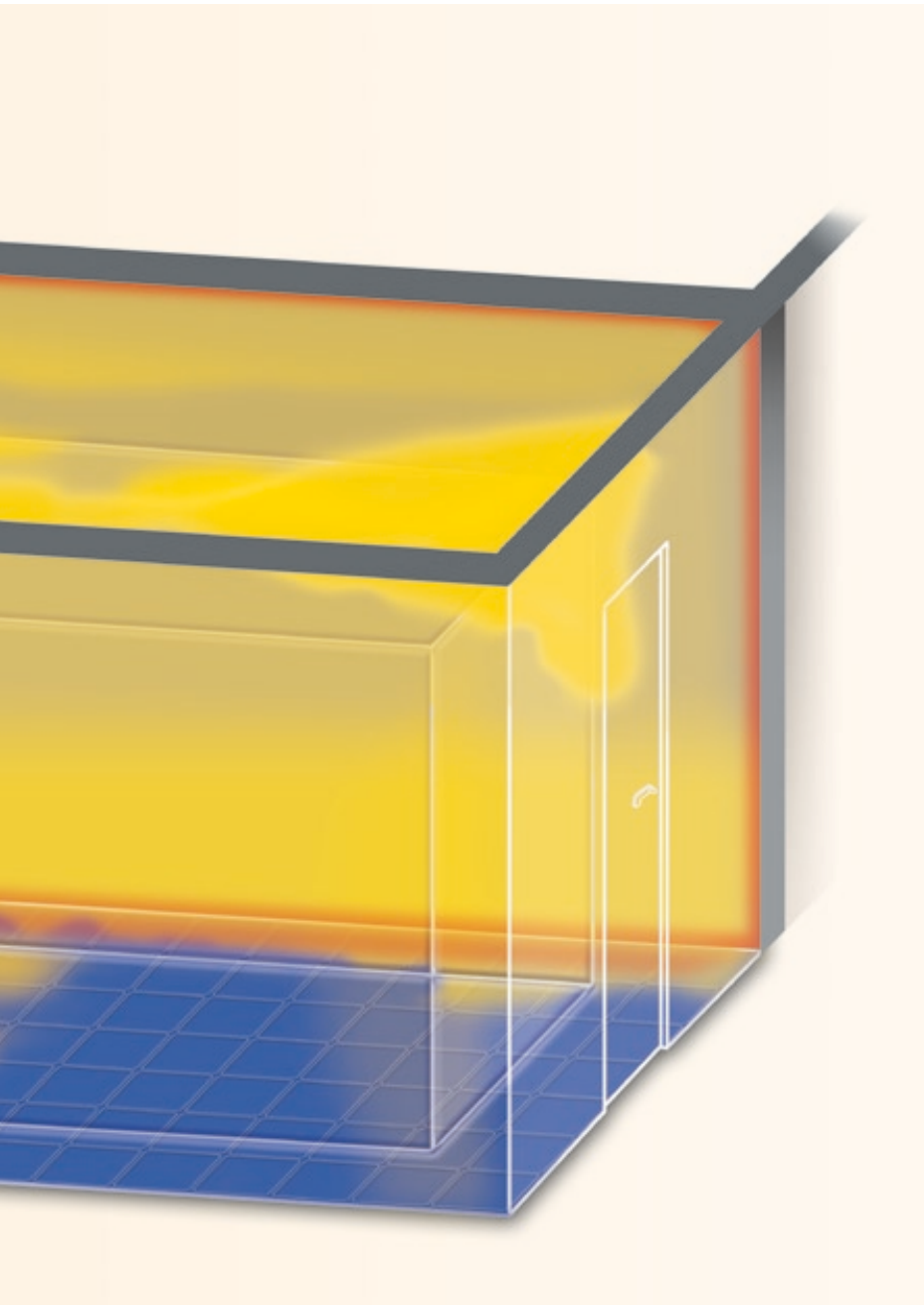
ohne



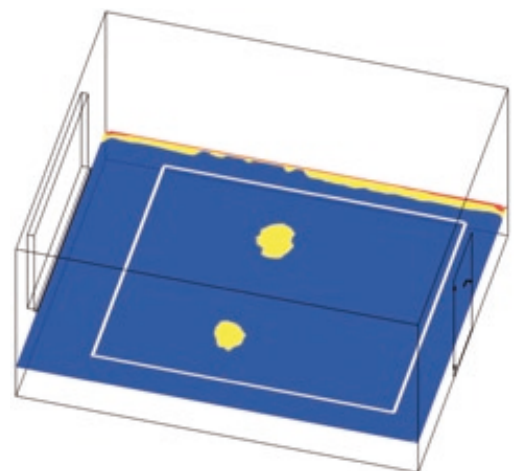
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A fast durchgängig erreicht werden.

Nur im Kopfbereich in der Nähe der Außenwand ergeben sich geringe Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

## Flächenkühlung: Kühldecke.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit bauteilintegrierter Kühldecke untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

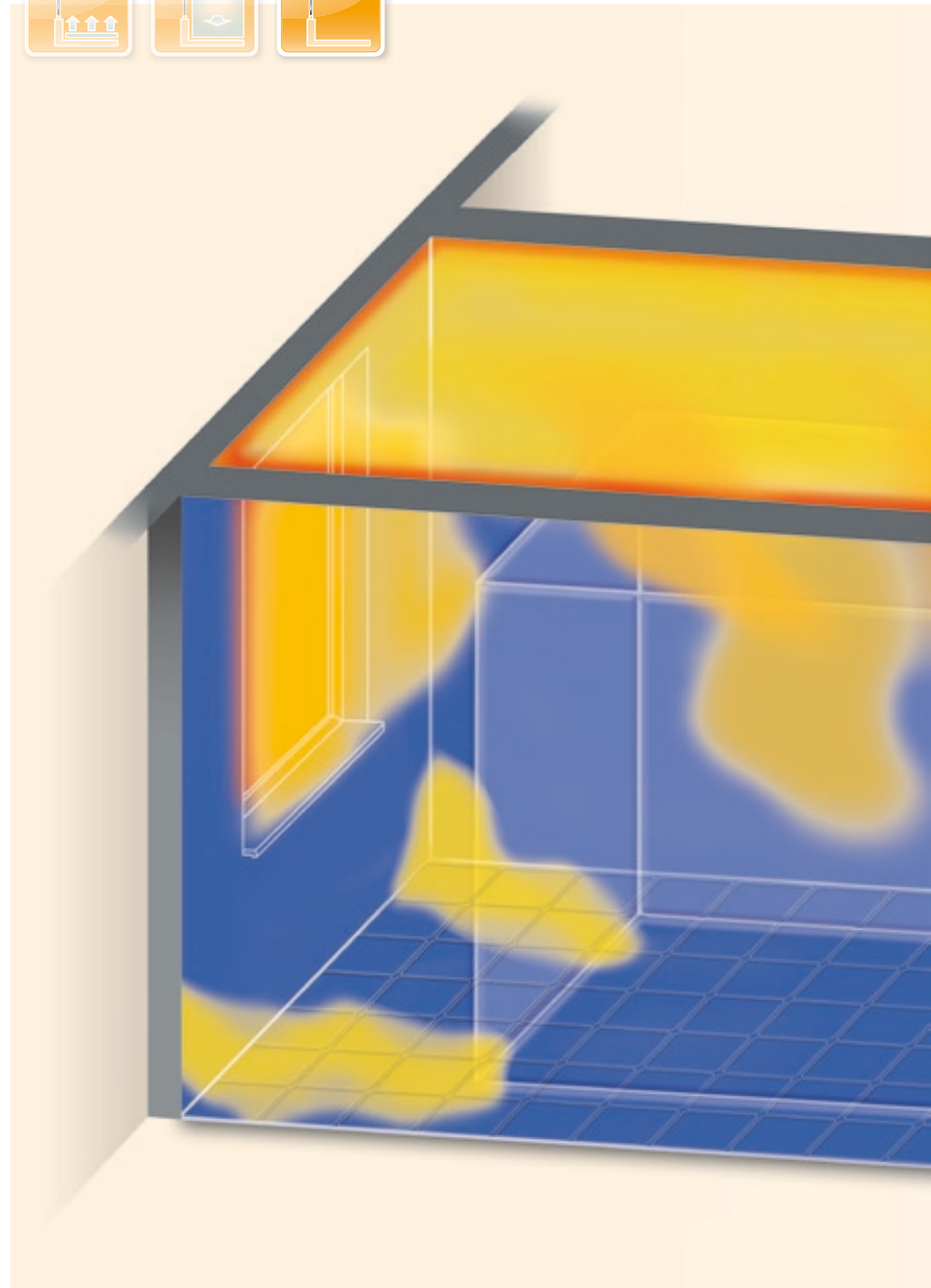
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung andeutungsweise zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Eine Einschränkung des thermischen Komforts besteht lediglich lokal im Kopfbereich, im Aufenthaltsbereich werden weitgehend höchste Komfortansprüche befriedigt.

Die punktuellen Defizite resultieren aus dem Zugluftrisiko.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

A

hoch

B

mittel

C

gemäßigt

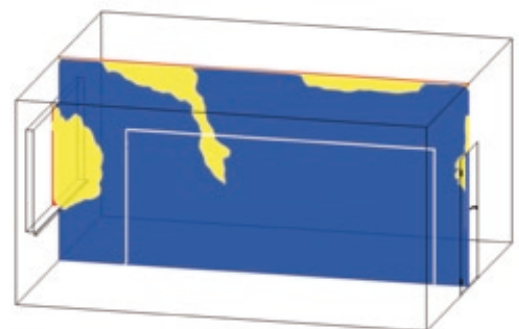
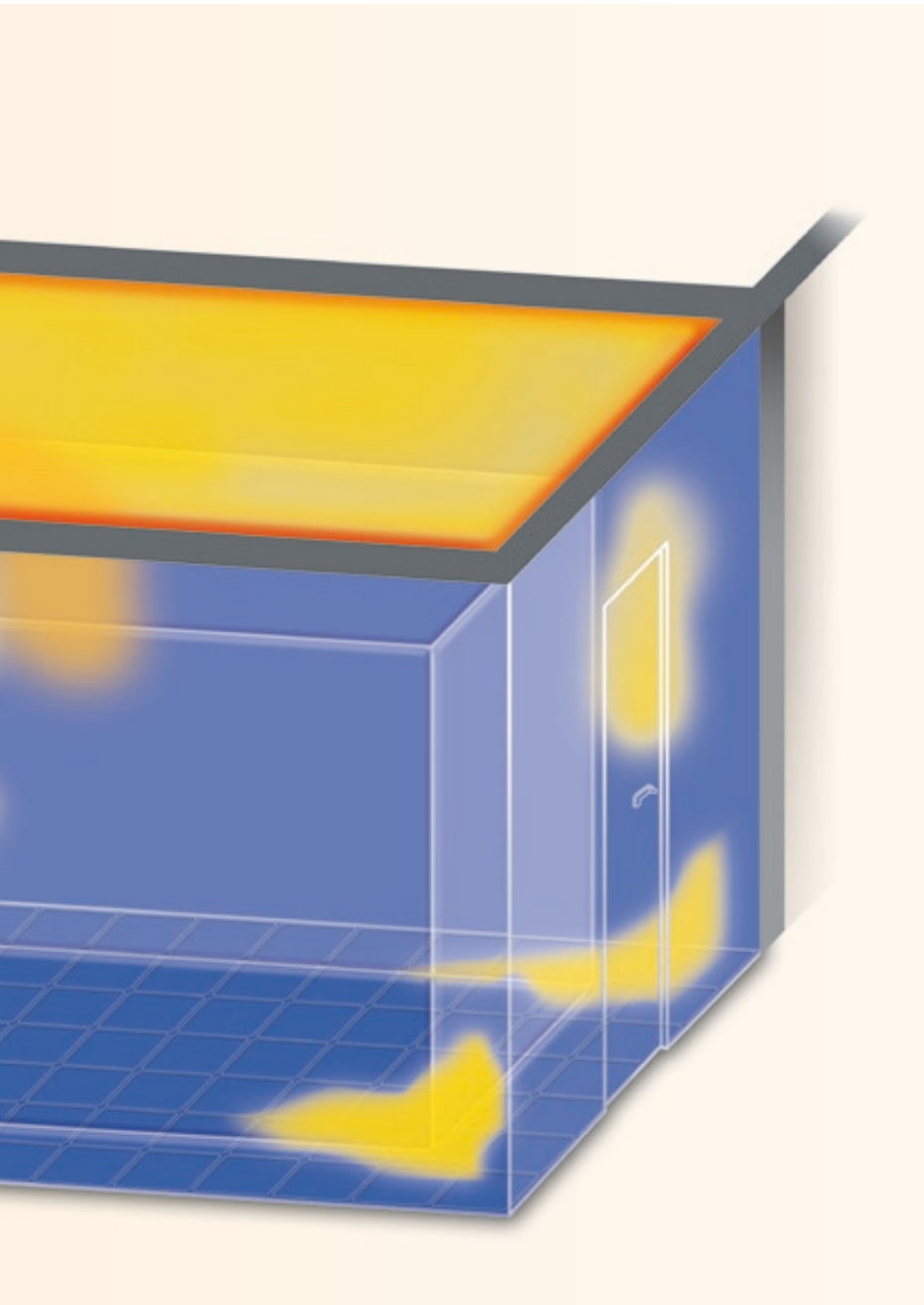
D

ohne

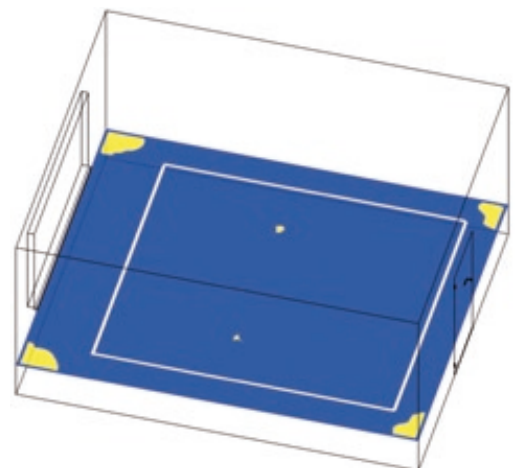


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A fast durchgängig erreicht werden.

Nur im Kopfbereich ergeben sich lokal minimale Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

# Flächenkühlung: Kühlfußboden.

**Fensterflächenanteil 100 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und eine feste Außenverschattung.

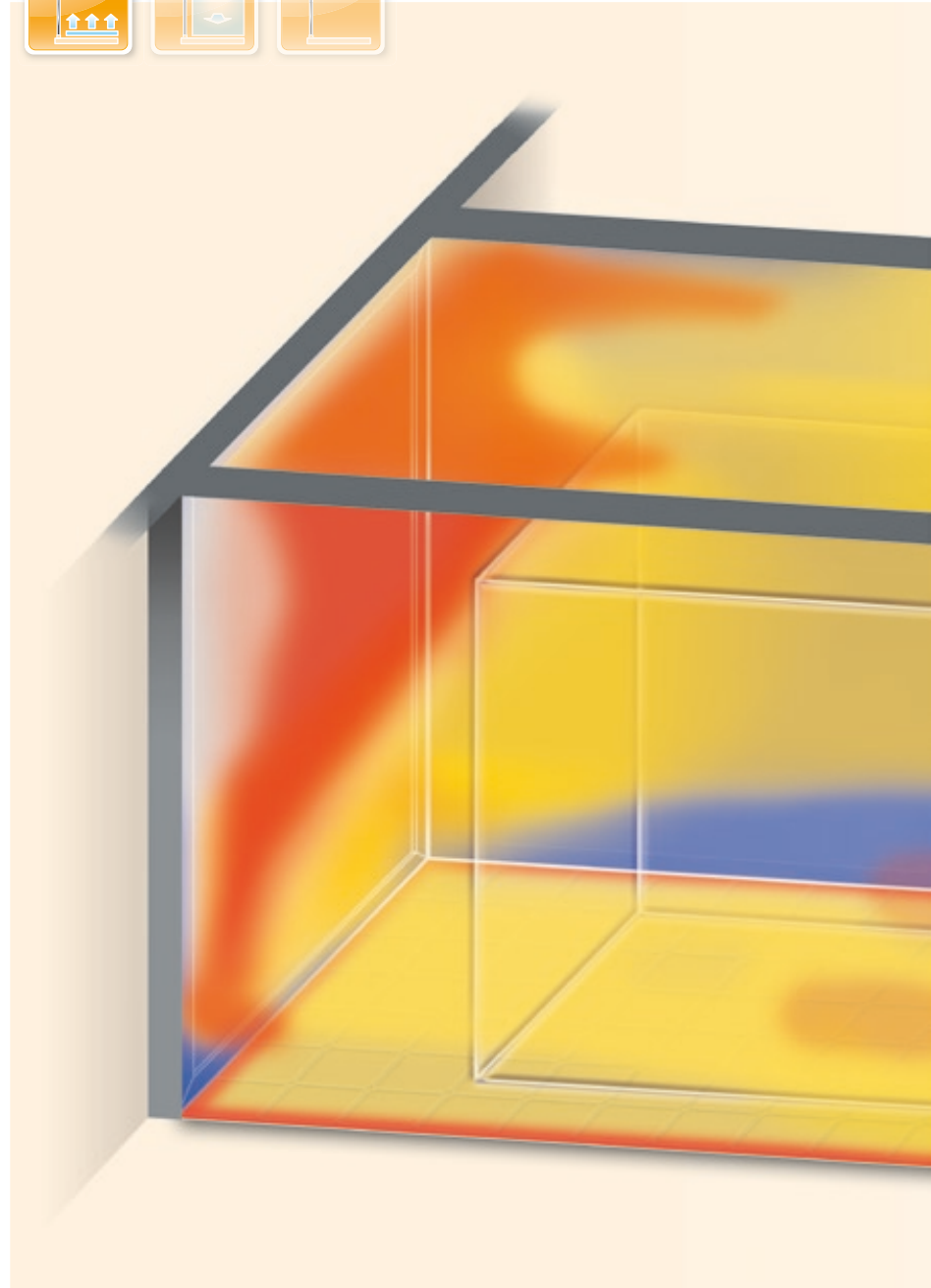
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Durch die Verschattung kann die Diskomfortzone im Fensterbereich gegenüber einer unverschatteten Situation deutlich begrenzt werden.

Trotzdem sind auch in der Aufenthaltszone weiträumig Einschränkungen des thermischen Komforts vor allem im Kopf-, aber auch im Fußbereich zu verzeichnen. Defizite in der vertikalen Lufttemperaturdifferenz und in der mittleren Klimabewertung PMV sind dafür maßgeblich.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

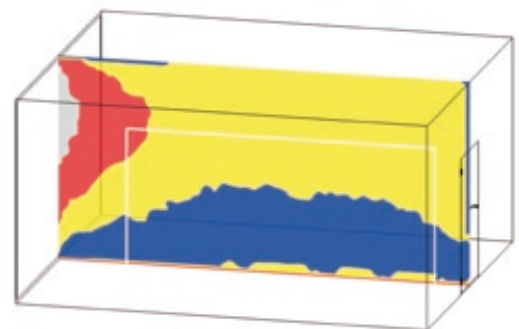
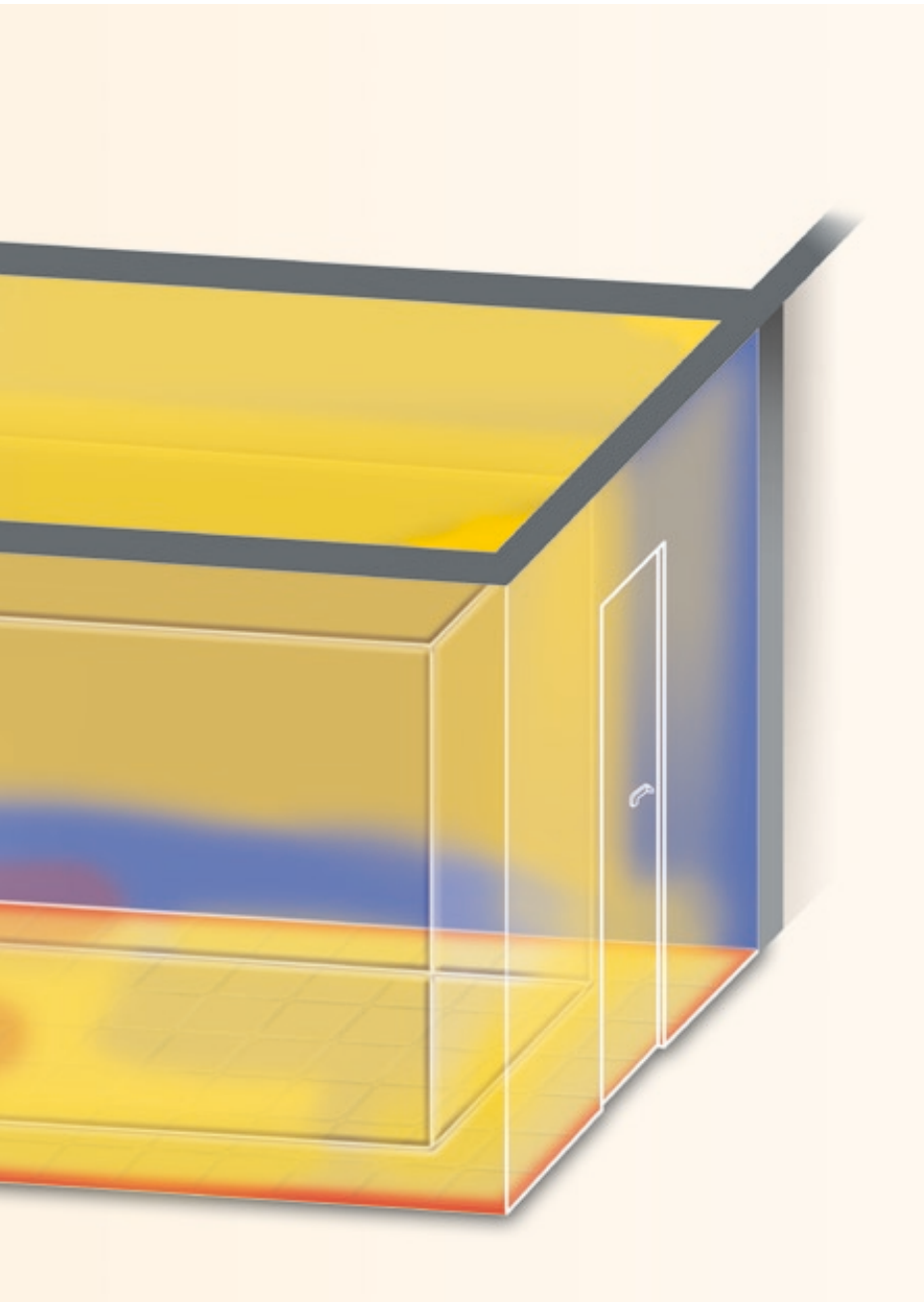


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemaisgt
D	ohne

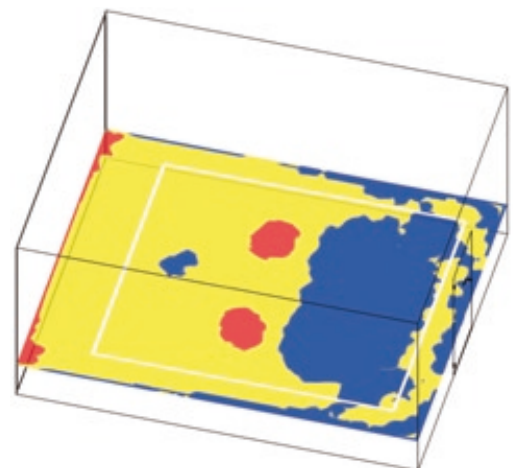


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Teilweise Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit sind im Kopf-, aber auch im Fußbereich zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).



## Flächenkühlung: Kühlwand.

**Fensterflächenanteil 100 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlwand (an der hinteren Längsseite) untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und eine feste Außenverschattung.

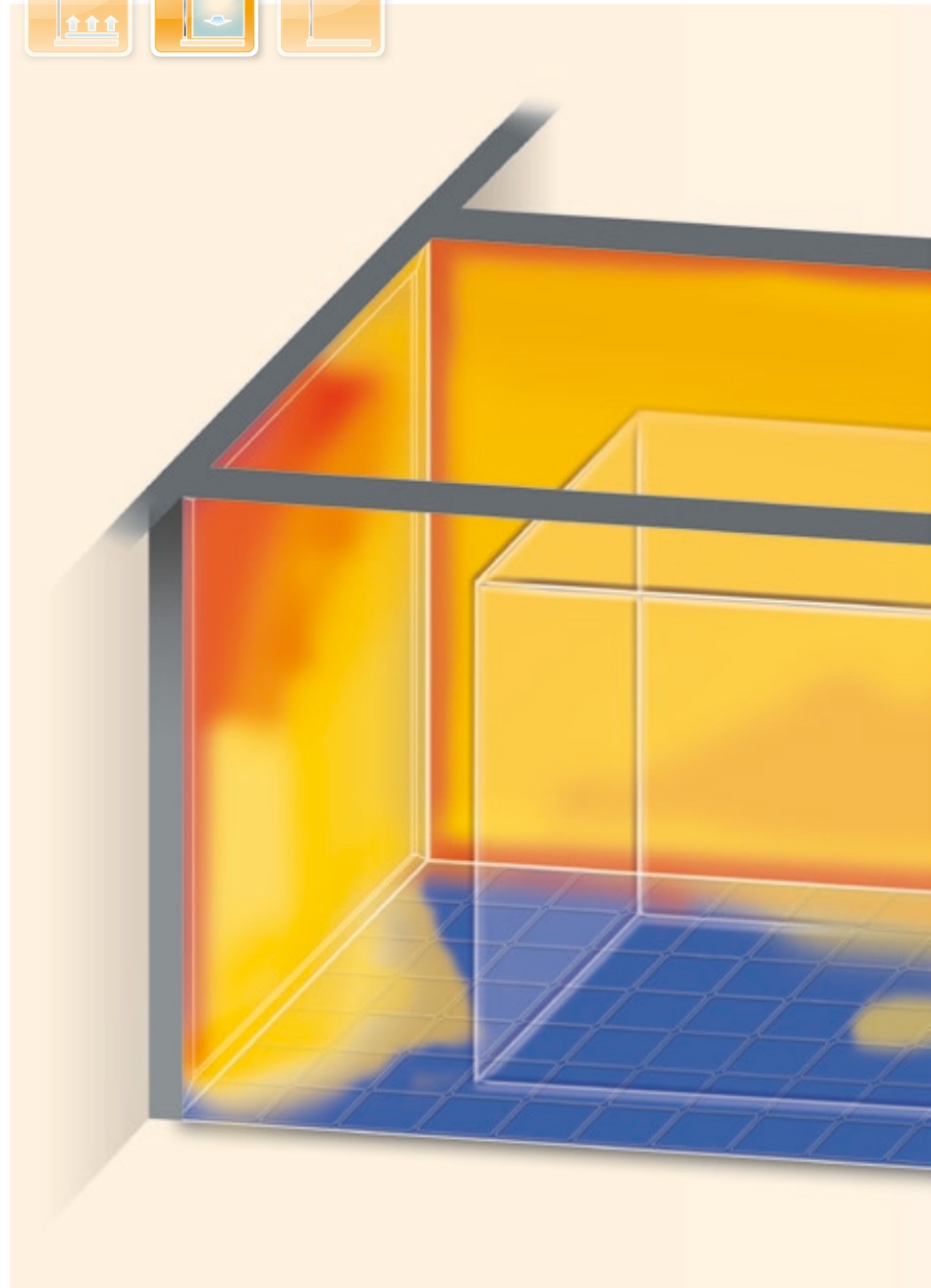
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Bereiche eingeschränkten thermischen Komforts bestehen in der oberen Raumhälfte und in der Nähe der Glaswand, auch der obere Bereich der Aufenthaltszone ist von den Einschränkungen betroffen.

Diese resultieren aus Defiziten bei der globalen Klimabewertung PMV.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



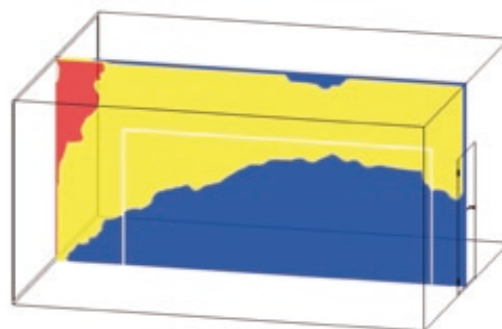
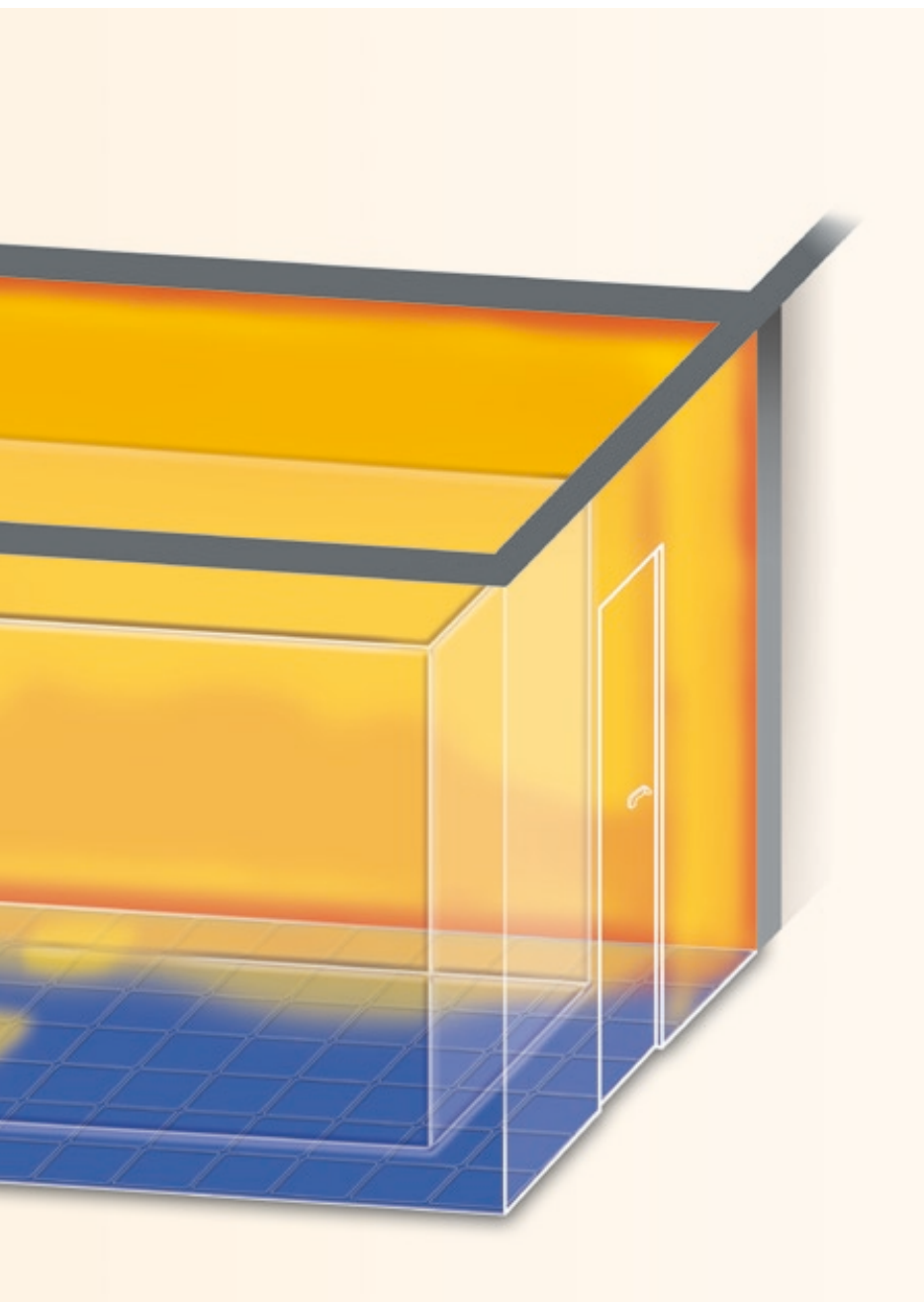
Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



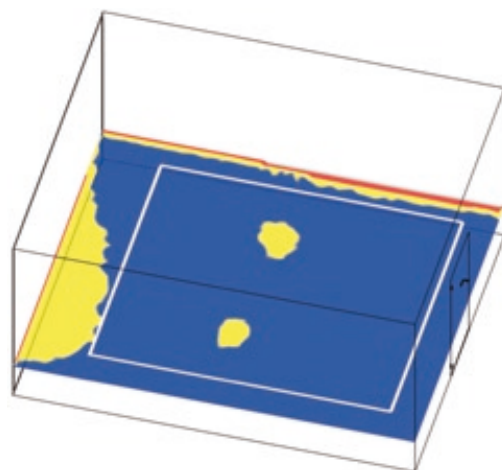
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Kopfbereich ergeben sich Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

## Flächenkühlung: Kühldecke.

**Fensterflächenanteil 100 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit bauteilintegrierter Kühldecke untersucht.

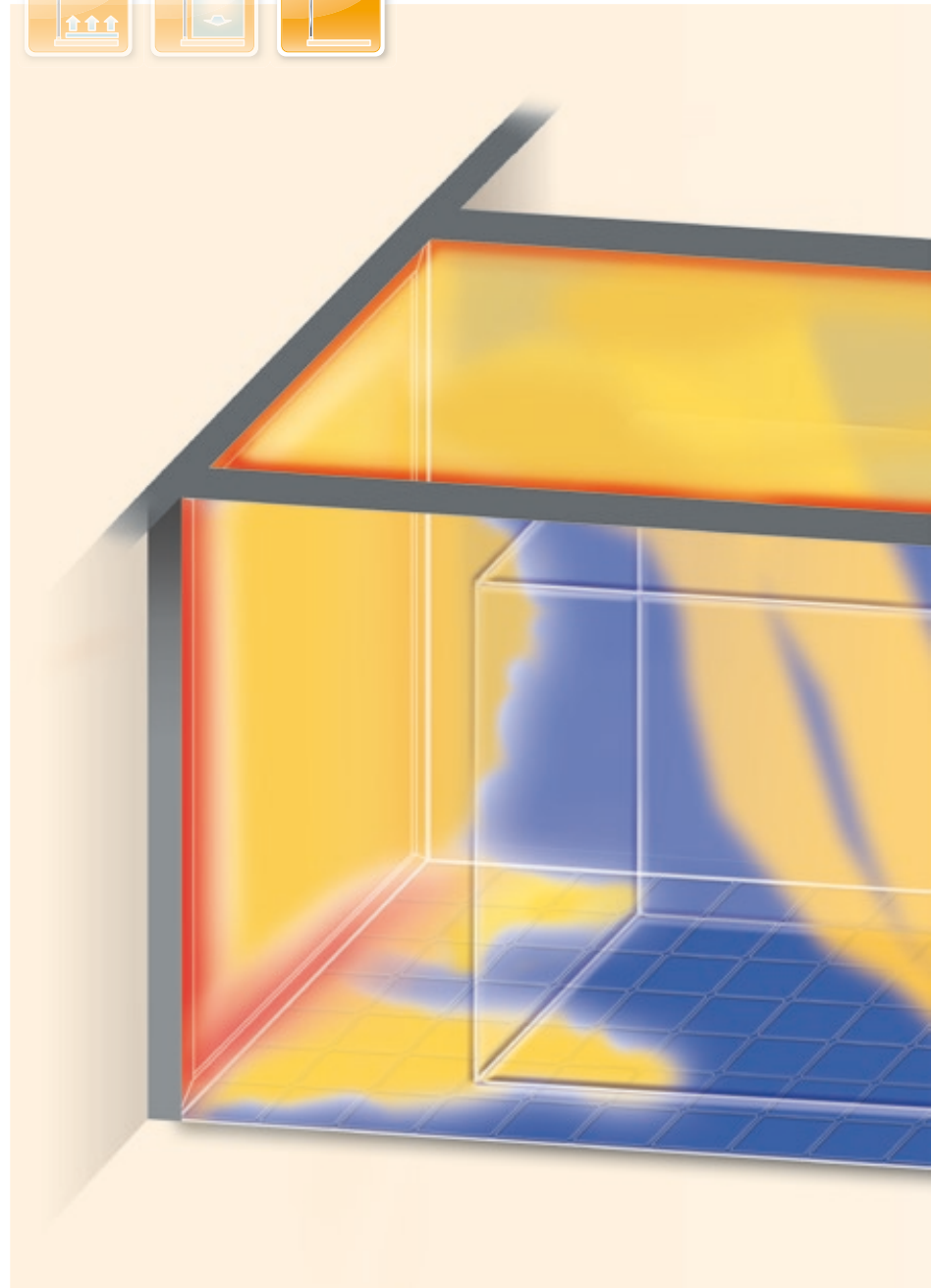
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 100 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

In der Aufenthaltszone sind punktuelle Einschränkungen des thermischen Komforts im Fußbereich zu verzeichnen. Defizite beim Zugluftisiko und in der globalen Klimabewertung PMV sind dafür verantwortlich.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

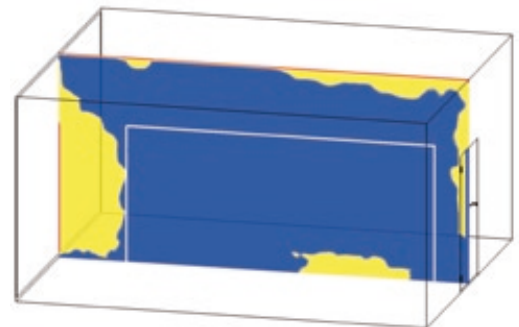
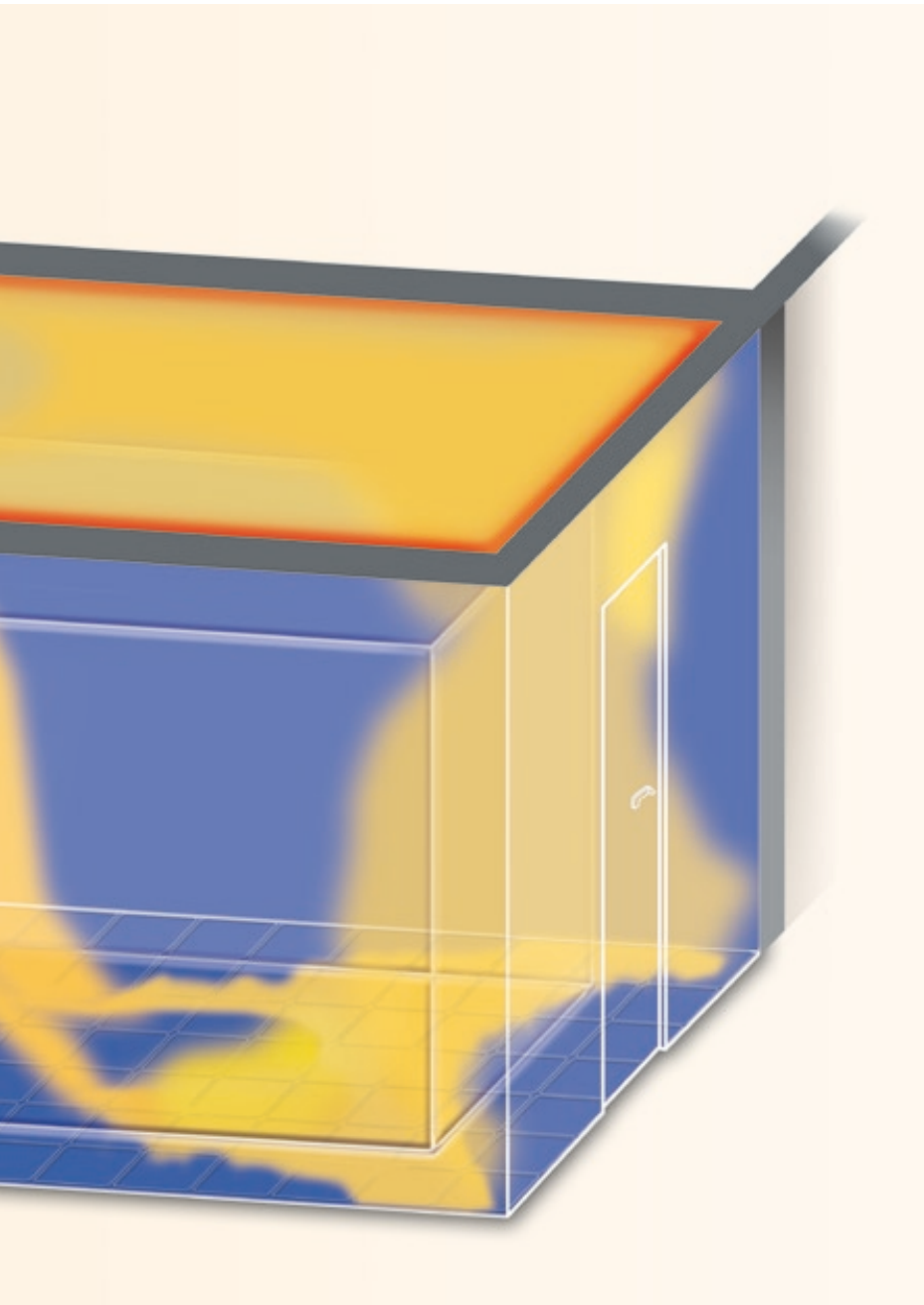


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

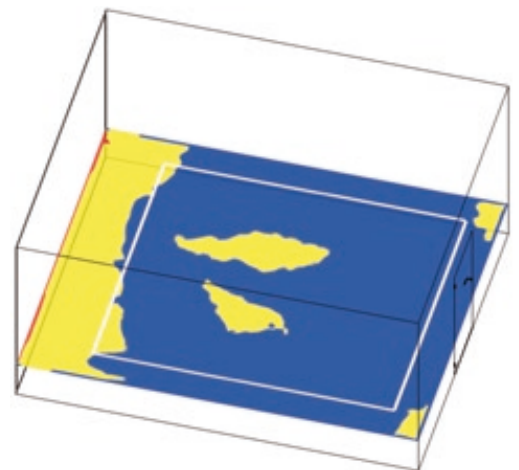


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A teilweise erreicht werden.

Im Fußbereich ergeben sich geringe Einschränkungen, hier wird die Kategorie B erreicht.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und geplante Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

## Freie Kühlflächen: Konvektionskühldecke.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit untergehängter Konvektionskühldecke untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

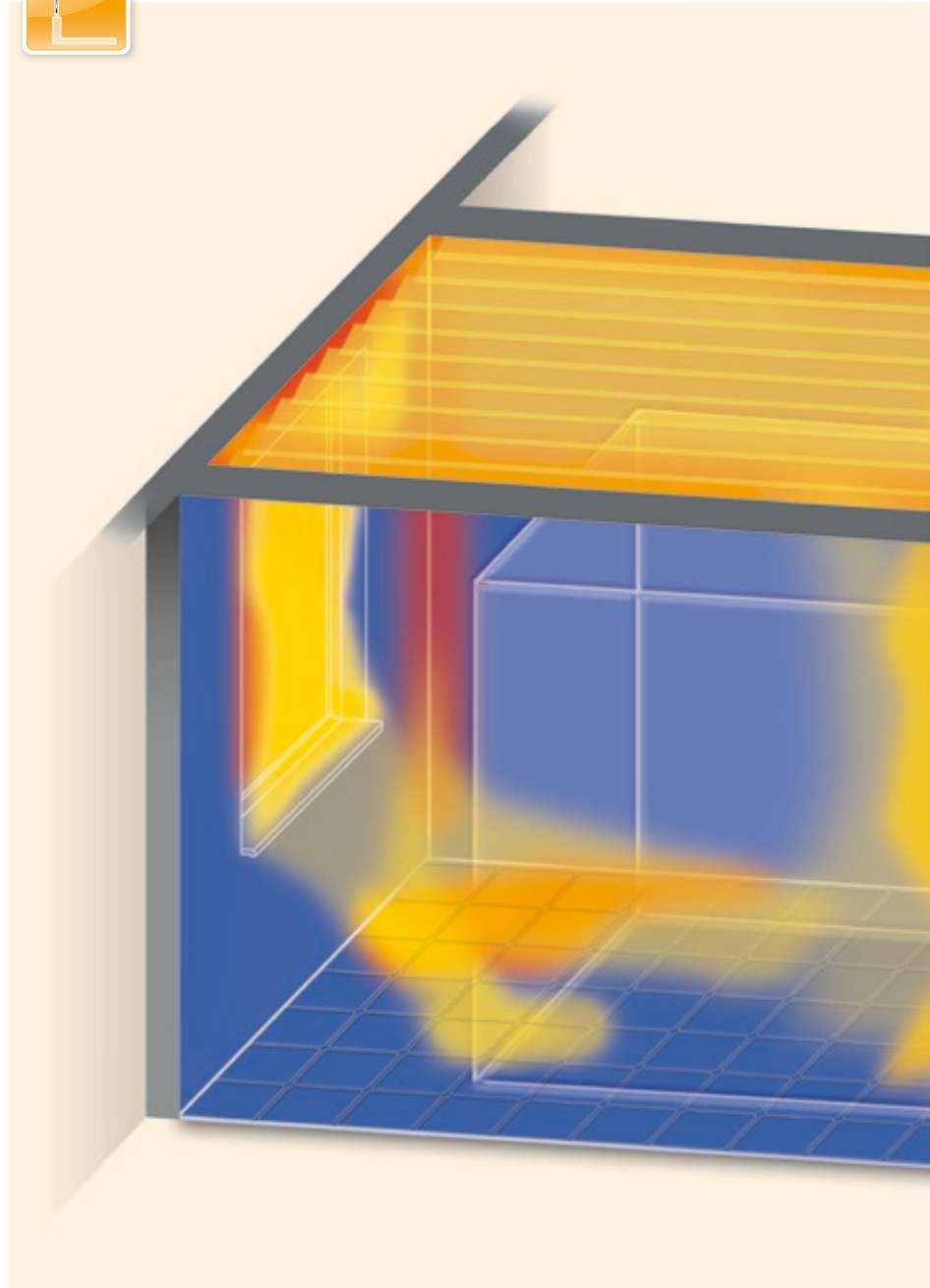
Da kein Luftwechsel erfolgt ( $n = 0 \text{ h}^{-1}$ ), sind die hygienisch erforderliche Mindestlüftung sowie Undichtheiten nicht berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Eine geringfügige Einschränkung des thermischen Komforts besteht lokal, im Aufenthaltsbereich werden weitgehend höchste Komfortansprüche befriedigt.

Die punktuellen Defizite resultieren aus dem Zugluftrisiko.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.

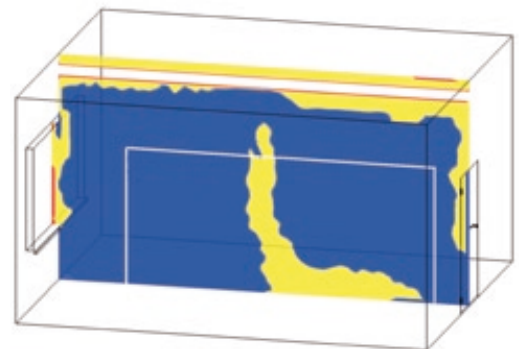
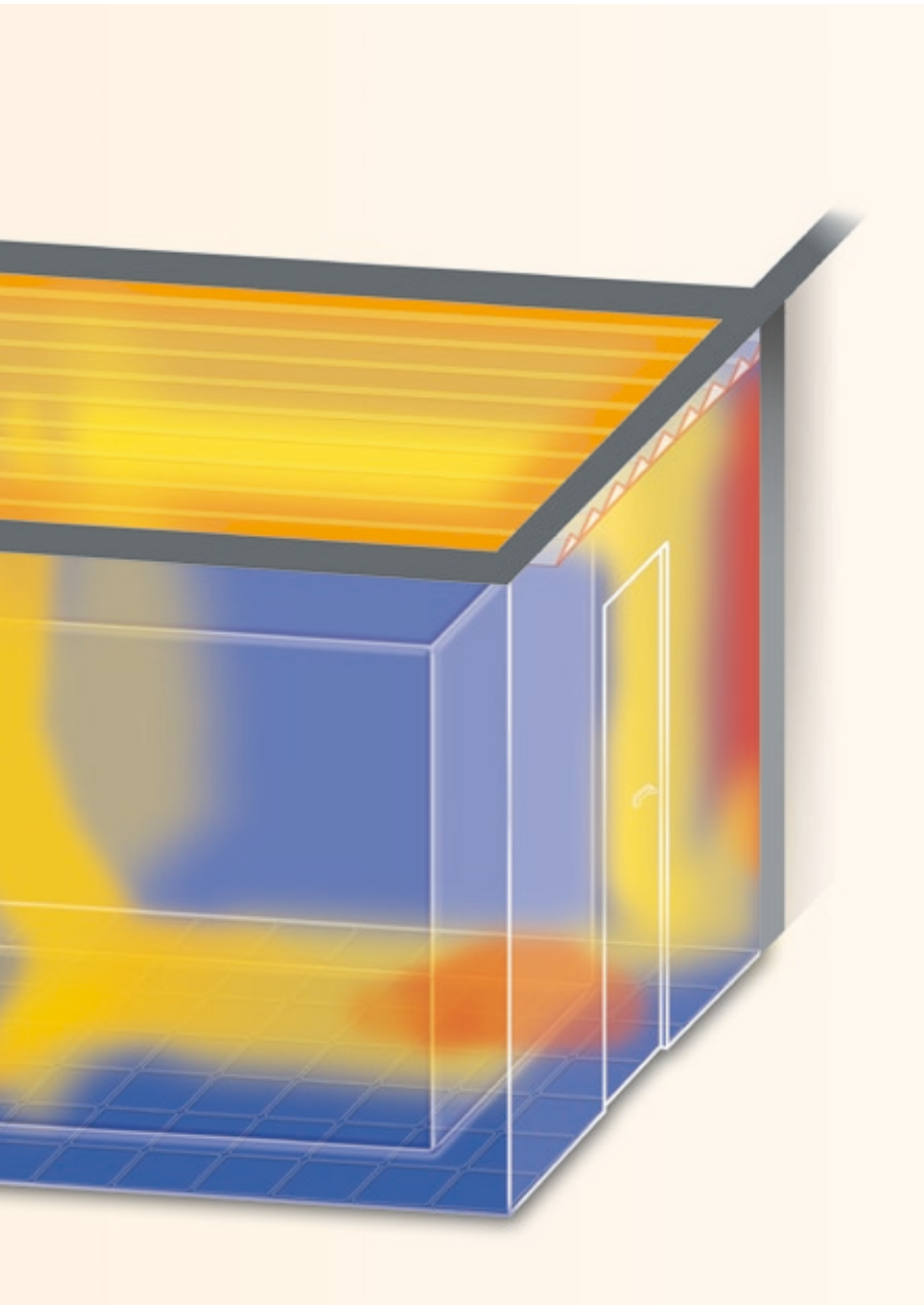


Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

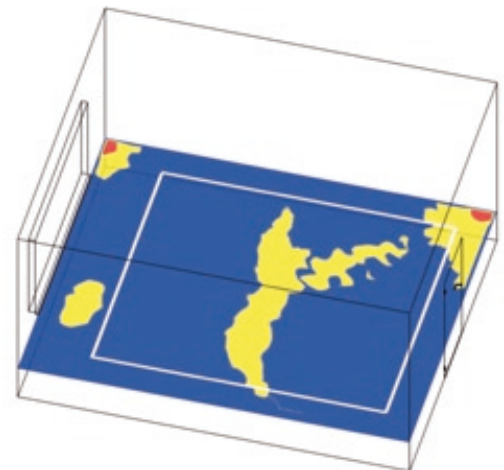


**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich kann die höchste Behaglichkeitsklasse A weitgehend erreicht werden.

Geringe Einschränkungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit sind lokal zu verzeichnen.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

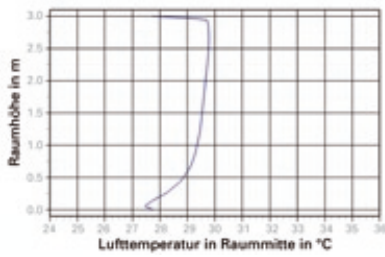
**Tipp:**

- Eine Verschattung verbessert die sommerliche thermische Behaglichkeit unabhängig von der Fenstergröße nachhaltig.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Größere Kühlflächen ermöglichen höhere Kühlleistungen oder höhere Systemtemperaturen (mit verringertem Energiebedarf).

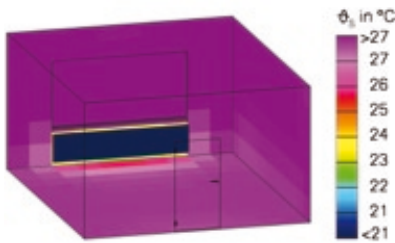


# Freie Kühlflächen: Kühl-/Heizkörper.

## Höhenabhängiger Lufttemperaturverlauf



## Oberflächentemperatur



Aktuelle Überlegungen beschäftigen sich mit der Nutzung konventioneller Heizkörper (Flachheizkörper, Radiatoren oder Heizwände) für die sommerliche Kühlung. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt (genau wie bei der Fußbodenkühlung) in der Nutzung des vorhandenen Heizsystems mit geringem bzw. ohne raumseitigen Installationsaufwand.

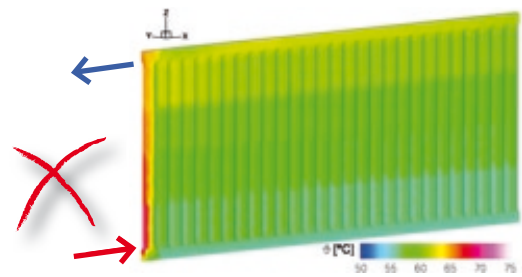
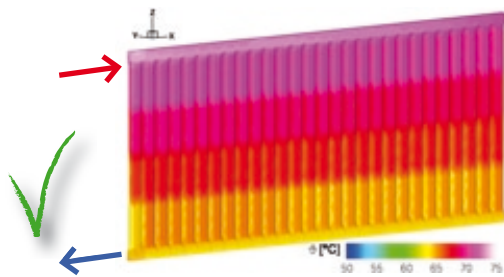
Die sinnvolle Nutzung des Heizkörpers für die sommerliche Kühlung ist zunächst an die Lösung einiger konstruktiver Details gebunden. Die konventionelle Heizkörperanbindung (Vorlauf oben, Rücklauf unten) ist für die sommerliche Kühlung ungeeignet und schränkt die verfügbare Kälteleistung drastisch ein. Die grundsätzlich mögliche Umkehr der Strömungsrichtung verbessert die thermischen Verhältnisse am Heizkörper im Sommer maßgeblich (siehe Abbildung unten). Allerdings gibt es Konsequenzen bei der Anlagenhydraulik, da verschiedene Bauteile (zum Beispiel Rückschlagventile bzw. Schwerkraftbremsen) eine Strömungsumkehr nicht zulassen. Ein zusätzliches Problem stellen die überwiegend eingesetzten Thermostatventile dar, die bei hohen (sommerlichen) Raumtemperaturen geschlossen sind.



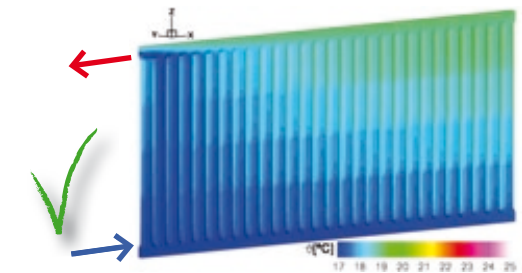
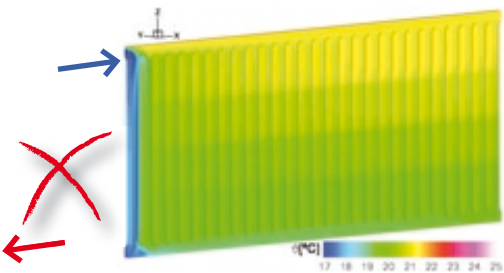
### Konventionelle Anbindung (VL oben)

### Alternative Anbindung (VL unten)

Winter  
(Heizen)



Sommer  
(Kühlen)

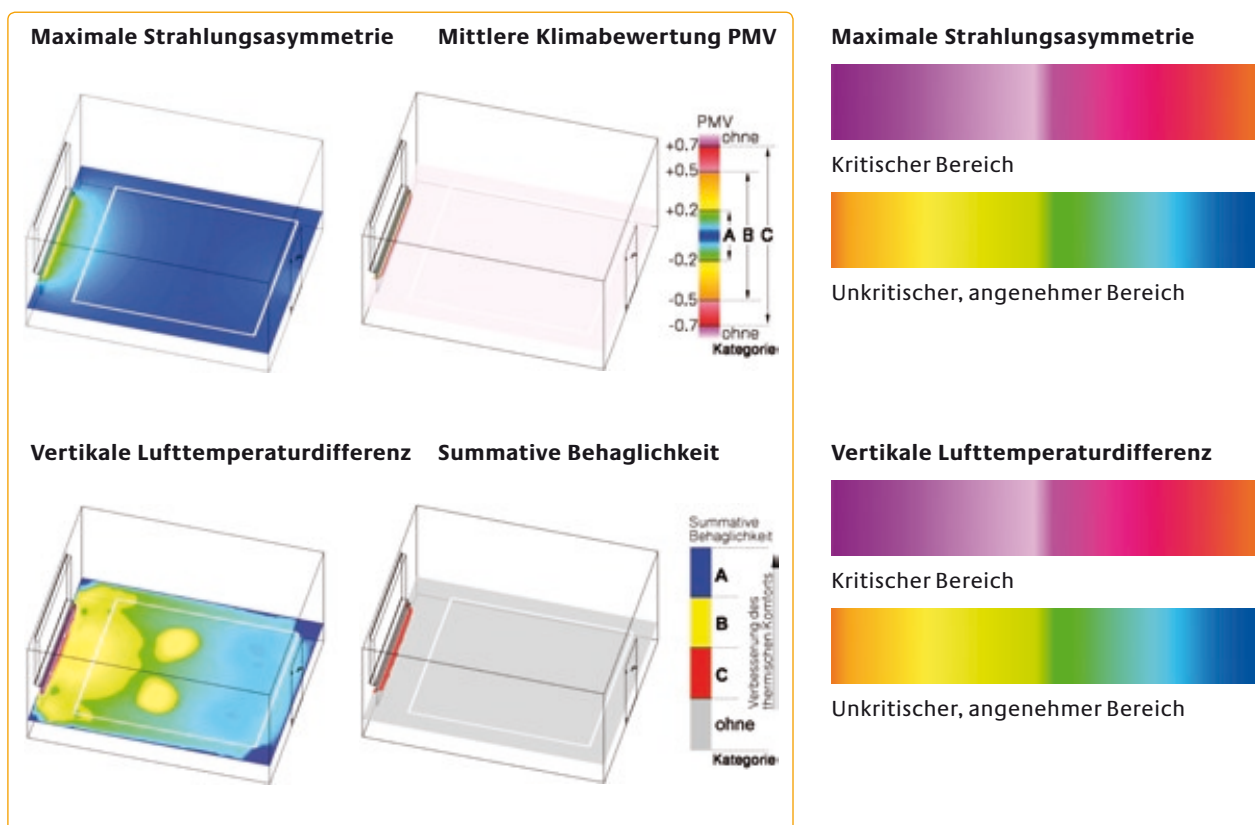




Die eingeschränkte Kühlfläche in Kombination mit den begrenzten Systemtemperaturen (keine Taupunktunterschreitung) lässt jedoch von vornherein nur eine Anwendung als An Kühlsystem zu.

Zur Taupunktvermeidung darf bei einer relativen Raumluftfeuchte von 50 Prozent die minimale Systemtemperatur nur ca. 10 K unter Raumlufttemperatur, bei 70 Prozent relative Raumluftfeuchte nur etwa 5 K unter Raumlufttemperatur liegen.

Die Lufttemperatur kann im untersuchten Fall gegenüber einem ungekühlten Raum deutlich gesenkt werden – man kann von einer spürbaren An kühlung sprechen. Eine generelle Klassifizierung der globalen thermischen Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 kann mit dem Heizkörper als Kühlfläche aber nicht erreicht werden, wie die Darstellung der mittleren Klimabewertung PMV rechts unten zeigt.



## Luftkühlung: Quelllüftung.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Quelllüftung untersucht.

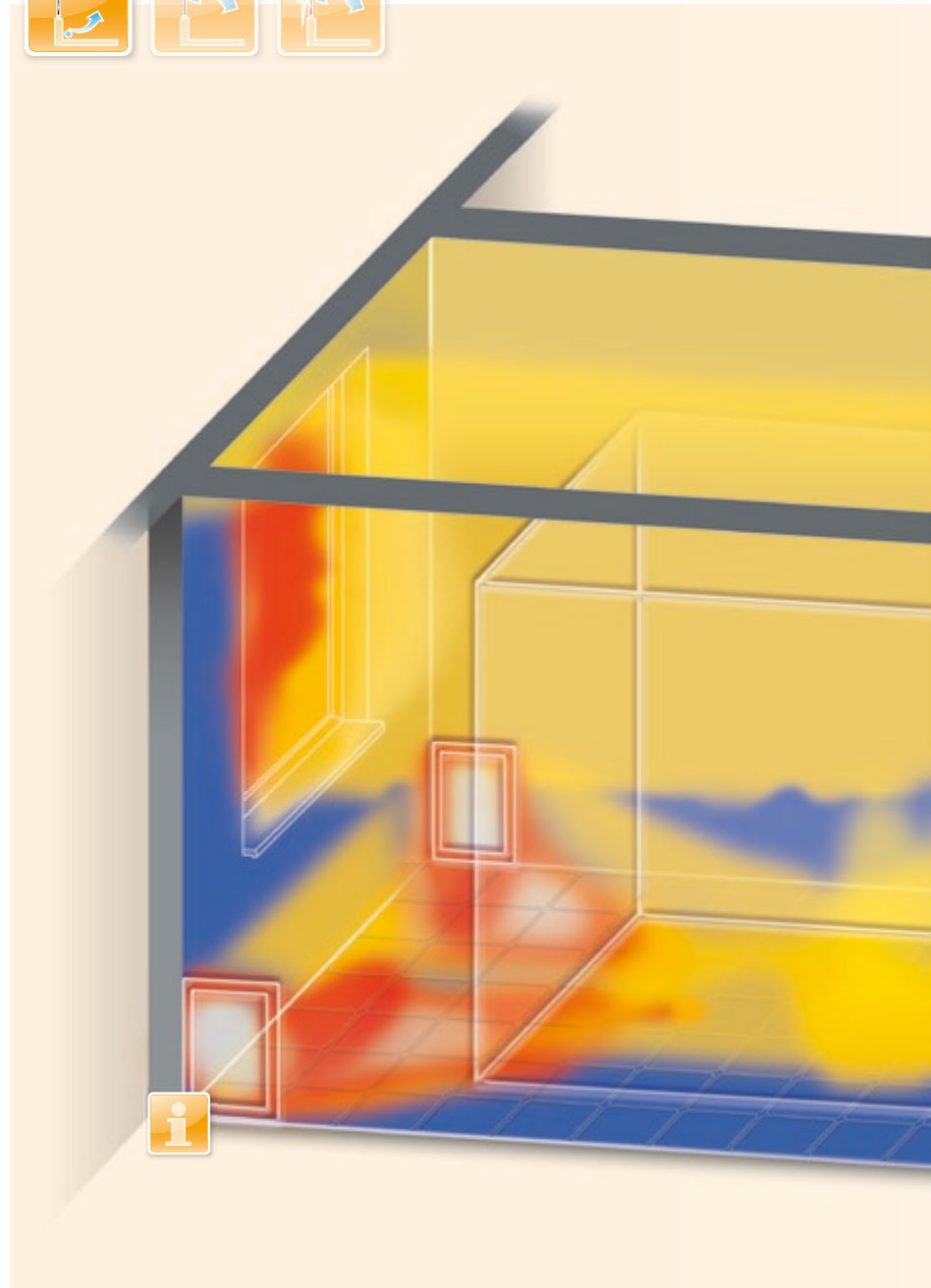
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Der Luftwechsel beträgt  $6,0 \text{ h}^{-1}$ , damit ist die hygienisch erforderliche Mindestlüftung berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Unmittelbar an den Zuluftauslässen existiert ein räumlich begrenzter Diskomfortbereich, der auch zu Einschränkungen in der Aufenthaltszone führt. Betroffen ist hier vor allem der Fußbereich in der Nähe der Zuluftauslässe, aber auch im Kopfbereich sind großflächig Einschränkungen zu verzeichnen.

Im Detail sind das Zugluftrisiko, die vertikale Lufttemperaturdifferenz und die globale Bewertung als Verursacher der Defizite zu nennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



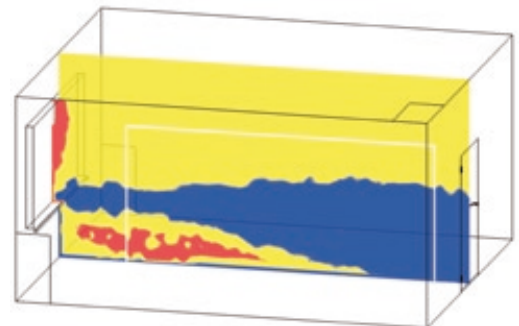
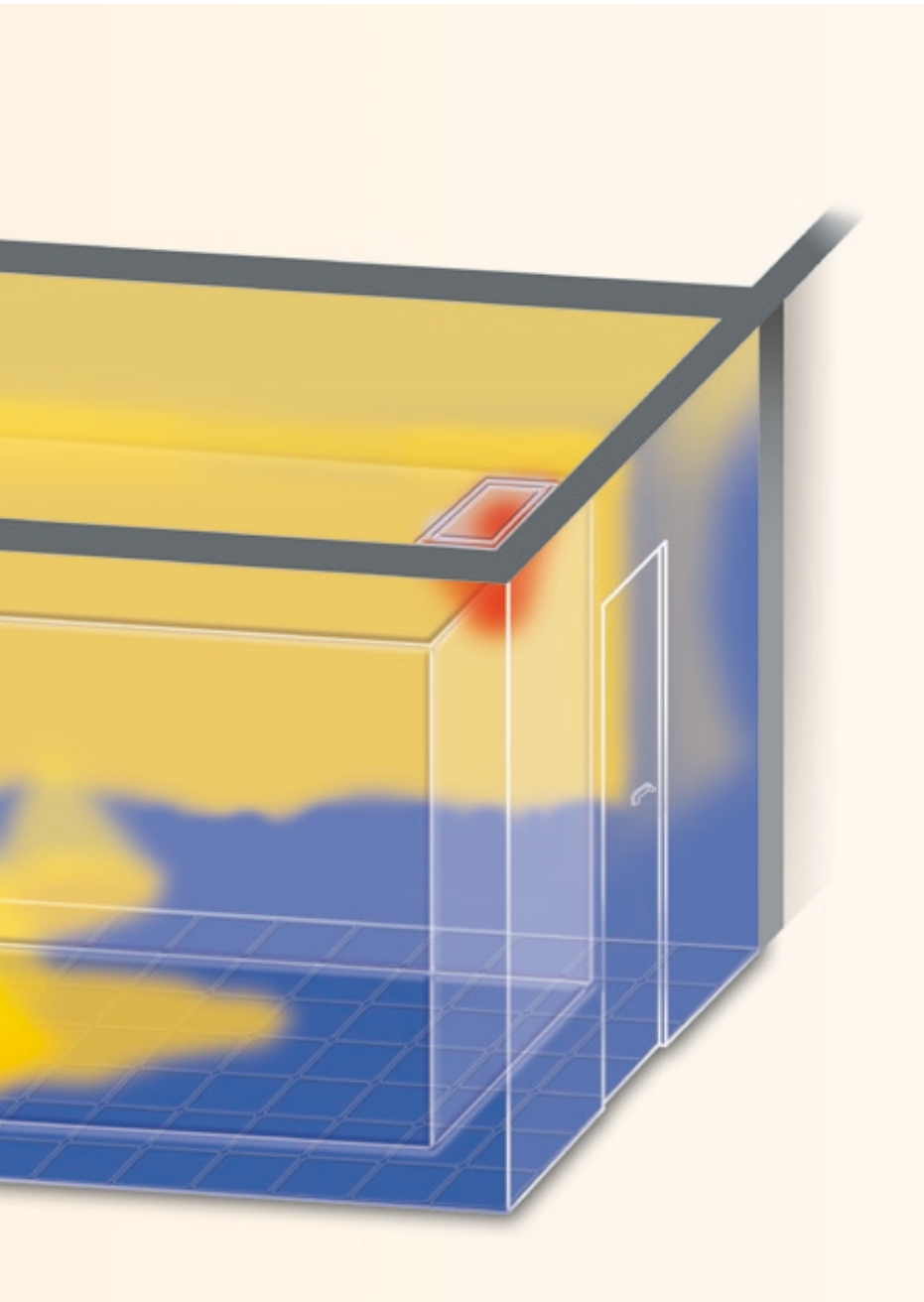
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Im Fußbereich und in Fensternähe sind stärkere Einschränkungen (Klasse C) zu verzeichnen.

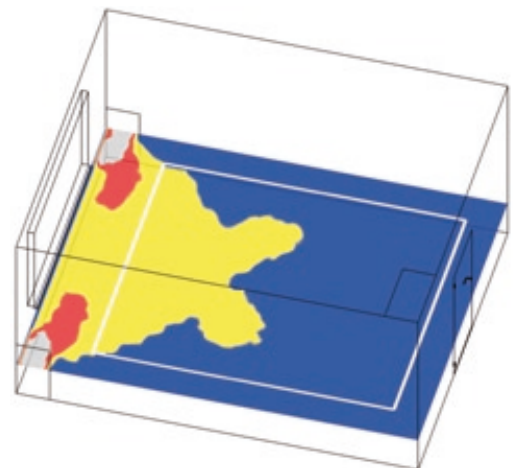


2 Zuluftauslässe unten an beiden Außenwand-ecken (freier Querschnitt  $0,5 \times 1,0 \text{ m}$ )

1 Abluftauslass gegenüber der Außenwand in der Innenwand-ecke an der Decke



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Auswahl, Auslegung und Anordnung der Systemkomponenten spielen bei den Luftkühlsystemen eine wichtige Rolle für die wärmephysiologischen Verhältnisse, systembedingte Unterschiede können dadurch oft relativiert werden.
- Ein höherer Luftwechsel weist Vorteile gegenüber einer höheren Temperaturdifferenz auf.
- Eine vertikale Anordnung der Zuluftauslässe hat leichte Vorteile hinsichtlich der summativen Behaglichkeit gegenüber horizontaler Anordnung.

# Luftkühlung: Mischlüftung mit Drallluftauslässen.

**Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.**

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Mischlüftung mit Drallluftauslässen untersucht.

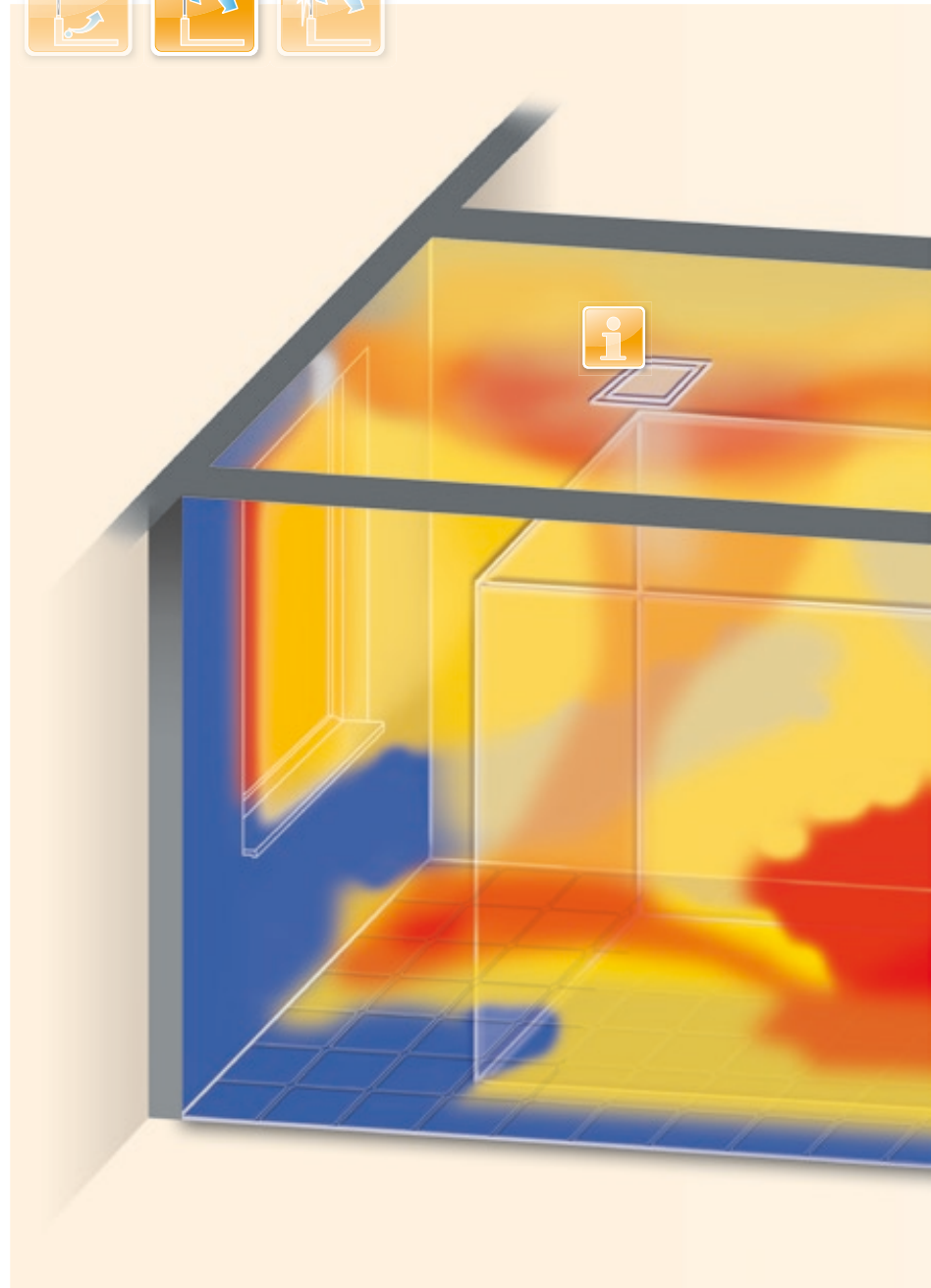
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Der Luftwechsel beträgt  $6,0 \text{ h}^{-1}$ , damit ist die hygienisch erforderliche Mindestlüftung berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung andeutungsweise zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Unmittelbar an den Zuluftauslässen und punktuell im Fußbodenbereich existieren räumlich begrenzte Diskomfortzonen, die auch zu deutlichen Einschränkungen im Aufenthaltsbereich führen. Betroffen ist in verstärktem Maße der Fußbereich, aber auch im Kopfbereich sind großflächig Einschränkungen zu verzeichnen.

Vor allem ein erhöhtes Zugluftrisiko ist dafür verantwortlich.



Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
<b>C</b>	<b>gemäßigt</b>
D	ohne



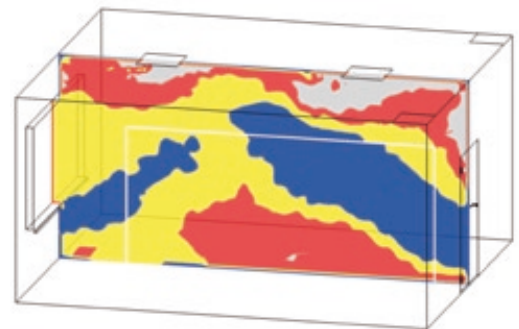
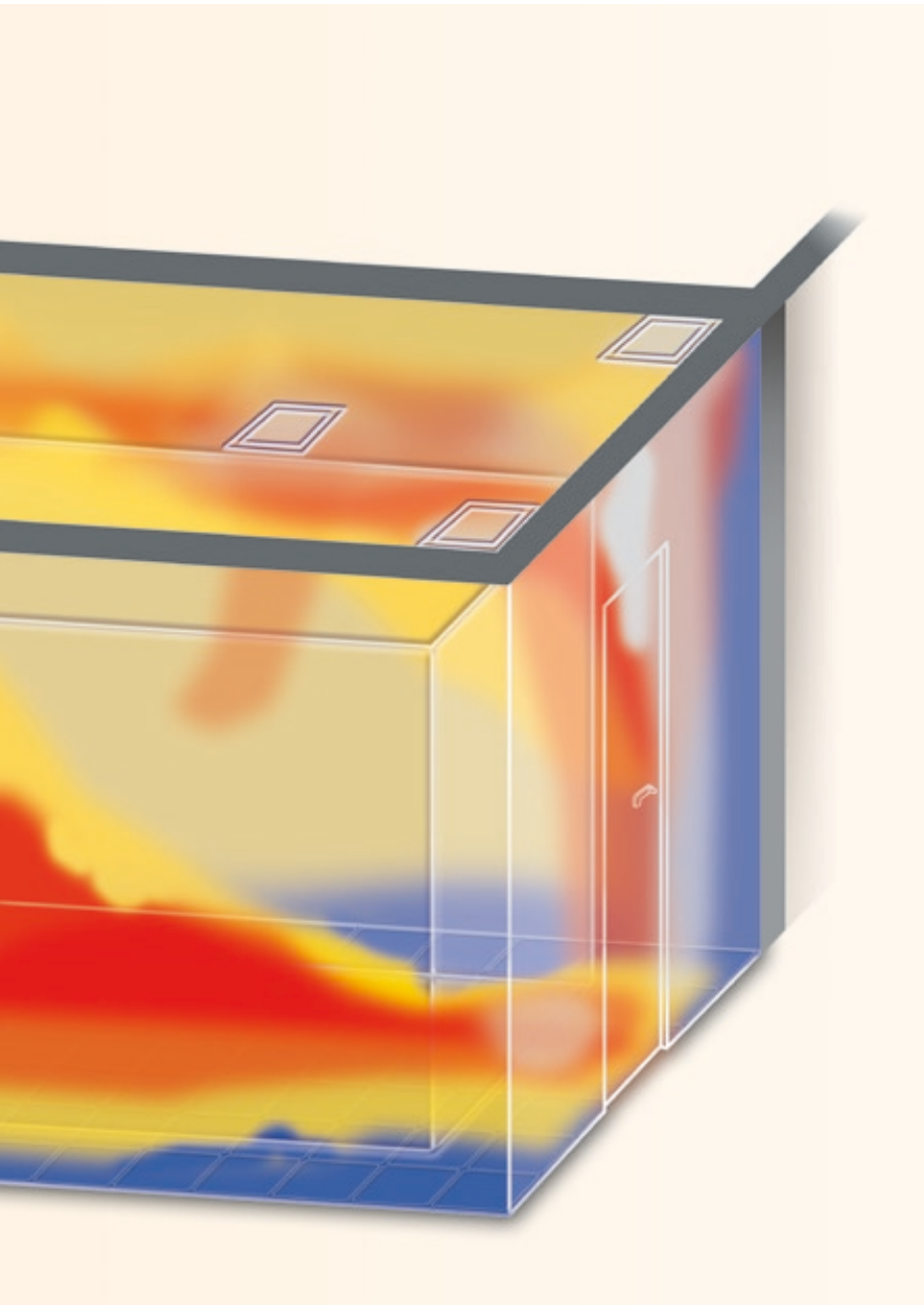
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B bis C erreicht.

Im Fußbereich sind stärkere Einschränkungen zu verzeichnen.

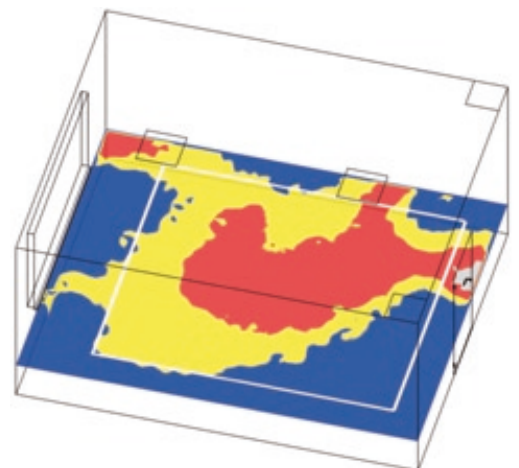


2 Drallluftauslässe zentral an der Decke (Durchmesser 0,5 m)

2 Abluftauslässe gegenüber der Außenwand in den Innenwandecken an der Decke



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Insbesondere bei den Luftkühlsystemen gibt es zahlreiche technische bzw. konstruktive Lösungen. Auswahl, Auslegung und Anordnung der Systemkomponenten spielen eine wichtige Rolle für die wärmephysiologischen Verhältnisse, systembedingte Unterschiede können dadurch oft relativiert werden.
- Mischlüftung ist geeignet für größere Schadstofflasten, aber auch für höhere Räume.
- In höheren Räumen verbessert sich die thermische Behaglichkeit bei Mischlüftung.
- Fassadengeräte können gegenüber Drallluftauslässen im Deckenbereich Vorteile bei der summativen thermischen Behaglichkeit aufweisen.



# Luftkühlung: Mischlüftung mit Drallluftauslässen.

Fensterflächenanteil 30 Prozent, ohne Verschattung, mit Sonnenschutzverglasung.

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Mischlüftung mit Drallluftauslässen untersucht.

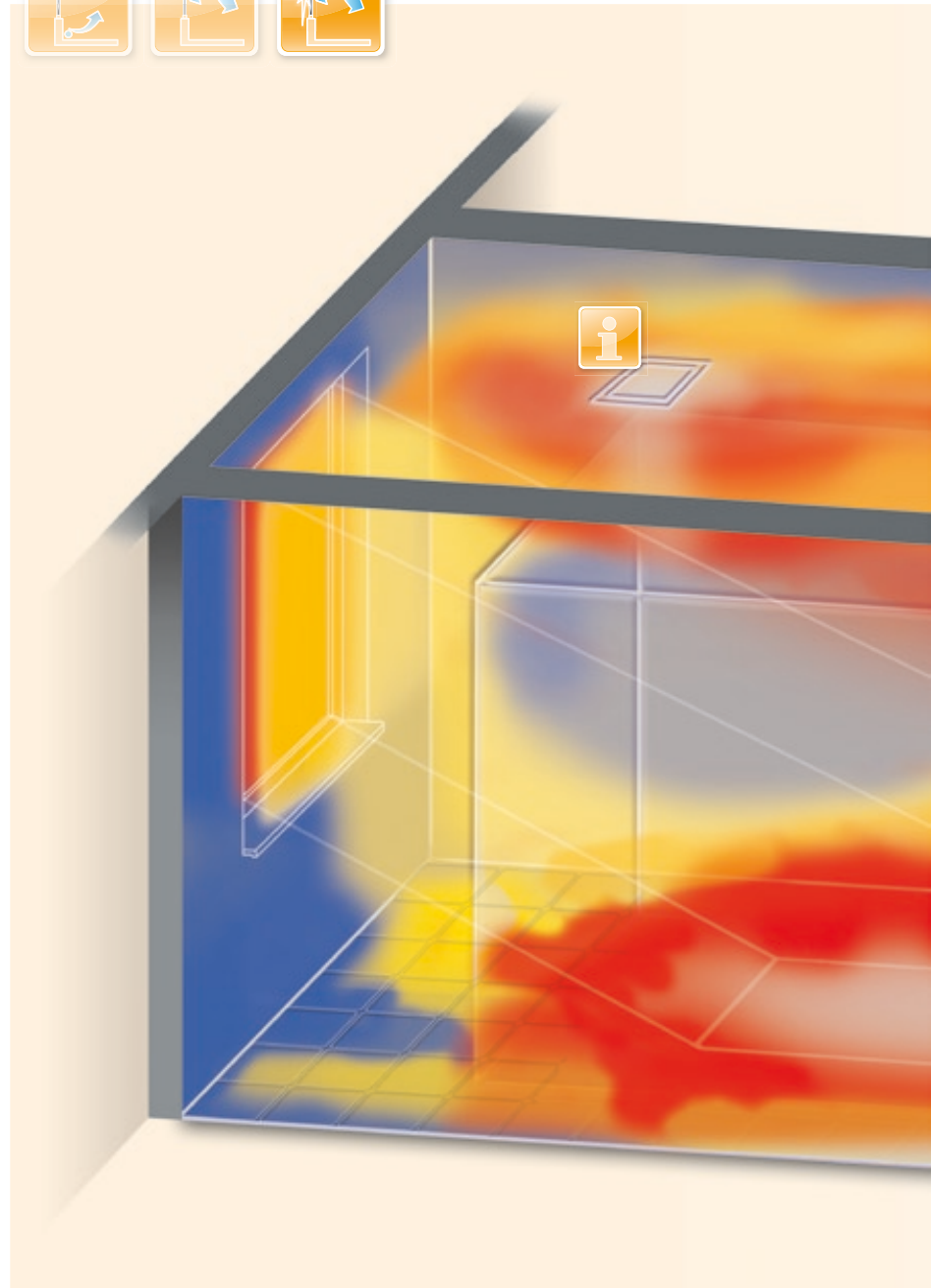
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und keine Verschattung. Es kommt Sonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,3 zum Einsatz.

Der Luftwechsel beträgt  $6,0 \text{ h}^{-1}$ , damit ist die hygienisch erforderliche Mindestlüftung berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung andeutungsweise zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Unmittelbar an den Zuluftauslässen und am Fußboden vor allem im Bereich der auftretenden Solarstrahlung existieren räumlich begrenzte Diskomfortbereiche, die auch zu deutlichen Einschränkungen in der Aufenthaltszone führen. Betroffen ist in verstärktem Maße der Fußbereich, aber auch im Kopfbereich sind Einschränkungen zu verzeichnen.

Vor allem ein erhöhtes Zugluftrisiko ist dafür verantwortlich.



Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse C erreicht.

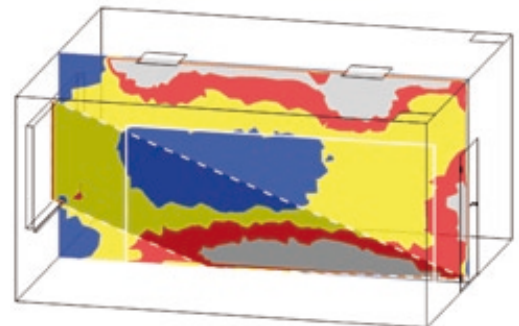
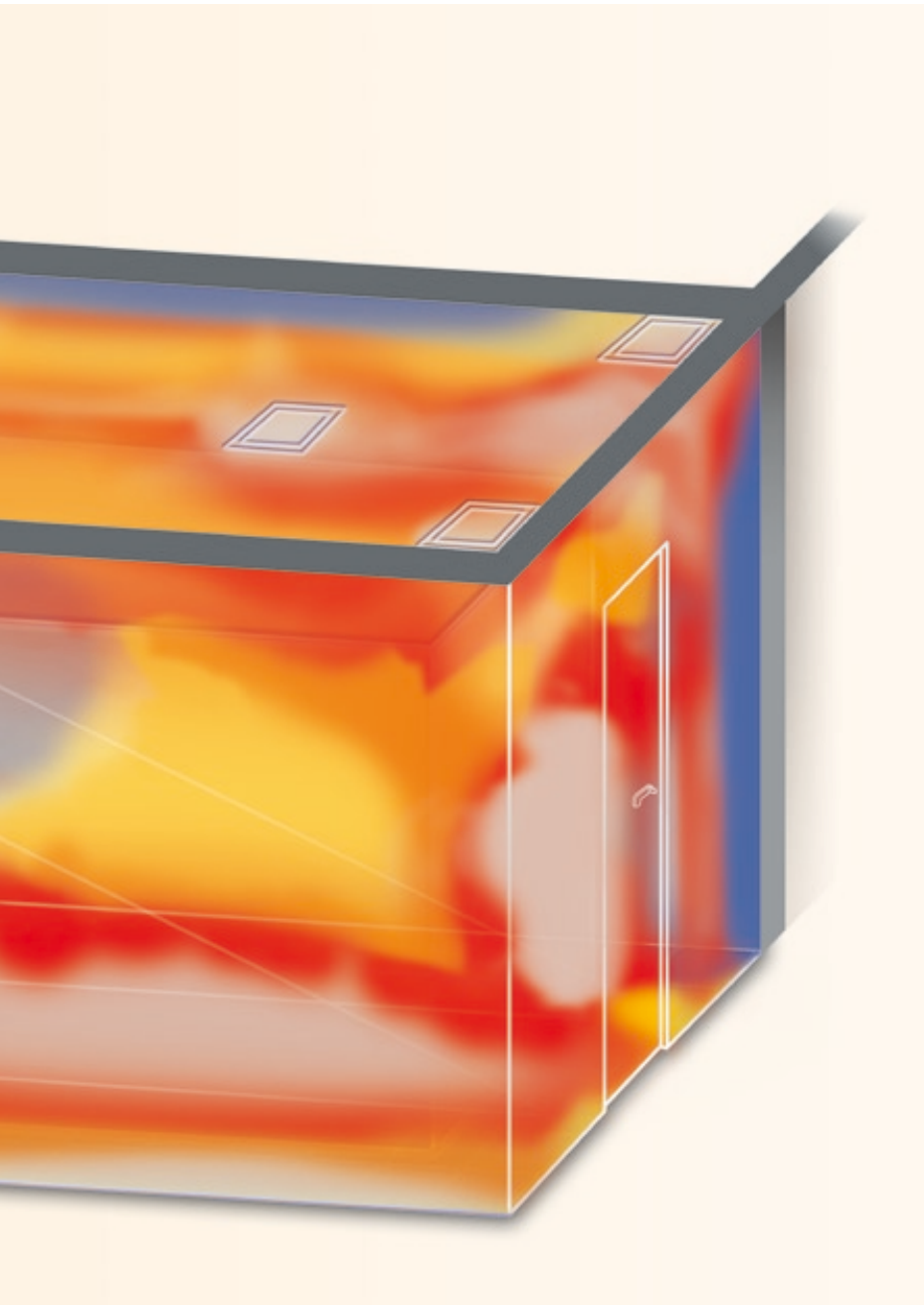
Im Fußbereich sind stärkere Einschränkungen zu erwarten, hier ist teilweise keine Komfortklassifizierung mehr möglich.



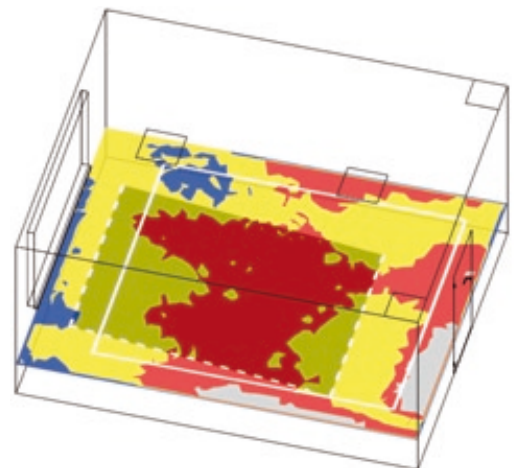
2 Drallluftauslässe zentral an der Decke (Durchmesser 0,5 m)

2 Abluftauslässe gegenüber der Außenwand in den Innenwandecken an der Decke





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Auswahl, Auslegung und Anordnung der Systemkomponenten spielen bei den Luftkühlssystemen eine wichtige Rolle für die wärmephysiologischen Verhältnisse, systembedingte Unterschiede können dadurch oft relativiert werden.
- Mischlüftung ist geeignet für größere Schadstofflasten, aber auch für höhere Räume.
- In höheren Räumen verbessert sich die thermische Behaglichkeit bei Mischlüftung.
- Fassadengeräte können gegenüber Drallluftauslässen im Deckenbereich Vorteile bei der summativen thermischen Behaglichkeit aufweisen.

# Kombinierte Kühlung und Lüftung: Kühldecke und Quelllüftung.

## Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise für kombinierte Flächen- und Luftkühlung (bauteilintegrierte Kühldecke und Quelllüftung) untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

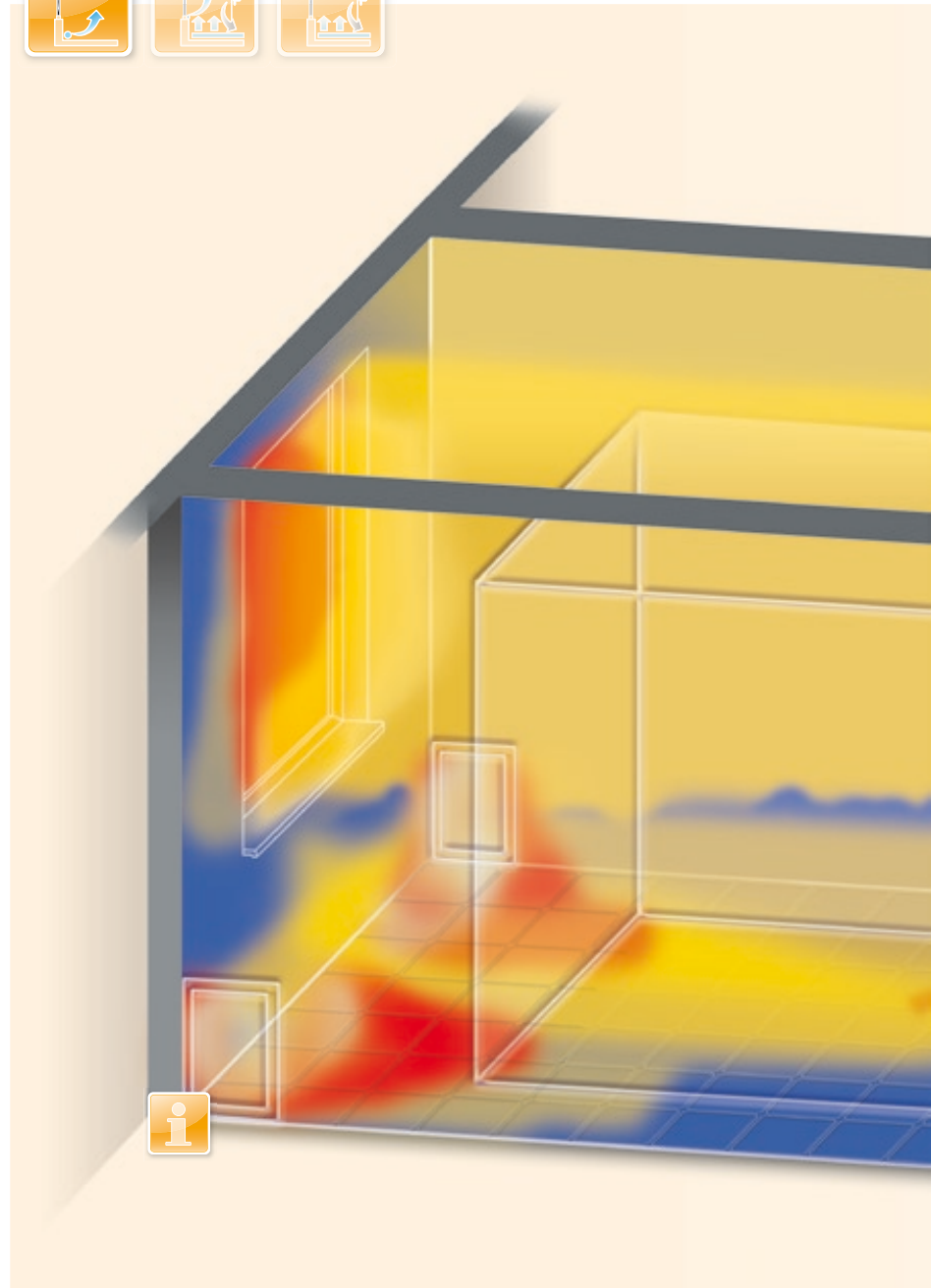
Der Luftwechsel beträgt  $6,0 \text{ h}^{-1}$ , damit ist die hygienisch erforderliche Mindestlüftung berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Unmittelbar an den Zuluftauslässen und am Fenster existieren räumlich begrenzte Diskomfortbereiche, die auch zu Einschränkungen in der Aufenthaltszone führen.

Verursacht werden die Defizite durch das Zugluftrisiko, die vertikale Lufttemperaturdifferenz und die globale Bewertung PMV.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne

A

hoch

B

mittel

C

gemäßigt

D

ohne



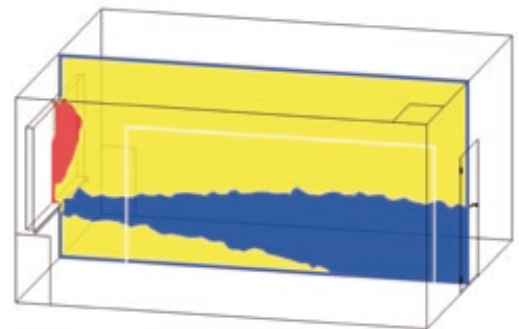
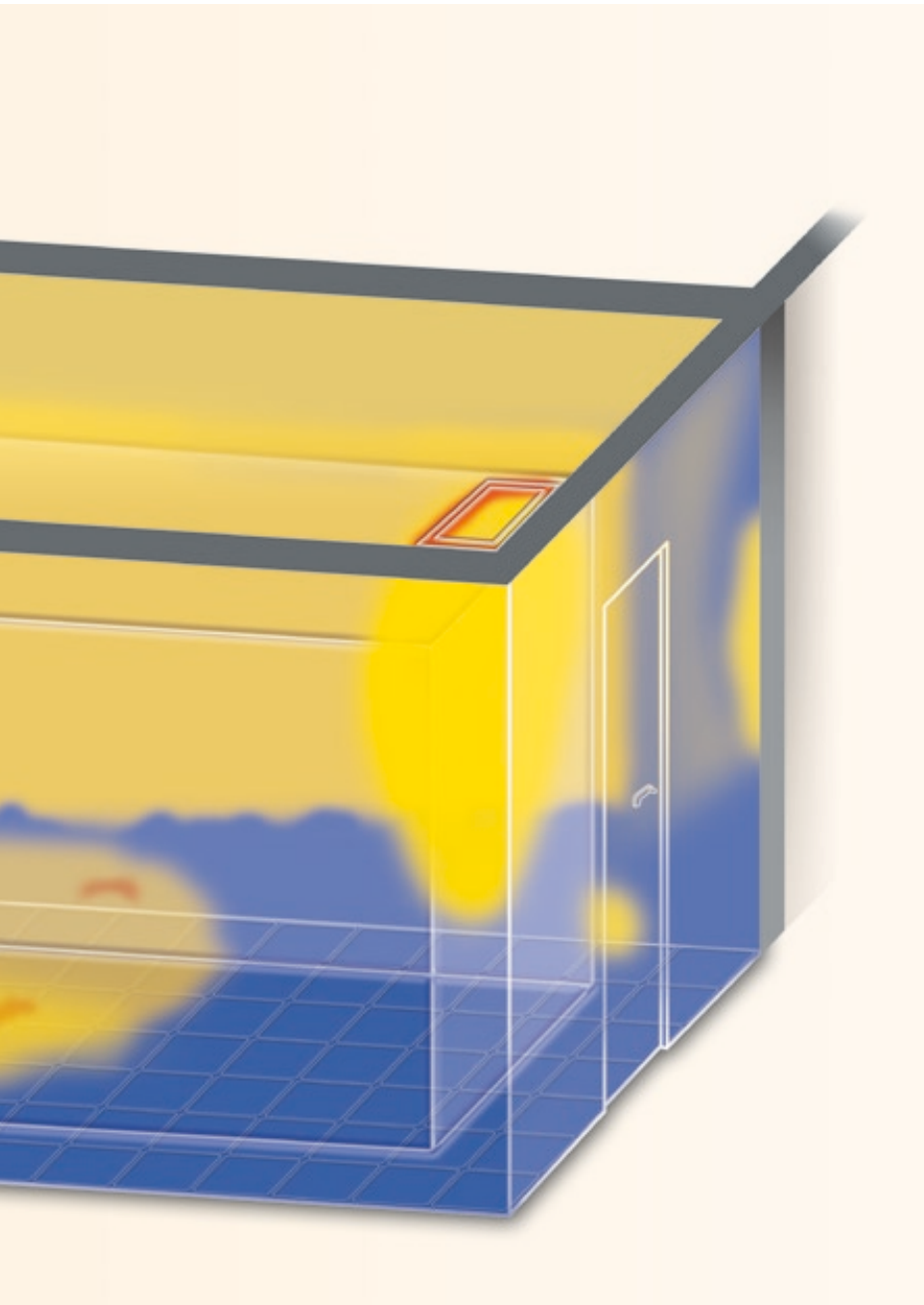
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse A bis B erreicht.

Im Bereich der Luftdurchlässe sind stärkere Einschränkungen (Klasse C) zu verzeichnen.

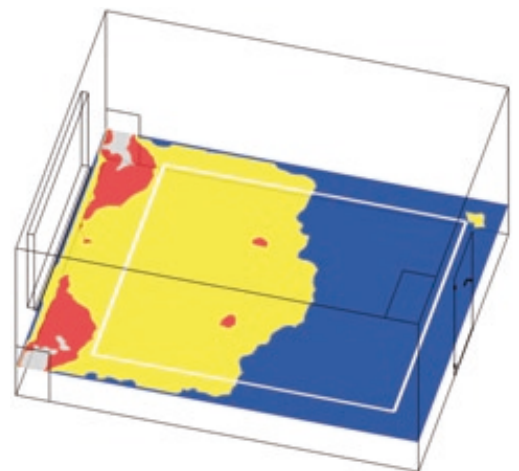


2 Zuluftauslässe unten an beiden Außenwand-ecken (freier Querschnitt  $0,5 \times 1,0 \text{ m}$ )

1 Abluftauslass gegenüber der Außenwand in der Innenwand-ecke an der Decke



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Kombination von Kühlung und Lüftung ermöglicht einen hohen thermischen Komfort in Verbindung mit einer guten Lufthygiene im Sommer.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Bei der Luftkühlung spielen bei der Auswahl, Auslegung und Anordnung der Systemkomponenten eine wichtige Rolle für die wärmephysiologischen Verhältnisse, systembedingte Unterschiede können dadurch oft relativiert werden.

# Kühlung und Lüftung: Kühlfußboden und Abluftanlage.

## Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden und Abluftanlage untersucht.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

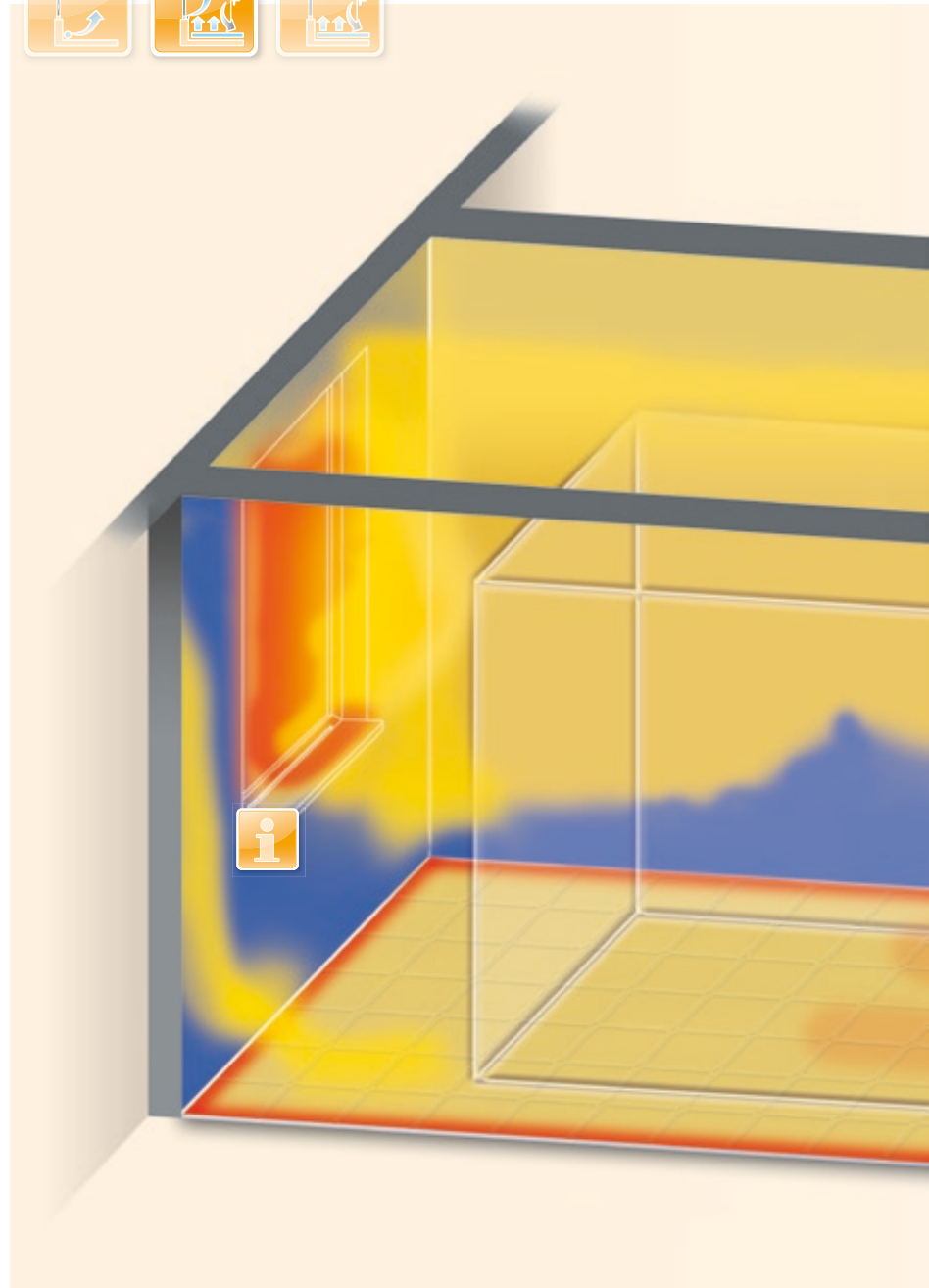
Der Luftwechsel beträgt  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , damit ist die hygienisch erforderliche Mindestlüftung berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Bereiche eingeschränkten thermischen Komforts bestehen in der oberen Raumhälfte, auch der obere Bereich der Aufenthaltszone ist von den Einschränkungen betroffen.

Diese resultieren aus Defiziten bei der vertikalen Lufttemperaturdifferenz und der globalen Klimabewertung PMV.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungsniveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse A bis B erreicht.

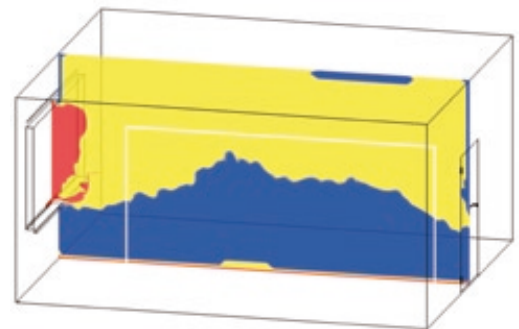
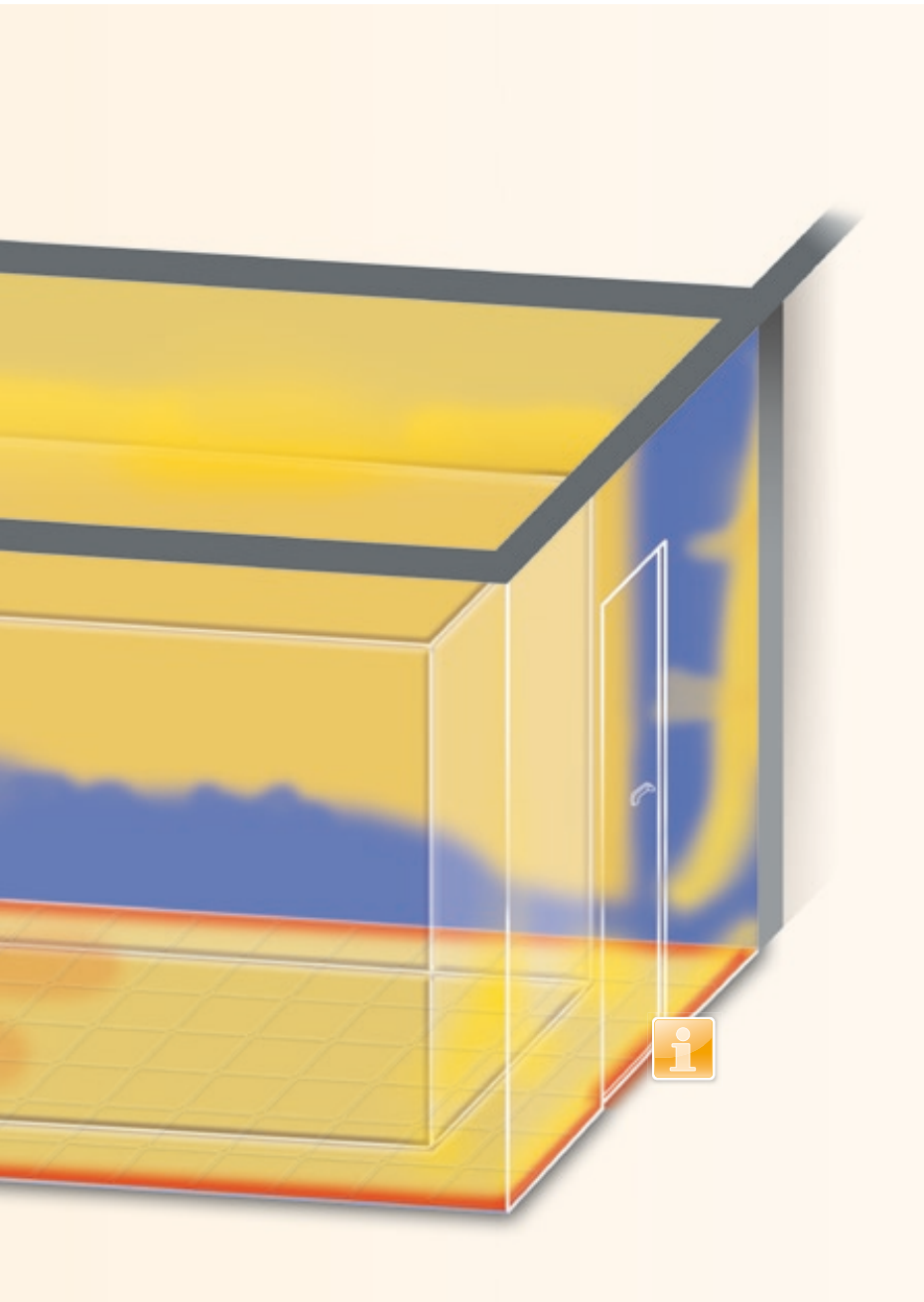
Im Kopfbereich sind Einschränkungen zu erwarten, hier wird die Kategorie B erreicht.



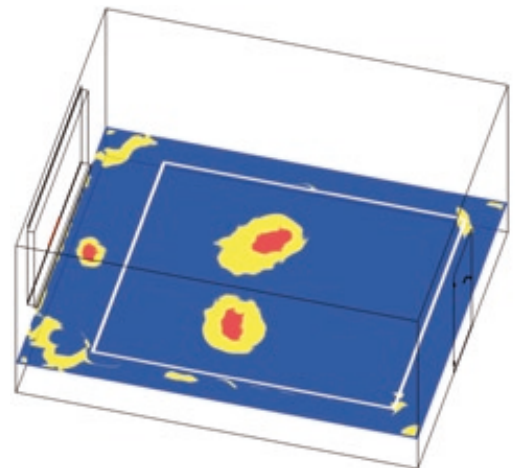
Zuluft über optimierten Fensterbank-Außenluftdurchlass

Abluft über unteren Türspalt der Innentür





Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Kombination von Kühlung und Lüftung ermöglicht einen hohen thermischen Komfort in Verbindung mit einer guten Lufthygiene im Sommer.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Die Abluftanlage erfüllt primär eine Lüftungsfunktion, zusätzliches Kühlpotenzial ist durch Nachtlüftung erschließbar.



# Kühlung und Lüftung: Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage.

## Fensterflächenanteil 30 Prozent, feste Außenverschattung.

Der Einfluss der Anlagentechnik wird für ein Niedrigenergiehaus in schwerer Bauweise mit Kühlfußboden und Zu-/Abluftanlage untersucht.

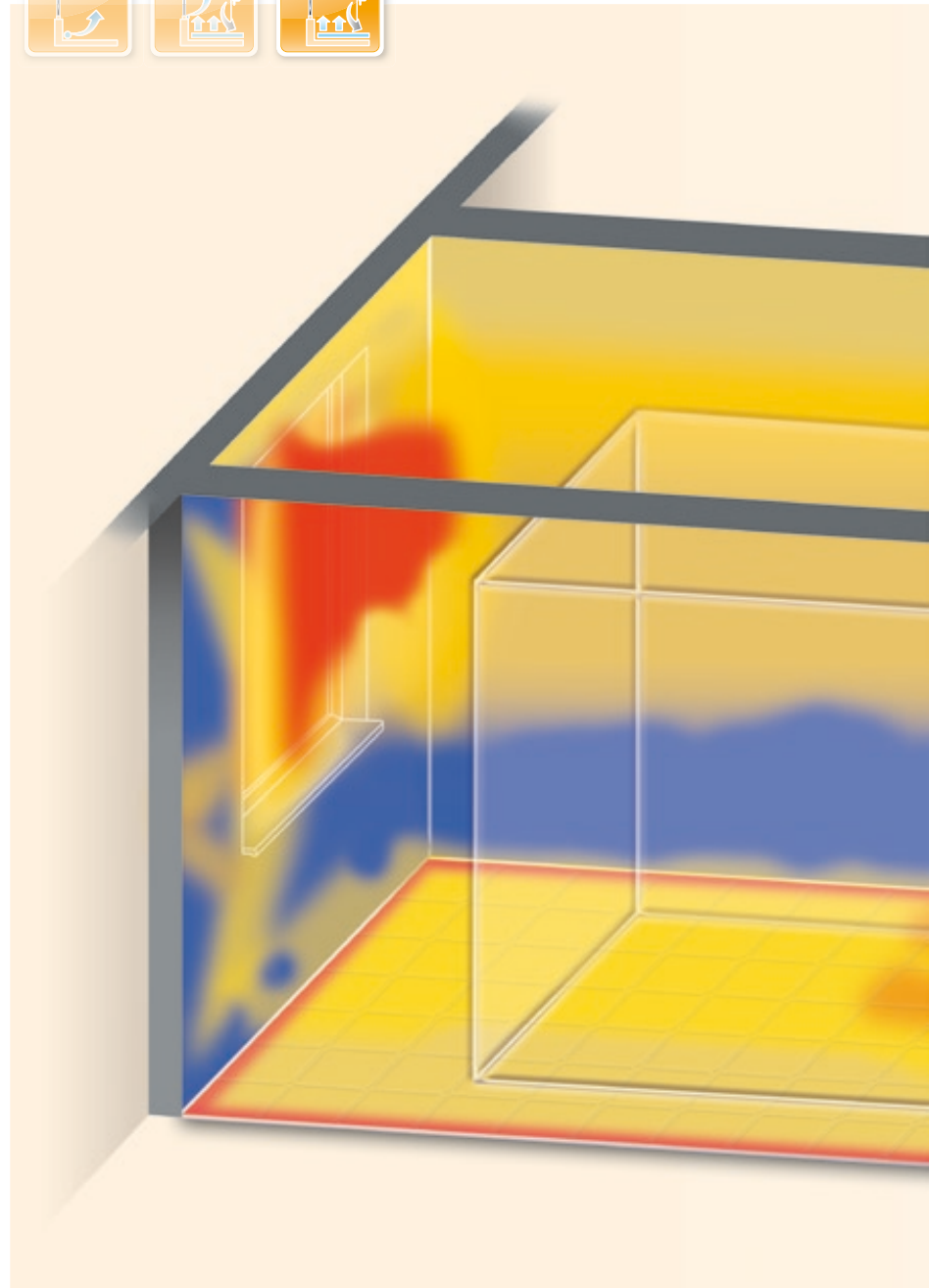
Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine feste Außenverschattung.

Der Luftwechsel beträgt  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , damit ist die hygienisch erforderliche Mindestlüftung berücksichtigt.

Die typischen inneren Kühllasten durch Personen, Beleuchtung und technische Ausstattung betragen  $25 \text{ W/m}^2$ , sie werden durch zwei zentral im Raum angeordnete Wärmequellen abgebildet. Diese Wärmequellen sind in der horizontalen Darstellung zu erkennen, haben aber für die Bewertung der summativen Behaglichkeit einen untergeordneten Einfluss.

Bereiche eingeschränkten thermischen Komforts bestehen vor allem in der oberen Raumhälfte, auch der Kopfbereich in der Aufenthaltszone ist betroffen. Defizite sind bei der vertikalen Lufttemperaturdifferenz, dem Zugluftrisiko und der globalen Klimabewertung PMV vorhanden.

Die eingeschränkte thermische Behaglichkeit unmittelbar an der gekühlten Fläche ist in der dreidimensionalen Darstellung zu erkennen.



Klasse (Kategorie)	Erwartungs- niveau
A	hoch
B	mittel
C	gemäßigt
D	ohne



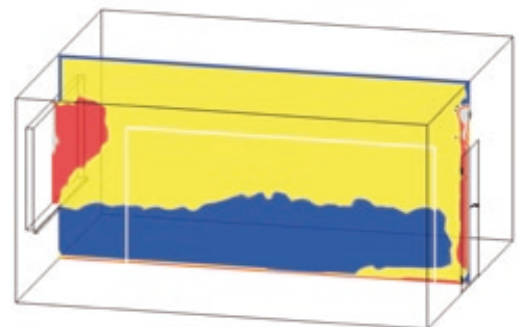
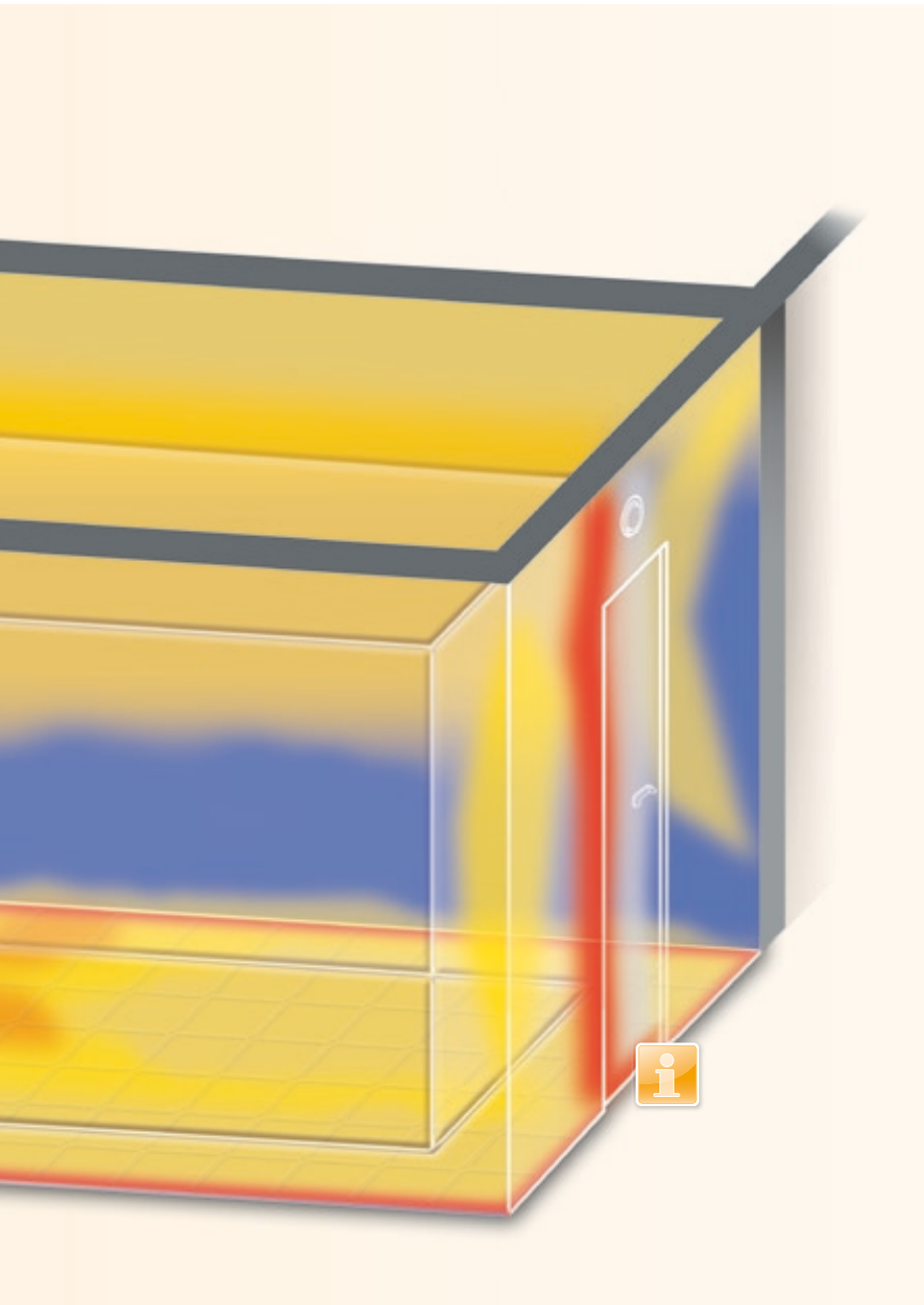
**Fazit:** Im Aufenthaltsbereich wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse B erreicht.

Im oberen Bereich der Aufenthaltszone sind Einschränkungen zu erwarten, auch hier wird die Kategorie B erreicht.

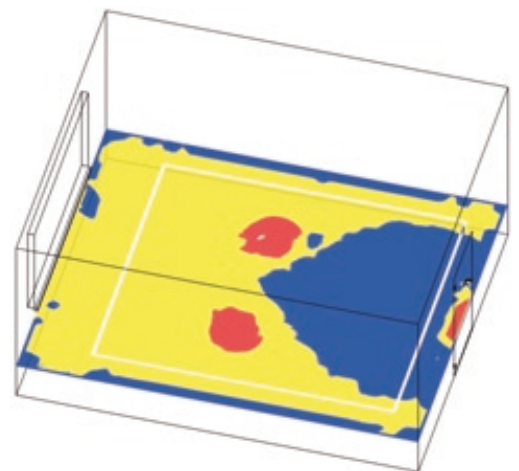


Zuluft über Teller-  
ventil über Innentür

Abluft über unteren Türspalt  
der Innentür



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**Tipp:**

- Eine Kombination von Kühlung und Lüftung ermöglicht einen hohen thermischen Komfort in Verbindung mit einer guten Lufthygiene im Sommer.
- Bei der Planung sollten unbedingt Raumgeometrie (Raumhöhe) und Raumnutzung bei der Auswahl der Kühlflächen beachtet werden.
- Die Zu-/Abluftanlage erfüllt primär eine Lüftungsfunktion, zusätzliches Kühlpotenzial ist durch einen vorgeschalteten Erdreich-Wärmeübertrager, durch Nachtlüftung oder bei aktiver Kühlung mit einer Abluft-Zuluft-Wärmepumpe erschließbar.

## 6 Zusammenfassung und Empfehlungen.

- Gegenüber dem winterlichen Heizbetrieb weist die sommerliche Kühlung wesentlich größere Differenzen zwischen unterschiedlichen Kühlvarianten im Hinblick auf die thermische Behaglichkeit auf.
- Dementsprechend müssen größere bau- und anlagentechnische Anstrengungen unternommen werden, um eine ausreichende thermische Behaglichkeit innerhalb der Aufenthaltszone erreichen zu können.
- Auch zeigt sich, dass im Gegensatz zum Heizbetrieb bestimmte globale und lokale Kriterien (zum Beispiel PMV und vertikale Lufttemperaturdifferenz) eine größere Bedeutung haben.
- In dieser Broschüre liegt der Fokus auf den Auswirkungen unterschiedlicher Kühlsysteme (insbesondere Flächenkühlung) auf die sommerliche thermische Behaglichkeit. Dessen ungeachtet sollte die Gebäudekühlung immer auch aus Sicht der Energieeffizienz optimiert werden – dabei sind neben den Verhältnissen im Raum auch die Kälteerzeugung (aktiv oder passiv) und die Kälteverteilung (Luft, Wasser oder Kältemittel) von wesentlicher Bedeutung.

### Empfehlungen:

- Von den praktisch relevanten bauseitigen Einflussgrößen
  - Wärmeschutz,
  - Bauschwere,
  - Verschattung und
  - Fensterflächenanteil
 kommt der Verschattung die mit Abstand größte Bedeutung zu. Bei einer ausreichenden Verschattung haben Wärmeschutz, Bauschwere und Fensterflächenanteil eher einen untergeordneten Einfluss.
- Grundsätzlich führen Flächen- gegenüber Luftkühlssystemen zu eindeutig günstigeren wärmephysiologischen Verhältnissen. Ein Vergleich dieser Systeme ist allerdings schwierig, da nur die Luftkühlssysteme mit der hygienisch erforderlichen Lüftung verbunden sind.
- Bei den Flächenkühlverfahren erweisen sich die strahlungsintensiven – zum Beispiel bauteilintegrierten – Ausführungen als die vorteilhafteren Anlagen gegenüber konvektiven Systemen. Die Anordnung des Systems im Raum hat nur untergeordneten Einfluss, Deckensysteme weisen tendenziell leichte Vorteile auf.
- Bei den Luftkühlverfahren gibt es zahlreiche technische und konstruktive Lösungen. Auswahl, Auslegung und Anordnung der Systemkomponenten spielen eine wichtige Rolle für die wärmephysiologischen Verhältnisse. Hier müssen systembedingte Unterschiede in der Planung beachtet werden.
- Werden Flächenkühlverfahren mit Lüftungsanlagen kombiniert, können günstige wärmephysiologische Verhältnisse und die hygienisch erforderliche Lüftung sichergestellt werden.

# Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus.

## Teil 1: Winterliche Verhältnisse. Planungsleitfaden für Architekten und Fachplaner.

Die thermische Behaglichkeit ist eine wichtige Voraussetzung für das Wohlbefinden und den Komfort. Besonders attraktiv ist die Kombination mit den Zielvorgaben kostengünstiges Bauen, optimierte Energieausnutzung und verminderter CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Neben sommerlichen Verhältnissen ist die thermische Behaglichkeit auch bei winterlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Dieser Fall wird in einem ersten, bereits erschienenen Teil eingehend beschrieben.

Mit verbessertem Wärmeschutz nimmt unter winterlichen Verhältnissen die thermische Behaglichkeit zu. Die nahezu luftdichte Ausführung des Niedrigenergiehauses erzwingt in zunehmendem Maße den Einsatz von Lüftungsanlagen. Damit wird das Zugluftrisiko oft zum entscheidenden Kriterium der thermischen Behaglichkeit. Auch für winterliche Verhältnisse werden Praxistipps für die einzelnen technischen Konzepte gegeben.

Für die maßgeblichen Raumheizsysteme Heizkörper und Flächenheizung werden Möglichkeiten zum Erreichen der thermischen Behaglichkeit unter winterlichen Verhältnissen aufgezeigt.

Dabei sind bautechnische Einflüsse wie

- Wärmeschutz und
  - Fensterflächenanteil
- sowie anlagentechnische Einflüsse wie
- Heizflächenanordnung,
  - Lüftungskonzept und
  - Luftwechsel

zu berücksichtigen.



**Der Teil 1 (60-seitige  
DIN-A4-Broschüre) steht  
als Download bereit unter:  
[www.flaechenheizung.de](http://www.flaechenheizung.de)  
[www.bdh-koeln.de](http://www.bdh-koeln.de)  
[www.zukunft-haus.info](http://www.zukunft-haus.info)**

## 7 Impressum.

### Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Chausseestraße 128 a · 10115 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 72 61 65-600 · Fax: +49 (0)30 72 61 65-699  
E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de) · Internet: [www.zukunft-haus.info](http://www.zukunft-haus.info) · [www.dena.de](http://www.dena.de)

### Mit freundlicher Unterstützung:

BDH · Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und  
Umwelttechnik e.V.  
Frankfurter Straße 720-726 · 51145 Köln  
Tel.: +49 (0)2203 9 35 93-0 · Fax: +49 (0)2203 9 35 93-22  
E-Mail: [info@bdh-koeln.de](mailto:info@bdh-koeln.de) · Internet: [www.bdh-koeln.de](http://www.bdh-koeln.de)

BVF · Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V.  
Hochstraße 113-115 · 58095 Hagen  
Tel.: +49 (0)2331 20 08 50 · Fax: +49 (0)2331 20 08 17  
E-Mail: [info@flaechenheizung.de](mailto:info@flaechenheizung.de) · Internet: [www.flaechenheizung.de](http://www.flaechenheizung.de)

**Redaktion:** Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Henning Discher, Axel Scheelhaase

**Autoren:** Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Richter, Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann, Dr.-Ing. Ralf Gritzki, Dr.-Ing. Alf Perschk, Dr.-Ing. Markus Rösler und Dipl.-Ing. Annina Abdel Fattah, Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik; Dr.-Ing. Thomas Hartmann, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – Forschung und Anwendung GmbH

**Fotos/Illustrationen:** Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik; ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden – Forschung und Anwendung GmbH

**Layout:** Werbepartner Huth GmbH, Duisburg

© 2011 Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Stand: 1. Auflage, November 2011

*Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena. Sämtliche Inhalte wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Die dena übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet die dena nicht, sofern ihr nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.*

**BDH**

Bundesindustrieverband Deutschland  
Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.



Bundesverband Flächenheizungen  
und Flächenkühlungen e.V.