



zukunft haus

Energie sparen. Wert gewinnen.

Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus.

Teil 1: Winterliche Verhältnisse

Planungsleitfaden für Architekten und Fachplaner.

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen

1	Thermische Behaglichkeit – Wissenswertes für die Bau- und Modernisierungspraxis	Seite	3
2	Thermische Behaglichkeit – Kurz gefasst	Seite	7

Einflussgrößen

A	Wärmeschutz	Seite	8
B	Heizflächenanordnung	Seite	18
C	Fensterflächenanteil	Seite	32
D	Luftwechsel	Seite	42
E	Heizsystem	Seite	52
F	Lüftungssystem	Seite	54
G	Methodische Anmerkungen	Seite	58
H	Impressum	Seite	59

Variantenübersicht

	Allgemeines Seite	Heizkörper		Flächenheizung	
		Anordnung	Seite	Anordnung	Seite
Wärmeschutzniveau	8 - 9				
Altbau			10 - 11		14 - 15
Niedrigenergiehaus			12 - 13		16 - 17
Heizflächenanordnung	18 - 19	Außenwand	20 - 21	Fußbodenheizung	26 - 27
		Innenwand	22 - 23	Wandheizung: Außen- + Seitenwand	28 - 29
		Seitenwände	24 - 25	Wandheizung: Seitenwand	30 - 31
Fensterflächenanteil	32 - 33				
30 %			34 - 35		38 - 39
100 %			36 - 37		40 - 41
Luftwechsel	42 - 43				
$n = 0 \text{ h}^{-1}$			12 - 13		16 - 17
$n = 0,25 \text{ h}^{-1}$			44 - 45		48 - 49
$n = 0,50 \text{ h}^{-1}$			46 - 47		50 - 51
Heizsystem			52 - 53		
Lüftungssystem			54 - 57		

Anmerkung: Luftwechsel n – Luftaustausch pro Stunde

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 zu erreichen, genügt es nicht, die Wärmedämmung der Räume zu verbessern. Auch beim Niedrigenergiehaus stellt sich thermische Behaglichkeit nicht von selbst ein. Damit stehen der Neubau und die Sanierung von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden vor neuen Anforderungen. Dabei handelt es sich bei Niedrigenergiehäusern um Neubauten oder sanierte Gebäude, die mindestens den Neubau-Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) entsprechen. Für besser gebaute oder sanierte Gebäude verbessern sich die dargestellten Ergebnisse.

Anspruchsvolle thermische Bedingungen lassen sich erzielen, wenn geeignete bau- und anlagentechnische Lösungen sinnvoll kombiniert werden. Generell gilt, dass Heizflächen nur in hydraulisch abgeglichenen Systemen in Verbindung mit geeigneten Regeleinrichtungen einen optimalen Beitrag zur behaglichen Raumkonditionierung leisten können.

Zwar verbessert sich die thermische Behaglichkeit mit zunehmendem Wärmeschutz des Gebäudes grundsätzlich, doch das heißt nicht, dass sie beim Niedrigenergiehaus in der Heizperiode keine besondere Beachtung mehr verdient. In der Praxis sind zahlreiche Fragen zu klären:

- Wie wirken sich unterschiedliche Heizsysteme auf die thermische Behaglichkeit aus?
- Welchen Einfluss hat die Lüftung?
- Lassen sich die Komponenten der Heiztechnik und der Lüftung beliebig im Raum anordnen und kombinieren?
- Wie problematisch sind Außenwände mit großen Fensterflächen?

Die vorliegende Broschüre soll Fachplanern, Architekten, Handwerkern und Bauherren eine Hilfestellung geben, um Bauvorhaben und Modernisierungen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit in der Heizperiode zu optimieren.

Denn negative Folgen sind zu erwarten, wenn die baulichen Lösungen und die Anlagentechnik nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. Dann empfinden die Nutzer ihre Räume z. B. als fußkalt oder zugig. Um diese unangenehme Situation zu verbessern, drehen sie die Heizung auf (durch Verstellen der Raumtemperatur-Regeleinrichtung) oder drosseln die Lüftung. Im ersten Fall vergrößern sich der Energieverbrauch und die Betriebskosten. Bei reduzierter Lüftung steigt die Konzentration von Schadstoffen in der Raumluft, verbunden mit der Gefahr der Schimmelpilzbildung und eventuell Bauschäden.

Die Broschüre enthält Praxistipps, die auf der Basis umfassender wissenschaftlicher Untersuchungen entwickelt wurden. Hier finden Sie die neuesten Informationen rund um die thermische Behaglichkeit in Gebäuden in der Heizperiode, die nach den Standards für Niedrigenergiehäuser errichtet und saniert wurden.

Der erste Teil ist für Praktiker bestimmt, die einen schnellen Überblick sowie Einbautipps suchen. Eine „Kurzfassung“ rundet dieses Angebot ab (Seite 7). Die weiteren Kapitel dienen der vertieften Information. Die wichtigsten Fälle in Bezug auf thermische Behaglichkeit sind abgebildet.

Zum Thema thermische Behaglichkeit unter sommerlichen Verhältnissen ist eine weitere Broschüre in Planung.

Bei ganzheitlichen Betrachtungsweisen ist die Einhaltung der thermischen Behaglichkeit eine ausgesprochen wichtige Voraussetzung für kostengünstiges Bauen, optimierte Energieeinsparung bzw. CO₂-Emissionsminderung und gesundes Nutzen sowie den insbesondere uneingeschränkten Komfort der Aufenthaltsräume in Wohnungen, Büros usw.

Das Raumklima wird beeinflusst durch:

- Lufttemperatur,
- Luftgeschwindigkeit,
- Luftwechsel,
- Strahlungstemperatur und
- Luftfeuchte.

Erfahrungswerte für die Empfindungstemperatur in unterschiedlich genutzten Räumen:

- Wohnraum: 20 – 22 °C
- Schlafräum: 16 – 18 °C
- Bad: 24 – 26 °C

Ein Raum wird als behaglich empfunden, wenn die Differenzen zwischen

- Wandoberflächentemperaturen und Raumlufttemperatur weniger als 4 K,
- Oberflächentemperaturen verschiedener Raumflächen (Strahlungsasymmetrie) weniger als 5 K und
- Lufttemperaturen von Fuß- bis Kopfhöhe weniger als 3 K betragen.

Raumklima und thermische Behaglichkeit

In geschlossenen Räumen gibt ein Mensch, bei üblicher körperlicher Betätigung, über 100 Watt Wärme in Form von Strahlung, Konvektion und Verdunstung an die Umgebung ab. Die meisten Menschen fühlen sich bei einer Raumtemperatur von 20 – 22 °C wohl. Mit zunehmender Lufttemperatur verringern sich die Strahlungs- und Konvektionsanteile. Bei etwa 34 °C findet eine 100 prozentige Verdunstungskühlung statt. Man schwitzt. Ist auf der anderen Seite die Raumtemperatur sehr niedrig, äußert sich das Unbehagen in zum Teil starken Frieren bis zum Zittern.

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

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 sind globale Indikatoren für die thermische Behaglichkeit, erforderlich sind weitere, spezielle Kriterien:

- Zugluftrisiko,
- Strahlungsasymmetrie,
- Vertikaler Lufttemperaturgradient im Raum sowie
- Oberflächentemperaturen der Umfassungskonstruktion.

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

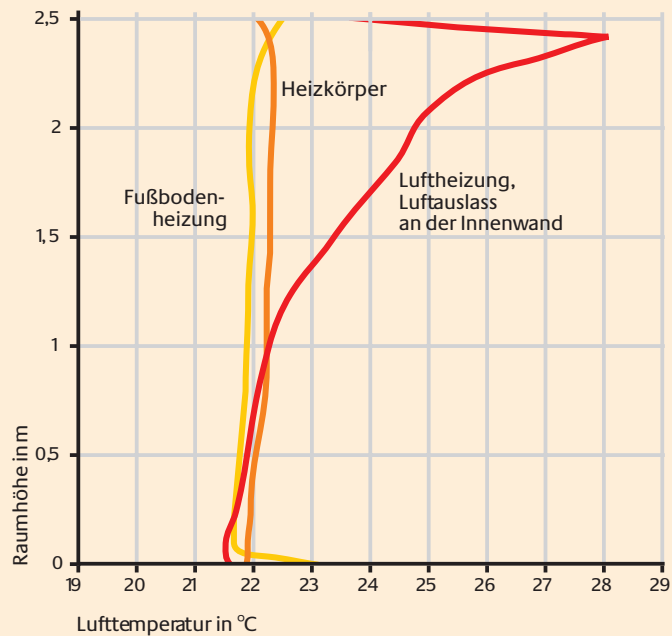
Die Berechnung der summativen thermischen Behaglichkeit sowie weitere Kriterien der thermischen Behaglichkeit werden auf Seite 58 näher erläutert.

Raumtemperaturen

Nach DIN EN ISO 7730 sind im Raum Empfindungstemperaturen von 20 bis 24 °C zulässig, wobei ein Wert von 22 °C als optimal im Sinne der thermischen Behaglichkeit gilt. Bei 20 °C und darunter können allerdings verstärkt Beeinträchtigungen im Bereich der Aufenthaltszone auftreten.

Beim Niedrigenergiehaus unterscheiden sich die vertikalen Lufttemperaturverläufe von verschiedenen Wasserheizsystemen nur geringfügig. Dadurch steigt die Behaglichkeit gegenüber älteren Gebäuden mit geringem Wärmeschutz erheblich.

Vertikaler Lufttemperaturverlauf in der Aufenthaltszone für verschiedene Heizsysteme (Niedrigenergiehaus)



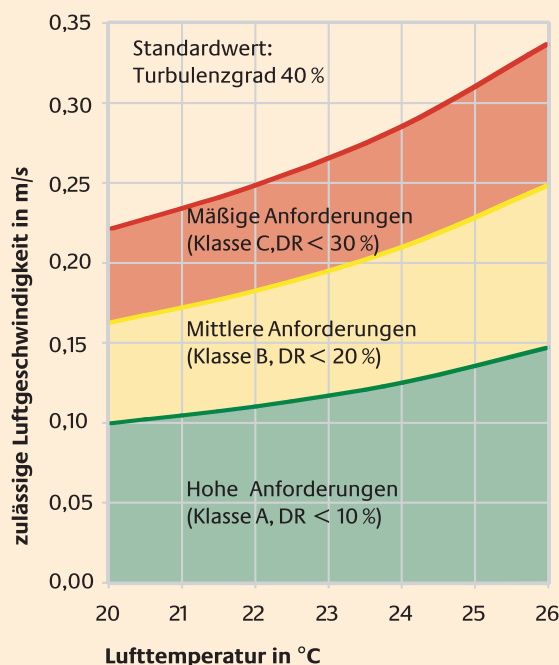
Luftgeschwindigkeit und Zugluftrisiko

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

Das Zugluftrisiko (DR) wird durch das Heizsystem (z. B. Anordnung der Heizfläche) und durch das Lüftungssystem (z. B. Einbringung der Außen- bzw. Zuluft) beeinflusst.

Unterschiede in der Behaglichkeit können sich beispielsweise zwischen Abluftanlagen (kalte Außenluft wird über Durchlässe in den Raum gesaugt) und Zu- und Abluftanlagen (vorgewärmte Zuluft gelangt durch Luftventile in den Raum) ergeben und machen optimierte konstruktive Lösungen erforderlich.

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



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



Grafiken dieser Broschüre

Anhand umfangreicher grafischer Darstellungen soll in der Broschüre verdeutlicht werden, wie die unterschiedlichen Einflussgrößen – beispielsweise das Heizsystem oder die Anordnung der Heizflächen mit Raumtemperatur-Regleinrichtung – auf die thermische Behaglichkeit wirken.

In den Darstellungen zur summativen thermischen Behaglichkeit werden vier verschiedene Kategorien A, B, C und D (in Anlehnung an DIN EN ISO 7730 und prEN 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.

Die summative thermische Behaglichkeit kann in beliebigen Ebenen im Raum dargestellt werden. Nachfolgend werden im Ergebnis von rechen-technischen Untersuchungen die kritischen Ebenen – vertikaler Schnitt in Raummitte (im Regelfall rechtwinklig zur Außenwand) und horizontaler Schnitt 0,1 m über dem Fußboden – dargestellt. Eine zusätzliche, schematisierte 3-D-Darstellung verdeutlicht die Behaglichkeitssituation im gesamten Raum.

Bei der Darstellung für andere Behaglichkeitskriterien sind die kritischen Bereiche durch rötliche Farbtöne gekennzeichnet.

Die grafische Darstellung der Behaglichkeitskriterien erfolgt für eine vertikale Ebene in Raummitte und ggf. für eine horizontale Ebene in jeweils angegebenen unterschiedlichen Höhen.

Alle Abbildungen beziehen sich – wenn nicht anders angegeben – auf einen Modellraum mit den Abmessungen von 4 x 5 x 2,5 m, mit einer Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent (Fenster 2 x 1,5 m) sowie eine (operative) Soll-Temperatur in Raummitte von 22 °C und eine Außentemperatur von minus 5 °C. Ein Bezug auf deutlich niedrigere Außentemperatur (z. B. minus 12 °C) ist nicht sinnvoll, da diese nur sehr selten länger andauernd auftreten.

Die Aufenthaltszone im Raum wird hervorgehoben. Sie umfasst den Bereich mit einem Abstand von 1,0 m zur Außenwand und von 0,5 m zu den Innenwänden sowie bis zu 2,0 m über dem Fußboden.

Die Ergebnisse sind auf ähnliche Raumverhältnisse 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 (Dt. Fassung DIN EN ISO 7730: 2005).

DIN EN 13779

Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage (Deutsche Fassung DIN EN 13779: 2005).

DIN EN 15251 (Entwurf)

Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumqualität, Licht und Lärm (Deutsche Fassung prEN 15251: 2005).

2

Thermische Behaglichkeit – Kurz gefasst



TIPP

- Nur über eine gemeinsame Betrachtung der Bau-, Anlagen- und Regelungstechnik ist eine Einschätzung der thermischen Behaglichkeit möglich.
- Mit zunehmendem Wärmeschutz nimmt die thermische Behaglichkeit zu.
- Bei üblichen Raumtemperaturen bilden die Strahlungsasymmetrie und das Zugluftrisiko die entscheidenden Behaglichkeitskriterien.
- Auf Grund der höheren inneren Oberflächentemperaturen an der Außenwand hat jedoch beim Niedrigenergiehaus die Strahlungsasymmetrie nur noch eine untergeordnete Bedeutung. Diese Feststellung gilt auch bei Räumen mit
 - mehreren Außenwänden,
 - erhöhtem Fensterflächenanteil.
- Die nahezu luftdichte Ausführung des Niedrigenergiehauses erzwingt in zunehmendem Maße den Einsatz von Lüftungsanlagen. Damit wird das Zugluftrisiko zum entscheidenden Kriterium der thermischen Behaglichkeit.
- Im Außenwandbereich einströmende kalte Außenluft muss möglichst rasch und noch außerhalb der Aufenthaltszone aufgeheizt werden:
 - Der Heizkörper sollte stets unter dem Fenster angeordnet werden.
 - Flächenheizungen sollten als Fußboden- und/oder Wandheizungen ausgeführt werden.
- Für freie Lüftung nach dem Querlüftungsprinzip und für Abluftanlagen sollten so genannte optimierte Außenwand-Luftdurchlässe, günstigenfalls in Kombination mit der Heizfläche, zum Einsatz kommen.
- Bei Zu- und Abluftanlagen ergeben sich durch Weitwurfdüsen oder die Anordnung des Zuluftdurchlasses im Bereich der Außenwand günstige Verhältnisse.

A

Der Einfluss des Wärmeschutzes

Der bauliche Wärmeschutz hat einen großen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Jedoch lässt sich diese nicht exakt aus dem jeweiligen Wärmeschutzniveau oder Energiestandard des Gebäudes ableiten. Deshalb werden hier sehr grob zwei exemplarische Wärmeschutzstandards unterschieden.

Altbau:

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

Niedrigenergiehaus (NEH):

Gebäude, die nach EnEV erbaut oder vergleichbar saniert wurden. Die Aussagen gelten tendenziell auch für Gebäude nach der WSchVO 95. Für Neubauten oder sanierte Bestandsgebäude, die die Mindestanforderungen der EnEV an Neubauten übertreffen (z. B. KfW-40- oder KfW-60-Häuser) bzw. Sanierungsstandards EnEV minus 30 % oder minus 50 %, verbessern sich die Ergebnisse.

Der Wärmeschutz hat einen entscheidenden Einfluss auf die **Strahlungsasymmetrie**. Bei schlecht gedämmten Altbauten ergeben sich kritische Werte. Deutlich günstiger stellen sich die Verhältnisse im Niedrigenergiehaus dar. Hier führen höhere innere Oberflächentemperaturen von Außenwand und Fenster, verbunden mit einer niedrigen Temperatur der Heizfläche, dazu, dass im Allgemeinen keine Probleme mit der Strahlungsasymmetrie auftreten. Diese Aussage, die durch die nebenstehenden Abbildungen illustriert ist, gilt unabhängig vom eingesetzten Heizsystem.

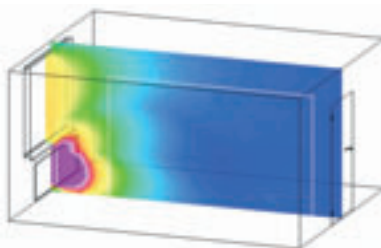
Maximale Strahlungsasymmetrie



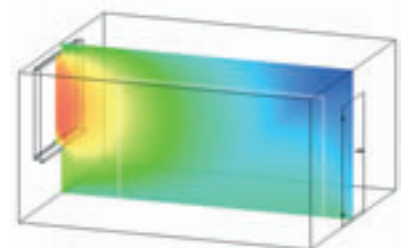
Unkritischer angenehmer Bereich



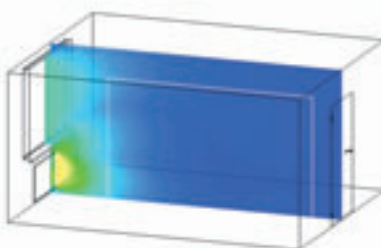
Kritischer Bereich



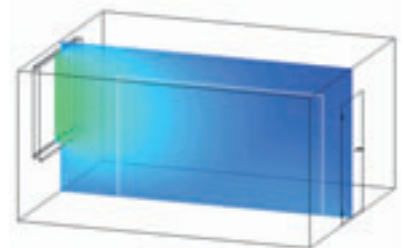
Altbau, Heizkörper



Altbau, Fußbodenheizung



Niedrigenergiehaus, Heizkörper



Niedrigenergiehaus, Fußbodenheizung

In Räumen mit Fensterlüftung kann man in Niedrigenergiehäusern bei geschlossenem Fenster auf Grund deren nahezu fugendichter Konstruktion von einem vernachlässigbaren Luftwechsel ausgehen. Damit begrenzt sich das **Zugluftrisiko** auf die – durch die kühleren Fensterflächen verursachte – Fallströmung der Raumluft.

Platziert man die Heizkörper mit Raumtemperatur-Regleinrichtung unter dem Fenster, sinkt das Zugluftrisiko deutlich. In der Aufenthaltszone tritt sowohl im Niedrigenergiehaus als auch im Altbau störende Zugluft nicht mehr auf.

Bei Räumen mit einer Flächenheizung entsteht in Altbauten mit geringem Wärmeschutz eine nicht unerhebliche Zugluft. Bei verbessertem Wärmeschutz (sanierte bzw. teilsanierte Gebäude oder neu errichtete Niedrigenergiehäuser) hingegen sind die Zugluftprobleme beim Einsatz von Flächenheizungen beherrschbar.

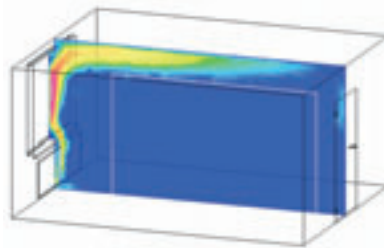
Zugluftrisiko



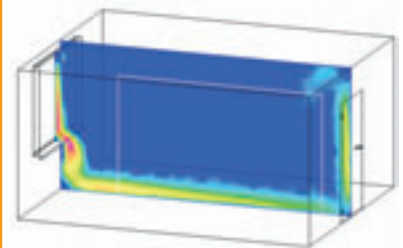
Unkritischer angenehmer Bereich



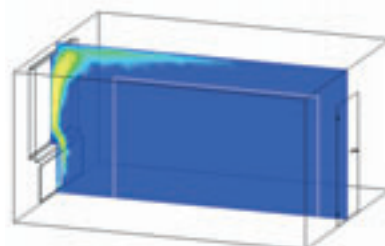
Kritischer Bereich



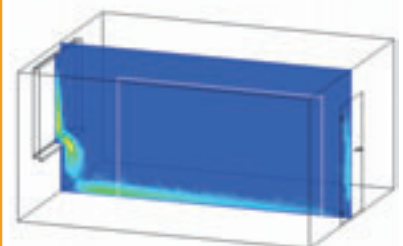
Altbau, Heizkörper



Altbau, Fußbodenheizung



Niedrigenergiehaus, Heizkörper



Niedrigenergiehaus, Fußbodenheizung

Altbau: Heizkörper

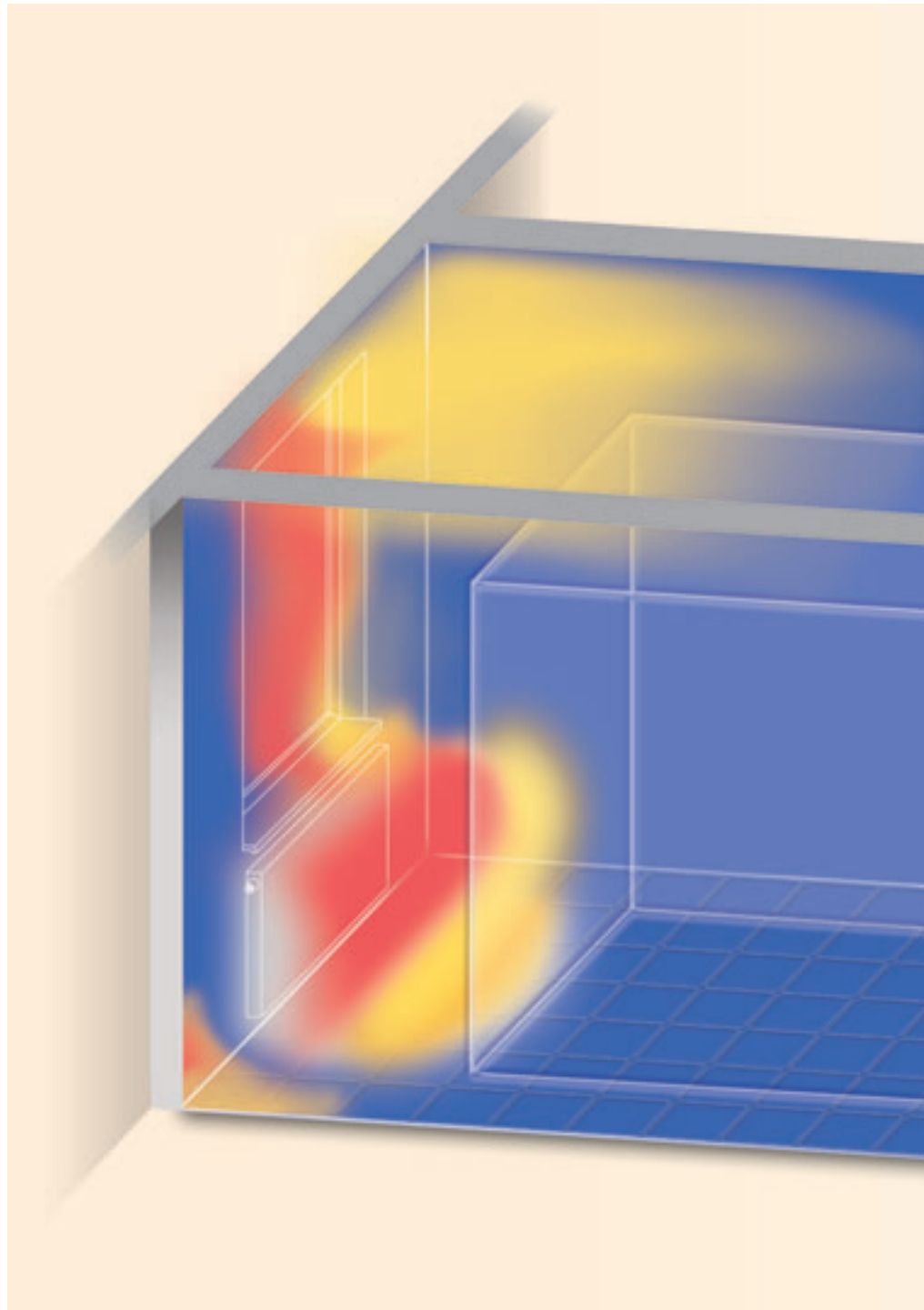
(ohne Luftwechsel)

Der Einfluss des Wärmeschutzniveaus wird in Altbauten mit Heizkörper und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und einem unter dem Fenster montierten Heizkörper in Fensterbreite.

Am Fenster entstehen kalte Luftströme, die vom Heizkörper unterhalb des Fensters kompensiert und vor Erreichen der Aufenthaltszone erwärmt werden.

Das geringfügige Zugluftisiko rechts und links neben dem Heizkörper an den Außenwänden liegt weit außerhalb der Aufenthaltszone und hat keinerlei Einfluss auf die thermische Behaglichkeit innerhalb der Aufenthaltszone (siehe horizontale Ebene).



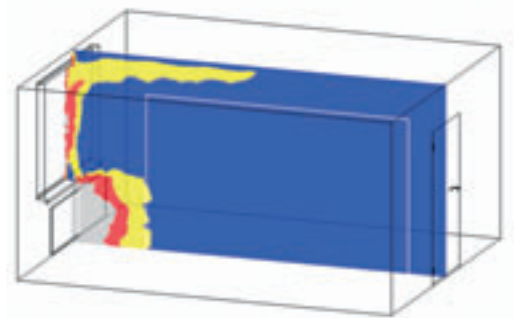
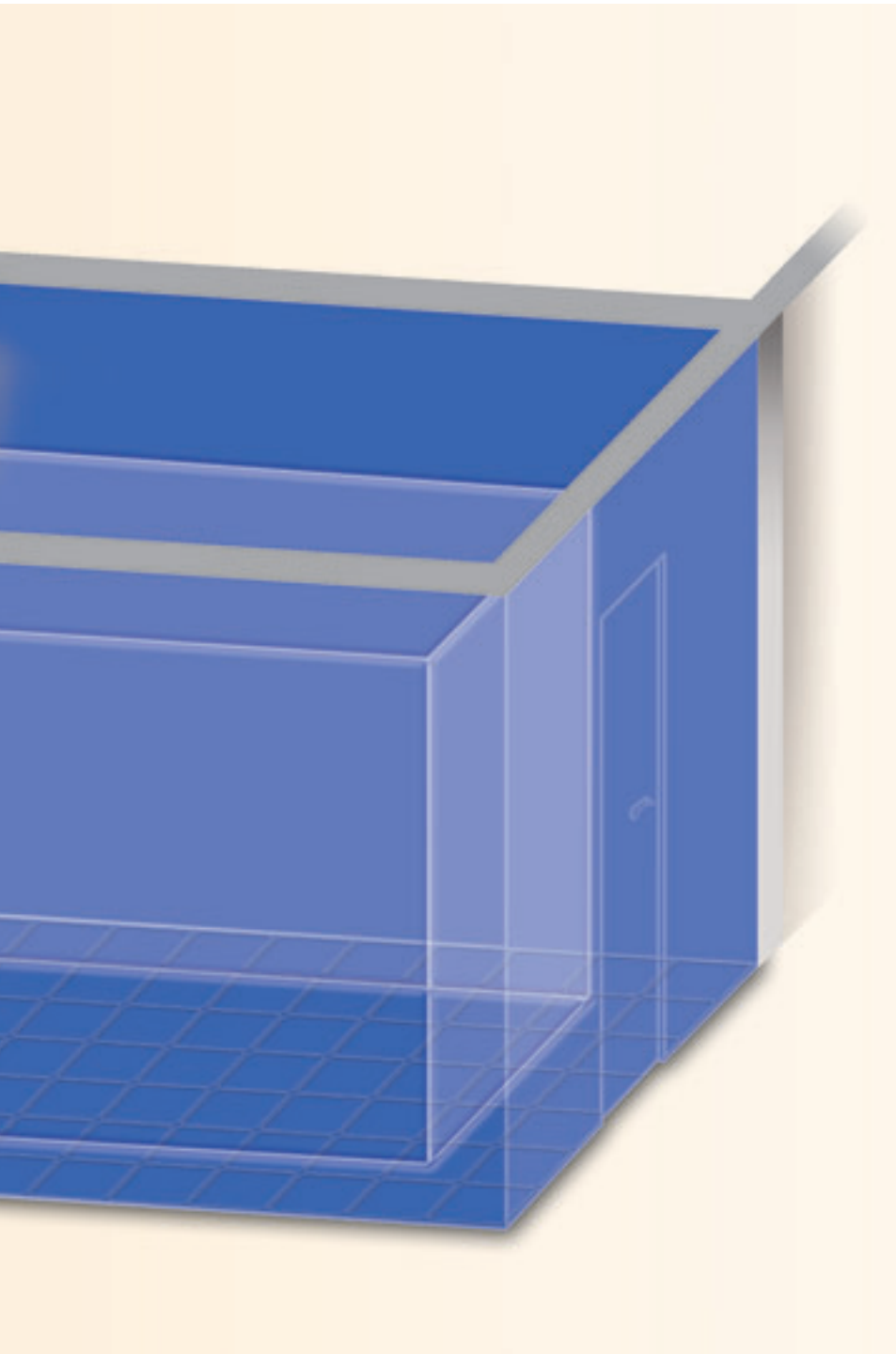
summativ thermische Behaglichkeit

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

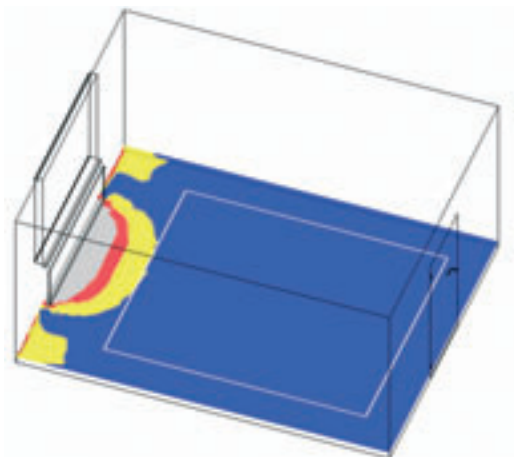


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Außenwandbereich gibt es kleinere Defizite und es wird dort die Klasse B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Alte Heizkörper durch schnell regelnde, neue Heizkörper ersetzen.
- Position des Heizkörpers unter dem Fenster beibehalten – Heizkörperlänge sollte mindestens so breit wie das Fenster gewählt werden.

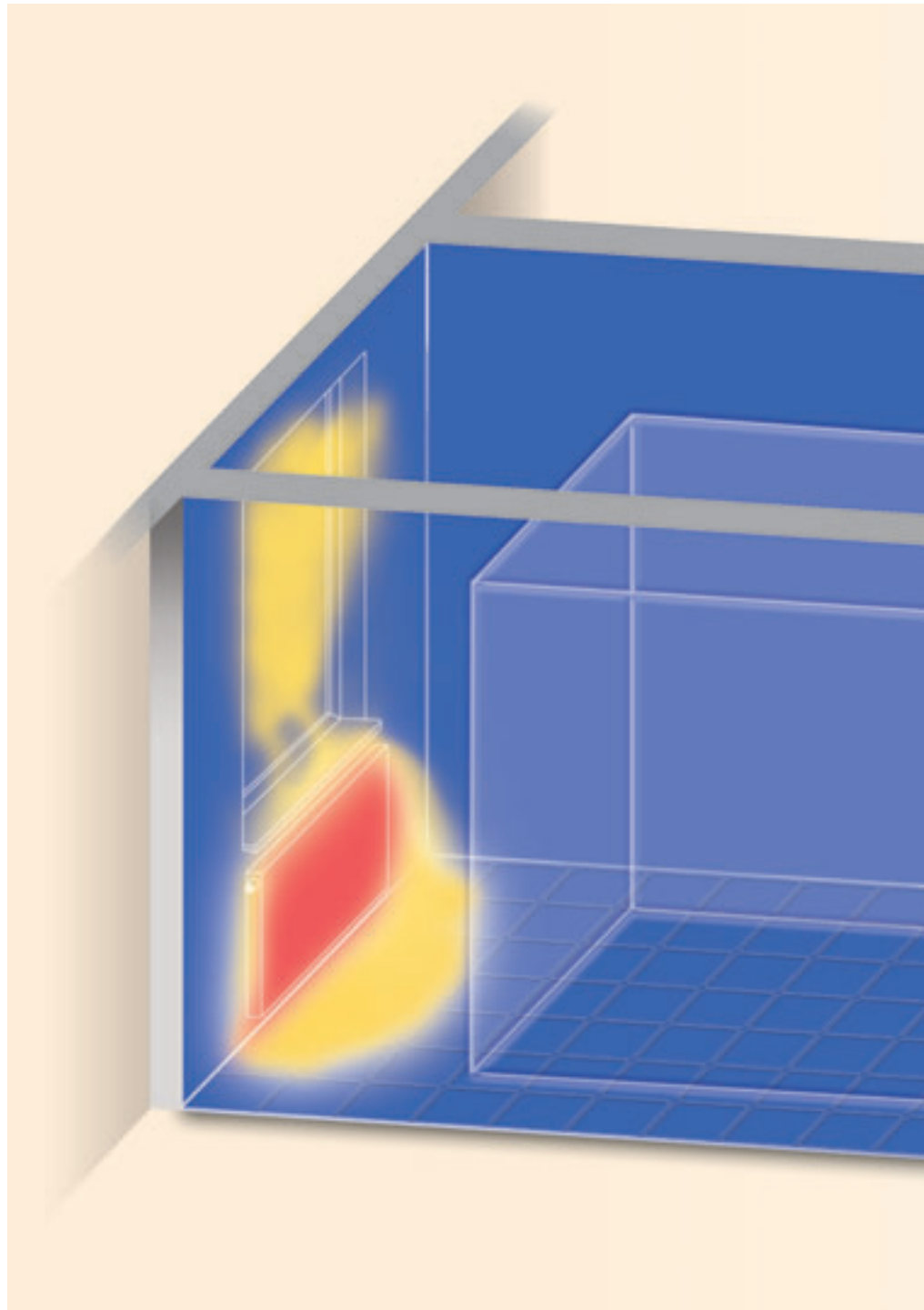
Niedrigenergiehaus: Heizkörper

(ohne Luftwechsel)

Der Einfluss des Wärmeschutzniveaus im NEH wird mit Heizkörper und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt.

Niedrigenergiehäuser sind gemäß EnEV errichtete Neubauten oder vergleichbar sanierte Gebäude. Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und einem unter dem Fenster montierten Heizkörper in Fensterbreite.

Im Vergleich zum Altbau wird im Niedrigenergiehaus unter anderem durch optimierte Wärmeschutzverglasung das Risiko zur Entstehung kalter Luftströme verringert. Entsprechend ergibt sich kein Zugluftisiko. Die kalte Luft wird vom Heizkörper weit vor Erreichen der Aufenthaltszone erwärmt. Daher können in den meisten Fällen niedrigere Systemtemperaturen der Heizungsanlage geplant werden.



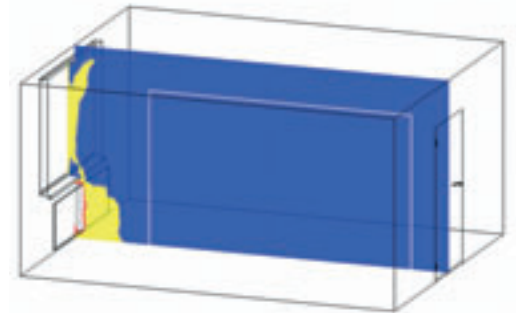
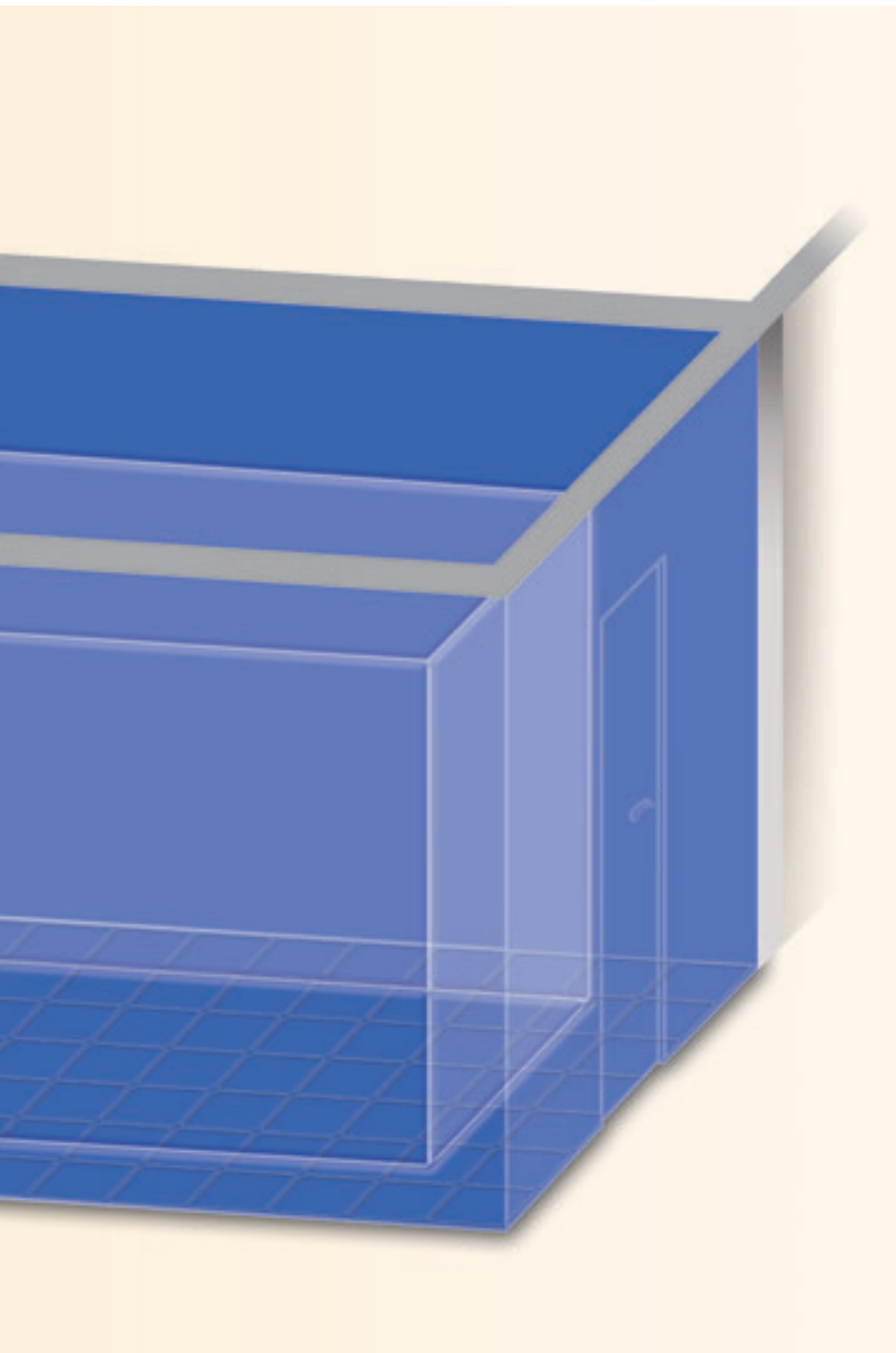
summativ thermische Behaglichkeit

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

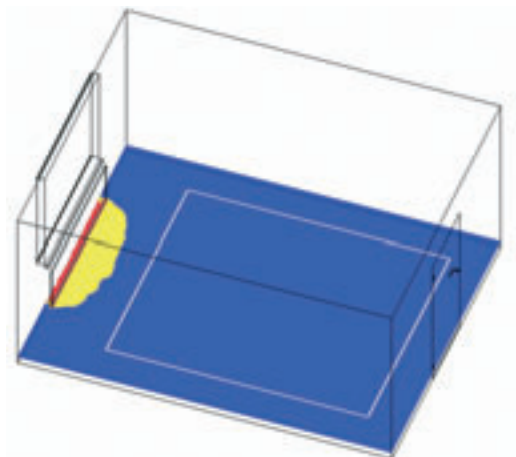


FAZIT

In der Aufenthaltszone und darüber hinaus wird die Behaglichkeitsklasse A erreicht. In unmittelbarer Nähe des Heizkörpers bzw. des Fensters treten kleinere Behaglichkeitsdefizite auf. In und über die Aufenthaltszone hinaus erwartet den Nutzer ein Höchstmaß an Behaglichkeit.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Heizkörper unter dem Fenster positionieren, um Zugluftrisiko auch im NEH zu vermeiden.
- Heizkörperlänge sollte mindestens so breit wie das Fenster gewählt werden.
- Möglichkeiten zur Absenkung der Systemtemperatur aus Sicht einer möglichen Energie- und Kostenersparnis in jedem Fall prüfen.

Altbau: Fußbodenheizung

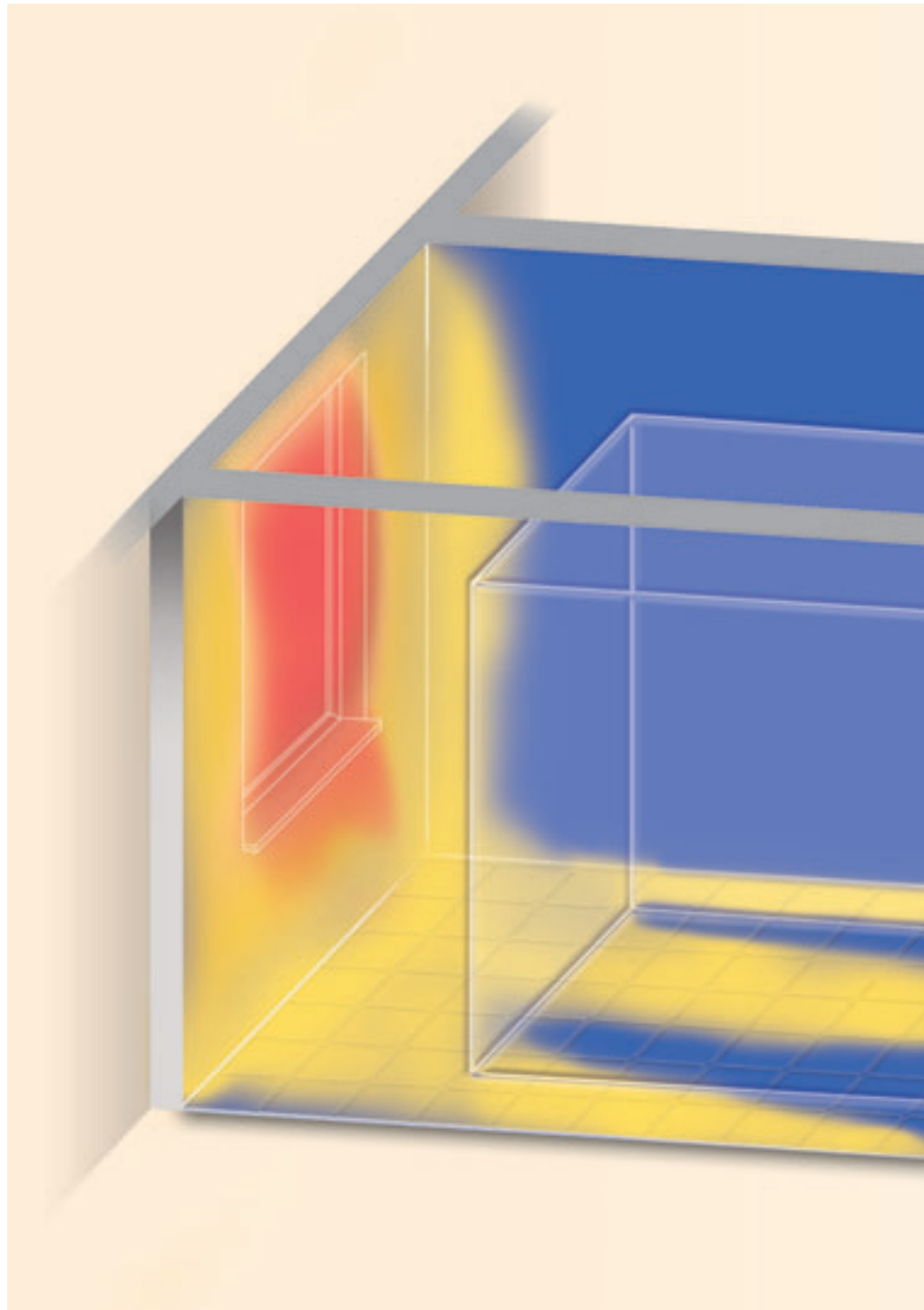
(ohne Luftwechsel)

Der Einfluss des Wärmeschutzniveaus wird in Altbauten mit Fußbodenheizung und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine Fußbodenheizung ohne Randzone.

Am Fenster entstehen kalte Luftströme, die von der Fußbodenheizung nicht vollständig kompensiert werden können und deshalb im Bereich des Fußbodens bis in die Aufenthaltszone gelangen.

Die thermische Behaglichkeit ist unmittelbar am Fußboden (Knöchelbereich) auch innerhalb der Aufenthaltszone beeinträchtigt. Oberhalb des Knöchelbereichs gibt es kein Zugluftisiko und damit keine Einschränkung der thermischen Behaglichkeit.



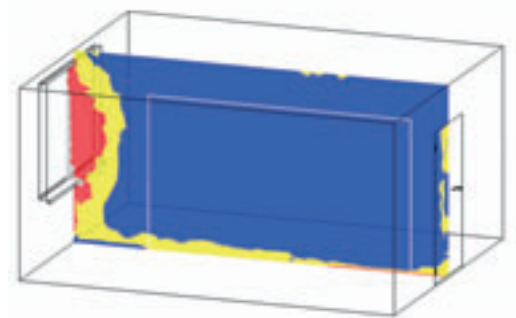
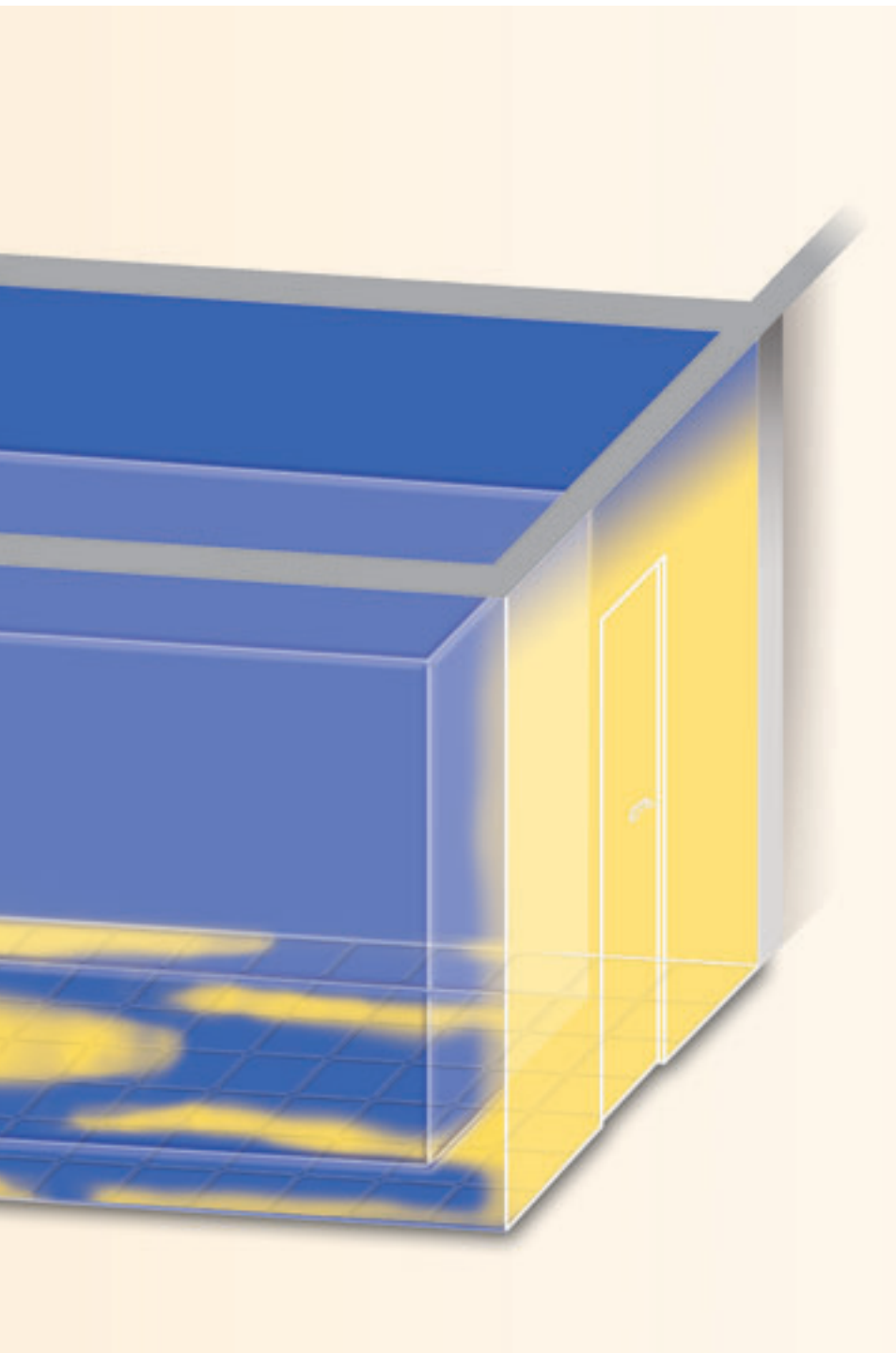
summativ thermische Behaglichkeit

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

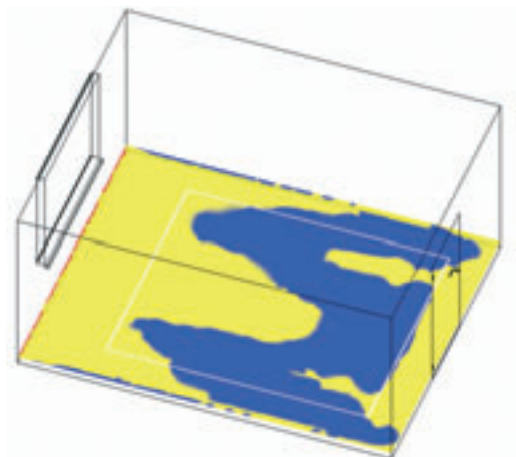


FAZIT

In der Aufenthaltszone kommt es im Bereich unmittelbar über dem Fußboden zu eingeschränkter Behaglichkeit (Klasse B). In der übrigen Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein behagliches Raumklima. Im Fensterbereich kann es zu größeren Defiziten kommen (Klasse C).



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Durch Sanierungen im Altbau Wärmeschutz und Dichtheit verbessern.
- Randzone ausbilden, um bedingte Verbesserung der thermischen Behaglichkeit zu erreichen.

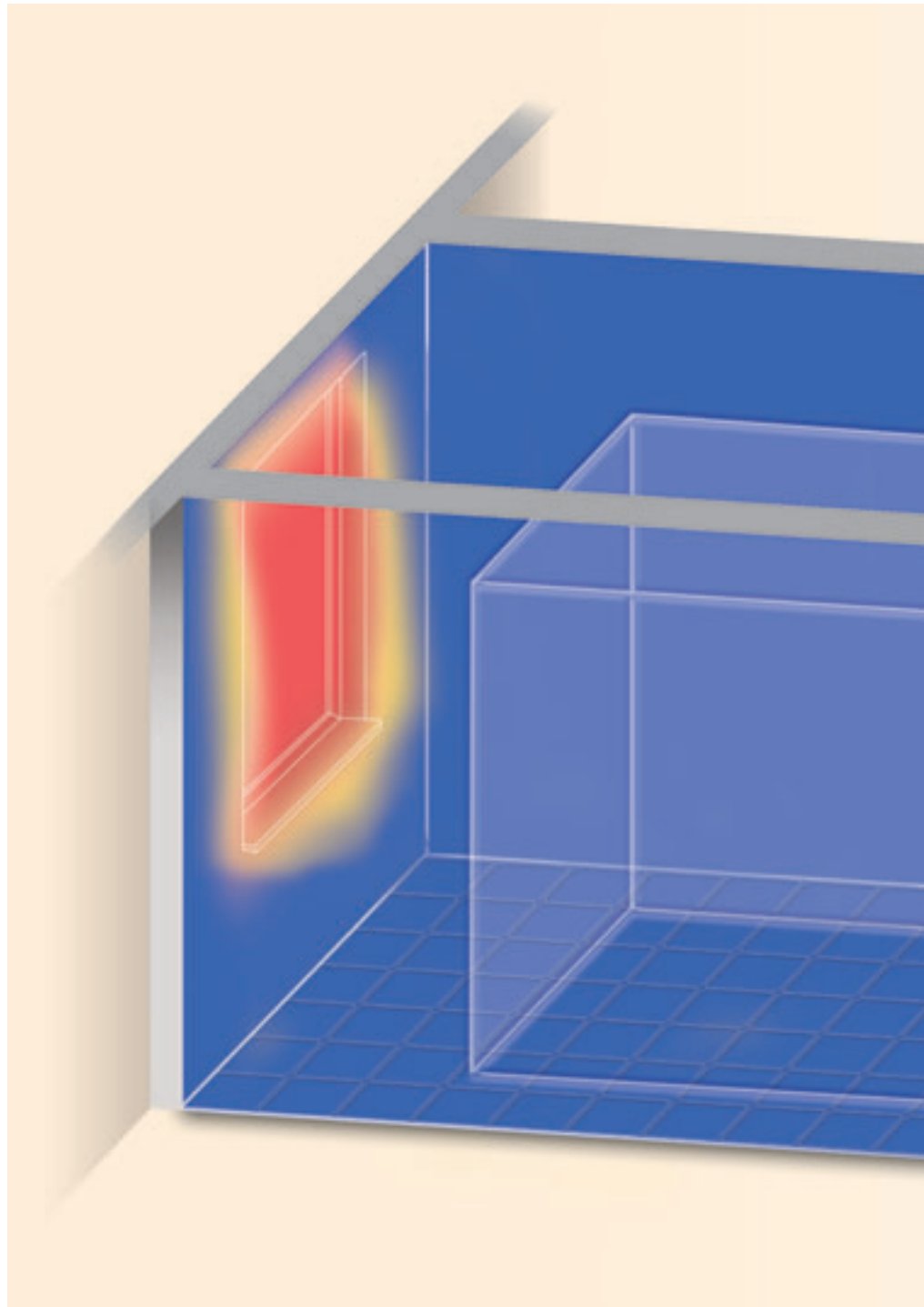
Niedrigenergiehaus: Fußbodenheizung

(ohne Luftwechsel)

Der Einfluss des Wärmeschutzniveaus im NEH wird mit Fußbodenheizung und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt.

Der untersuchte Raum hat eine Außenwand mit einem Fensterflächenanteil von 30 Prozent und eine Fußbodenheizung ohne Randzone.

Im Vergleich zum Altbau wird im Niedrigenergiehaus durch verbesserten Wärmeschutz (u. a. optimierte Wärmeschutzverglasung) das Risiko zur Entstehung kalter Luftströme verringert. Entsprechend ergibt sich gegenüber dem Altbau eine maßgeblich verbesserte thermische Behaglichkeit. Die kalte Luft wird von der Fußbodenheizung unmittelbar am Fenster und weit außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt.



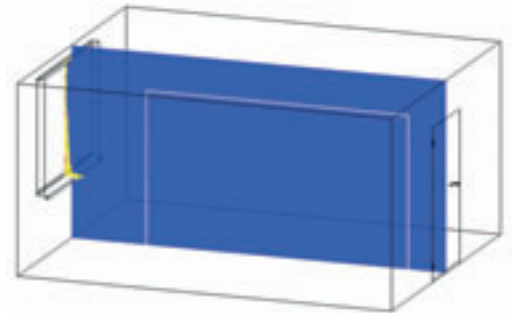
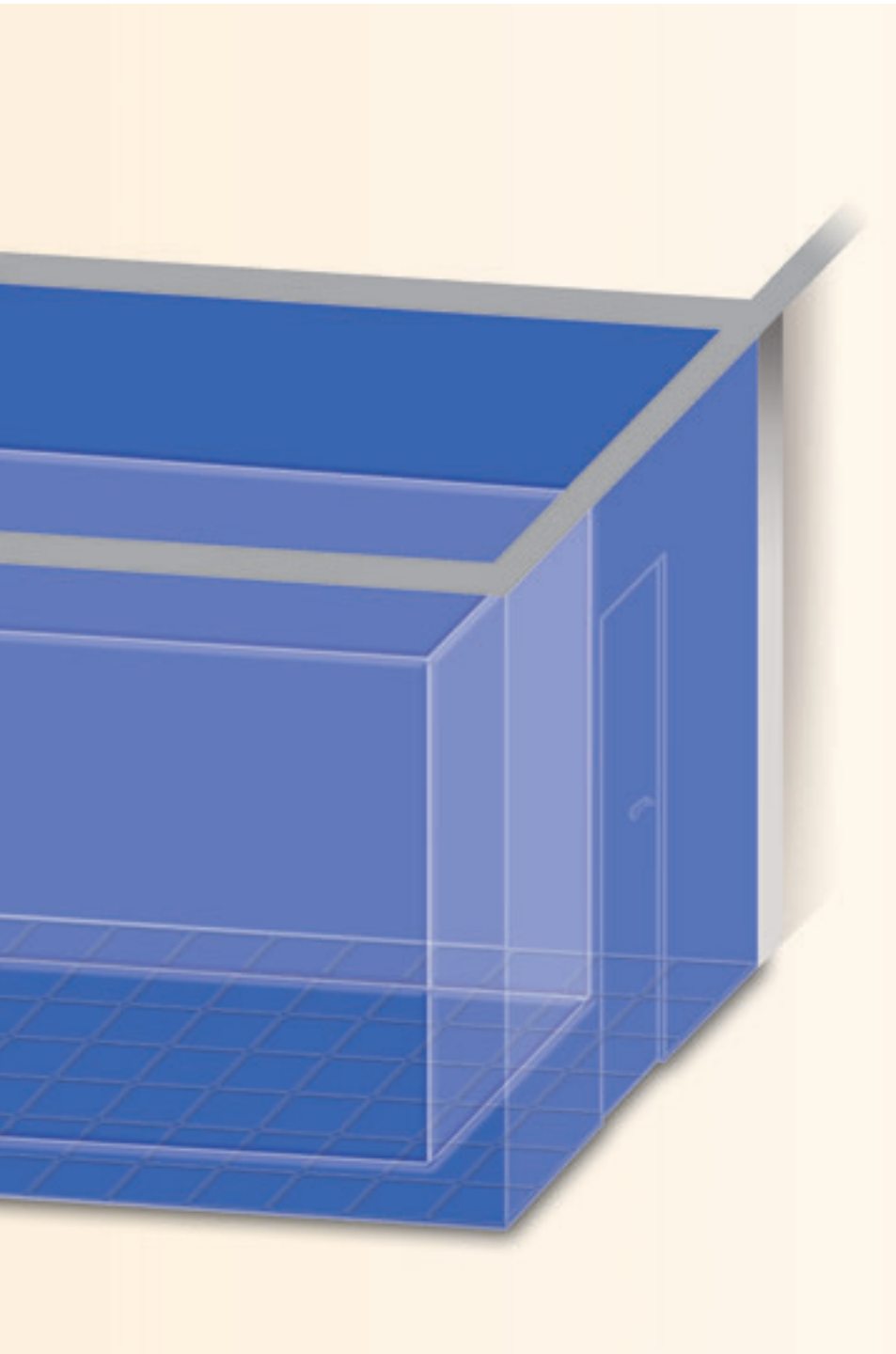
summative thermische Behaglichkeit

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

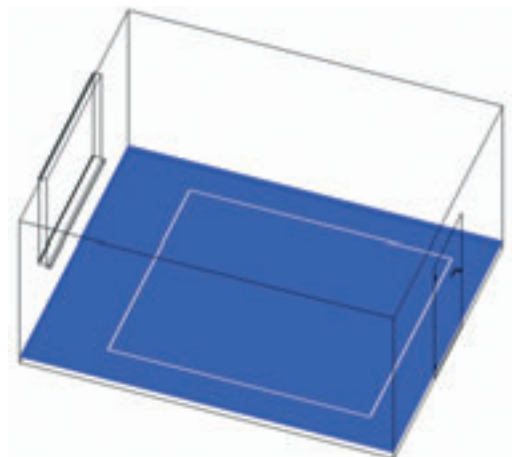


FAZIT

In der Aufenthaltszone und praktisch im gesamten Raum wird die Behaglichkeitsklasse A erreicht. In unmittelbarer Nähe des Fensters treten kleinere Behaglichkeitsdefizite auf. In und über die Aufenthaltszone hinaus erwartet den Nutzer ein Höchstmaß an Behaglichkeit.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Randzone aus Sicht der thermischen Behaglichkeit nicht erforderlich.
- Möglichkeiten zur Absenkung der Systemtemperatur aus Sicht einer möglichen Energie- und Kostenersparnis in jedem Fall prüfen.

B

Der Einfluss der Heizflächenanordnung

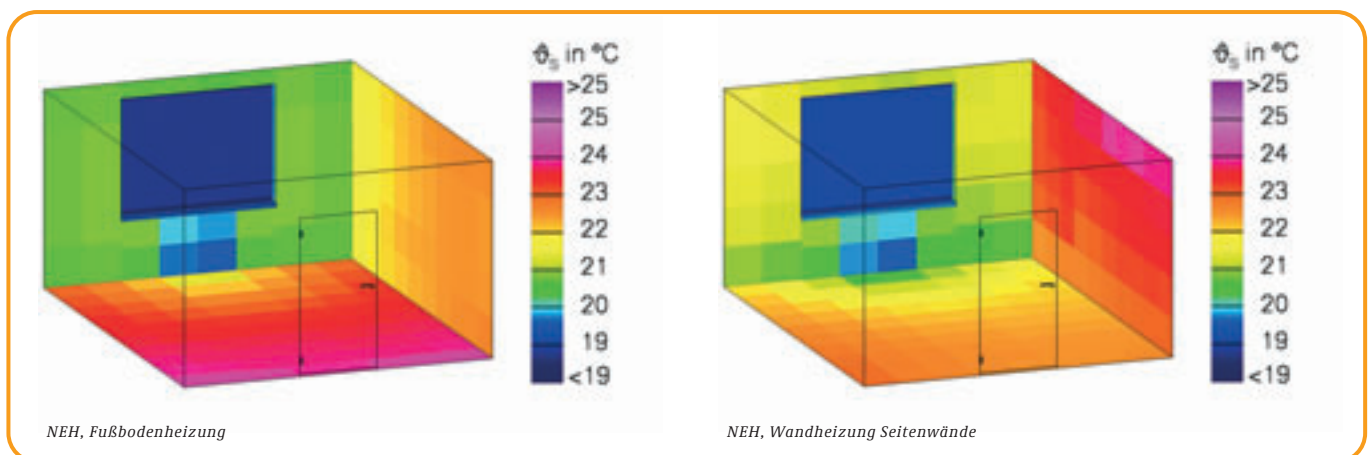
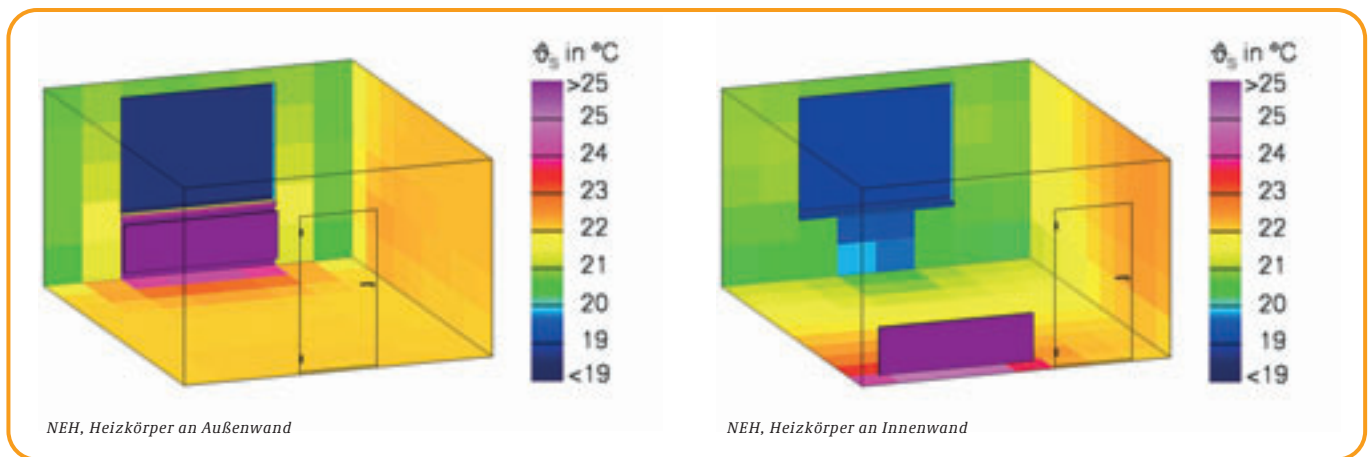
Die bislang übliche Anordnung der Heizflächen (Heizkörper unter dem Fenster oder Fußbodenheizung) war in erster Linie durch die Kompensation unangenehmer Strahlungsverhältnisse und kalter Fallströmungen im Fensterbereich begründet.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass diese Notwendigkeit bei Niedrigenergiehäusern nicht mehr besteht, da dort deutlich höhere **Oberflächentemperaturen** an den Innenseiten der Außenwand bzw. des Fensters bestehen. Die abgebildeten Oberflächentemperaturen vermitteln – unter Annahme eines Luftwechsels von 0,25 pro Stunde im Raum – einen Eindruck von den jeweiligen thermischen Verhältnissen.

Von Bedeutung für die Entscheidung über die Anordnung des Heizkörpers sind in Abhängigkeit vom Anwendungsfall die Strahlungsasymmetrie und insbesondere das Zugluftrisiko.

Erkennbar sind die weitgehend ähnlichen Temperaturen im kritischen Fenster- und Außenwandbereich bei verschiedenen Anordnungen der Heizflächen. Nicht dargestellt ist die Wandheizung an der Außenwand, die zu höheren Oberflächentemperaturen der Außenwand – aber nicht des Fensters – führt und damit Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit im Raum hat.

Oberflächentemperaturen verschiedener Raumschließungsflächen im NEH



Maximale Strahlungsasymmetrie



Unkritischer angenehmer Bereich

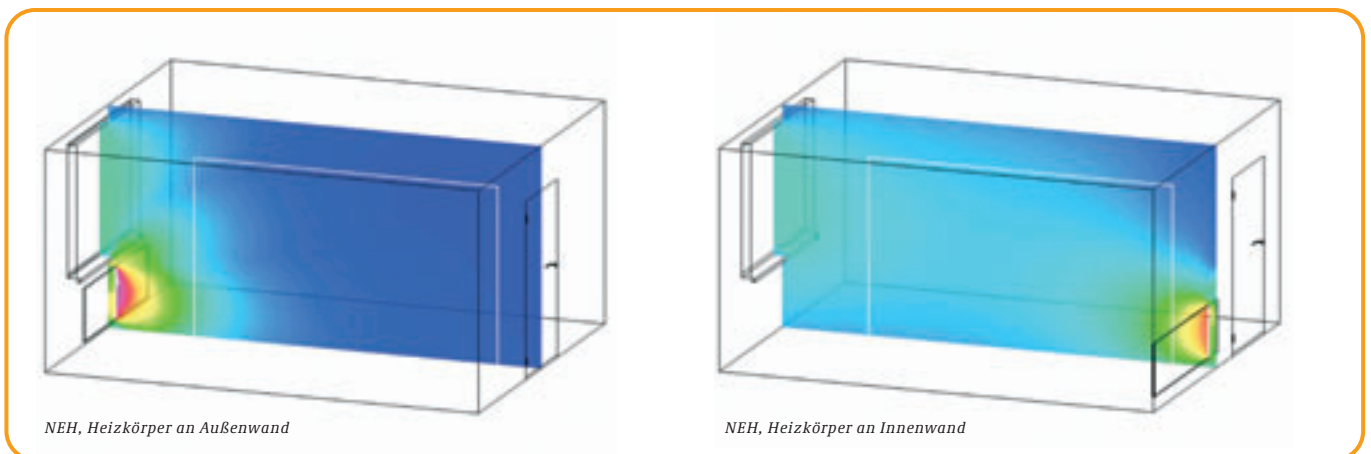


Kritischer Bereich

Hinsichtlich der **Strahlungsasymmetrie** zeigt sich bei Annahme durchschnittlicher winterlicher Verhältnisse (Außentemperatur minus 5 °C) ein vernachlässigbarer Einfluss der Heizflächenanordnung. Geht man demgegenüber von einer deutlich niedrigeren Außentemperatur (z. B. minus 12 °C) aus, wird empfohlen, den Heizkörper an der Außenwand unter dem Fenster anzuordnen. Hinsichtlich der Anordnung der Flächenheizungen resultieren hingegen auch bei sehr niedrigen Außentemperaturen aus der Strahlungsasymmetrie keine speziellen Anforderungen.

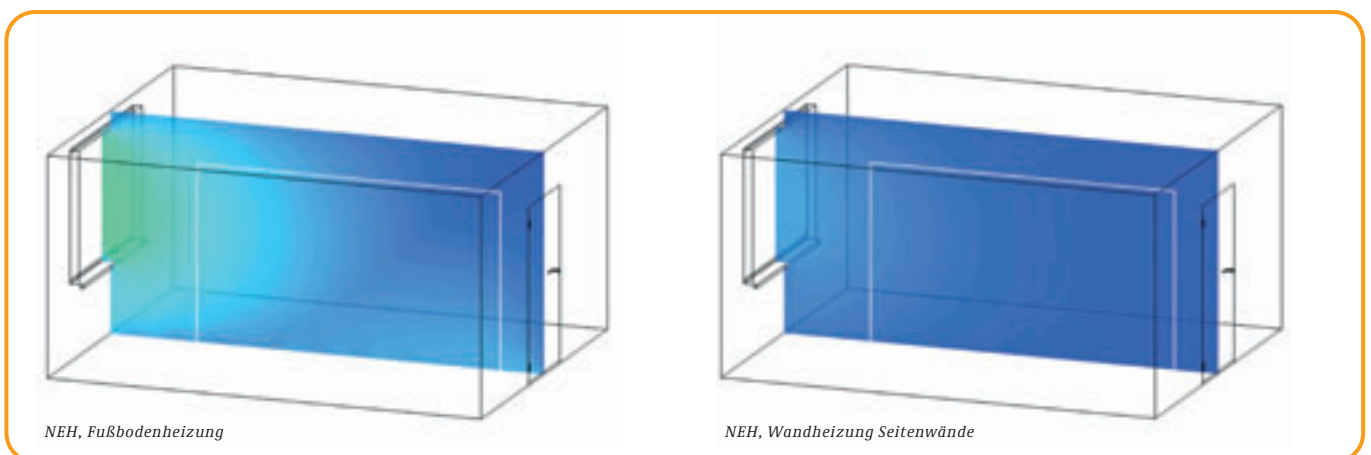
Bei der Anordnung der Heizflächen an Seiten- oder Innenwänden muss die Strahlungsasymmetrie sowohl in Fensternähe als auch zusätzlich im Bereich der Heizfläche selbst überprüft werden. In den untersuchten Varianten zeigt sich auch dabei der geringe Einfluss der Strahlungsasymmetrie. Maßgeblich für die Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Heizflächenanordnung ist insbesondere bei Einsatz von Außenwand-Luftdurchlässen das **Zugluftisiko**, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Maximale Strahlungsasymmetrie



NEH, Heizkörper an Außenwand

NEH, Heizkörper an Innenwand



NEH, Fußbodenheizung

NEH, Wandheizung Seitenwände

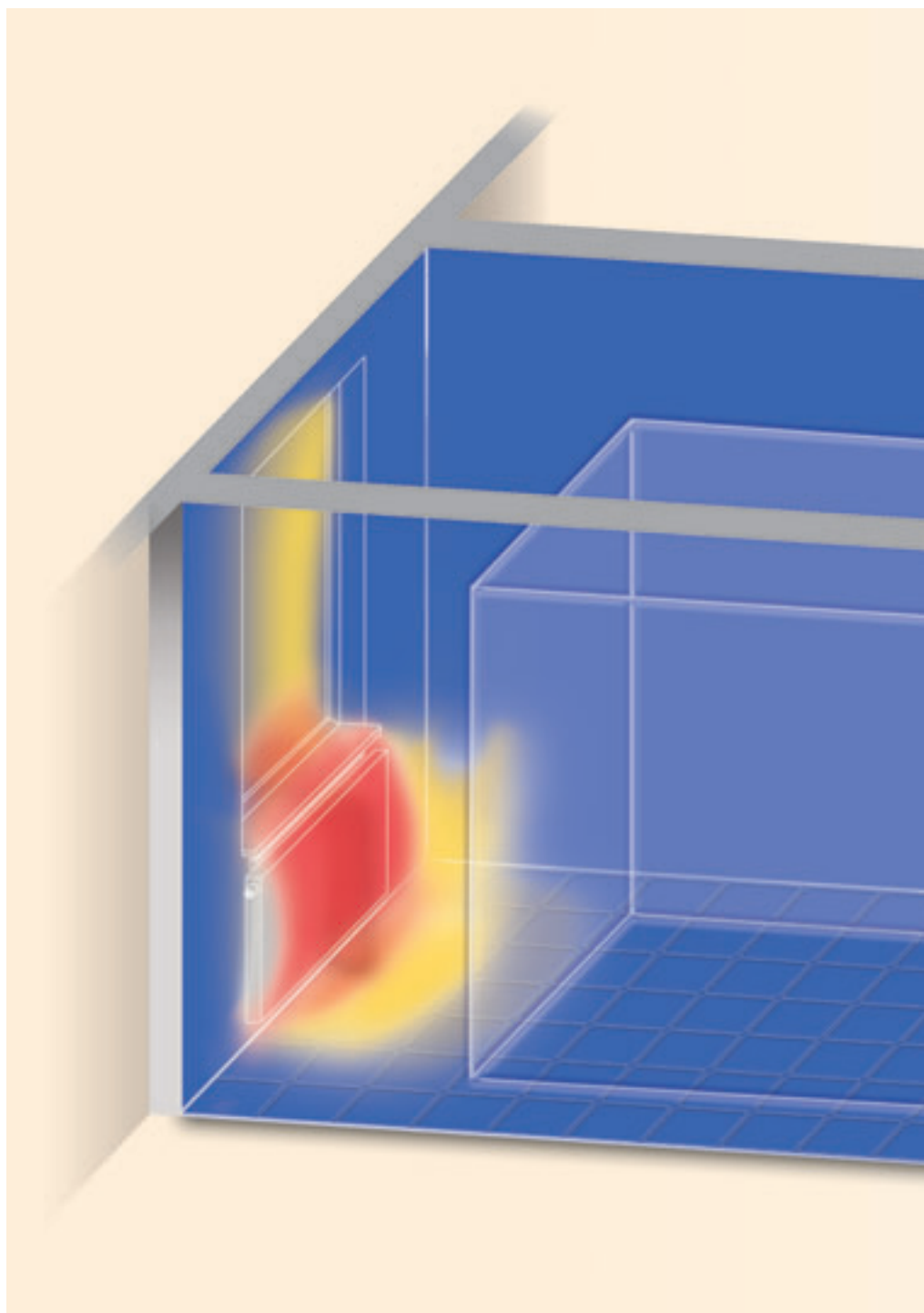
Heizkörper an Außenwand

(Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Wie verhält es sich mit der thermischen Behaglichkeit in einem Raum mit einem optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) unterhalb des Fensters bei einem Luftwechsel von 0,25 pro Stunde und welchen Einfluss hat die Heizflächenanordnung?

Der Modellraum befindet sich in einem Niedrigenergiehaus bzw. in einem vergleichbar sanierten Gebäude. Der Fensterflächenanteil an der Außenwand beträgt 30 Prozent, der Heizkörper ist unter dem Fenster angeordnet.

Zusätzlich zum kalten Luftstrom im Bereich des Fensters ergibt sich, bedingt durch Funktionsweise und Platzierung des optimierten ALD, ein Kaltlufteintritt im Heizkörperbereich. Diese beiden Größen beeinträchtigen die thermische Behaglichkeit im Raum durch wahrnehmbare Luftbewegung. Durch die Platzierung des Heizkörpers unter dem Fenster wird die einströmende Kaltluft noch außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt. Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



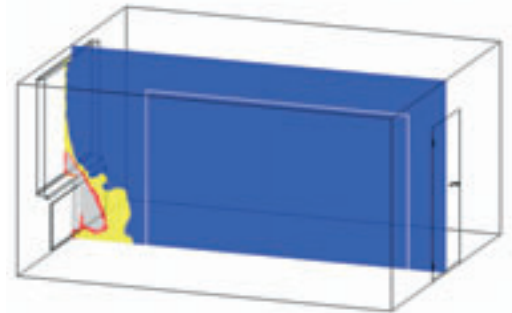
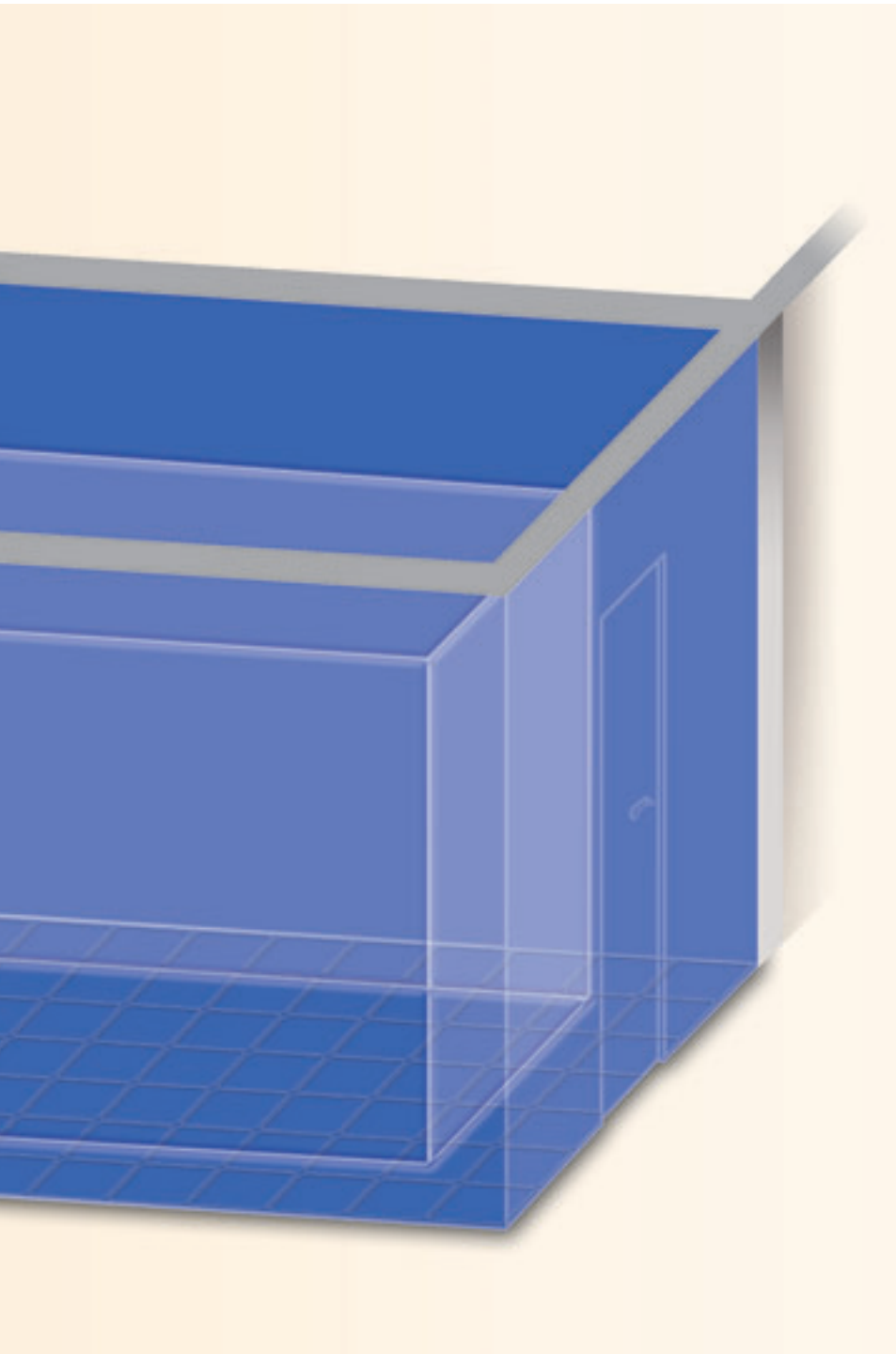
summative thermische Behaglichkeit

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

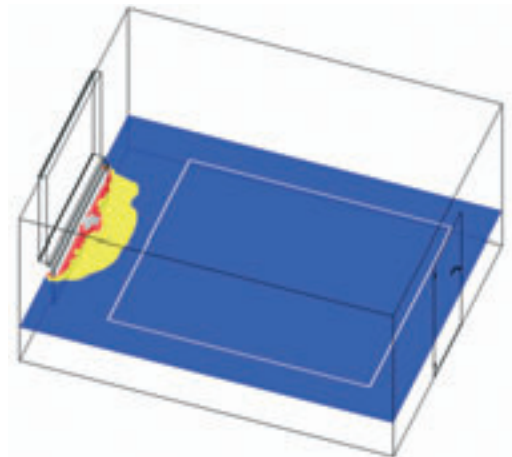


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone gibt es kleine Defizite, hier wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**TIPP**

- Um Zugluftisiko auch im Niedrigenergiehaus zu vermeiden, Heizkörper unter dem Fenster positionieren und mindestens in Fensterbreite ausführen.
- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- Optimierte ALD unter dem Fenster, idealerweise hinter dem Heizkörper positionieren.
- Möglichkeiten zur Absenkung der Systemtemperatur aus Sicht einer möglichen Energie- und Kostenersparnis in jedem Fall prüfen.

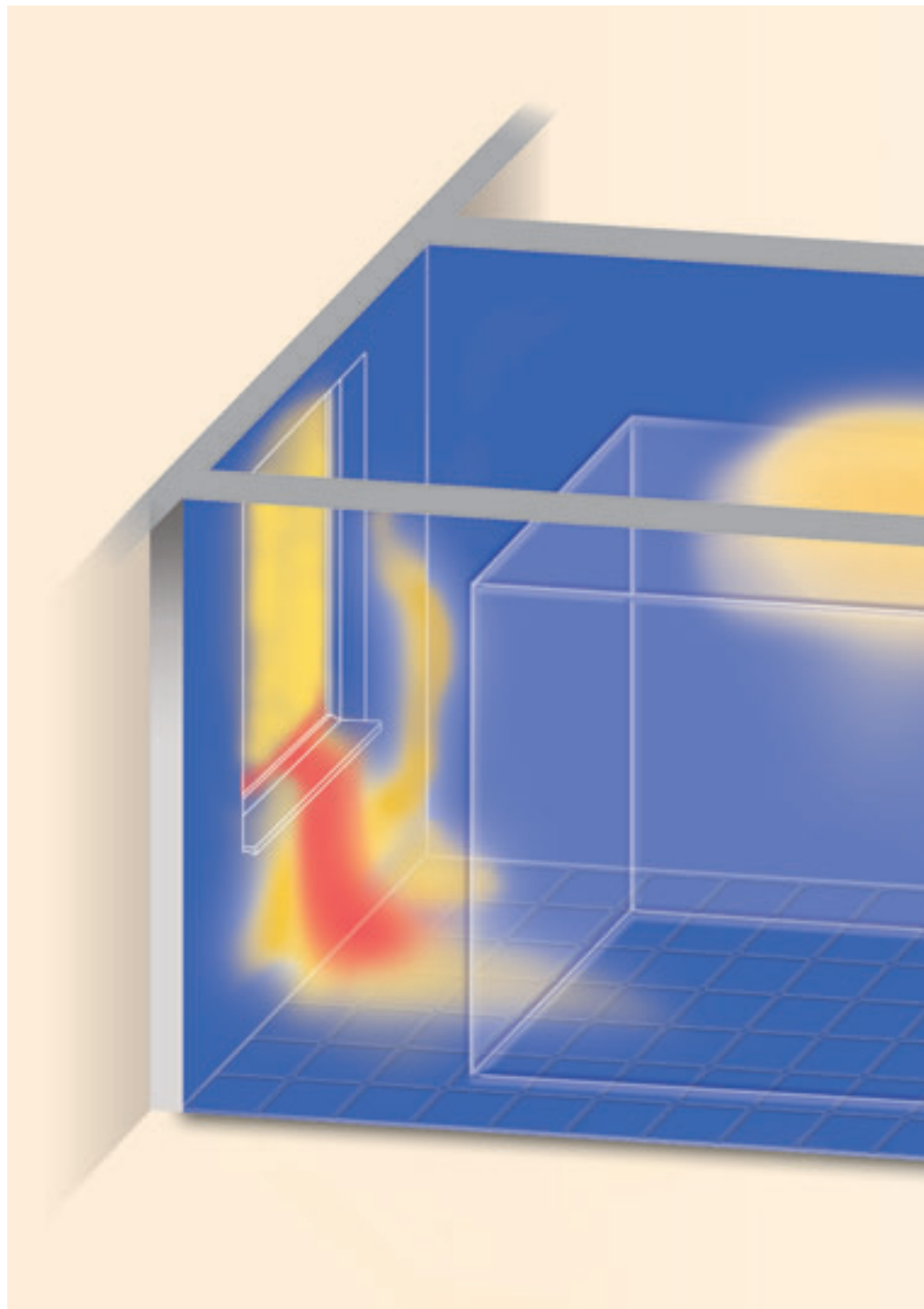
Heizkörper an Innenwand

(Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Der Heizkörper kann auch an der Innenwand (im Modellraum gegenüber der Außenwand mit dem Fensterflächenanteil von 30 Prozent) angeordnet sein. Der Einfluss dieser Heizkörperanordnung wird für ein Gebäude mit Niedrigenergiehaus-Standard oder für ein vergleichbar saniertes Objekt untersucht. Der Luftwechsel beträgt $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$.

Die kalten Luftströme im Fensterbereich und der zusätzliche Kaltlufteintritt durch den unter dem Fenster sitzenden, optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) kann von dem Heizkörper auf der gegenüberliegenden Seite nicht kompensiert werden. Es entsteht eine Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit auch innerhalb der Aufenthaltszone. Durch die Platzierung des Heizkörpers an der Innenwand fehlt im kühleren Außenwandbereich eine Wärmequelle zur Erwärmung der kalten Luft.

Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



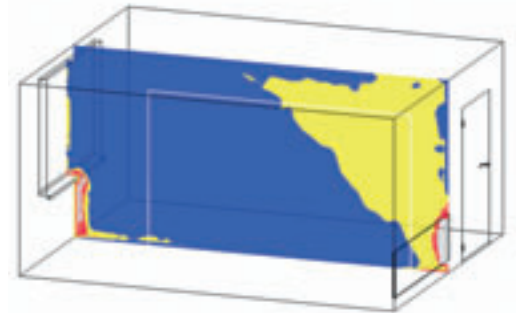
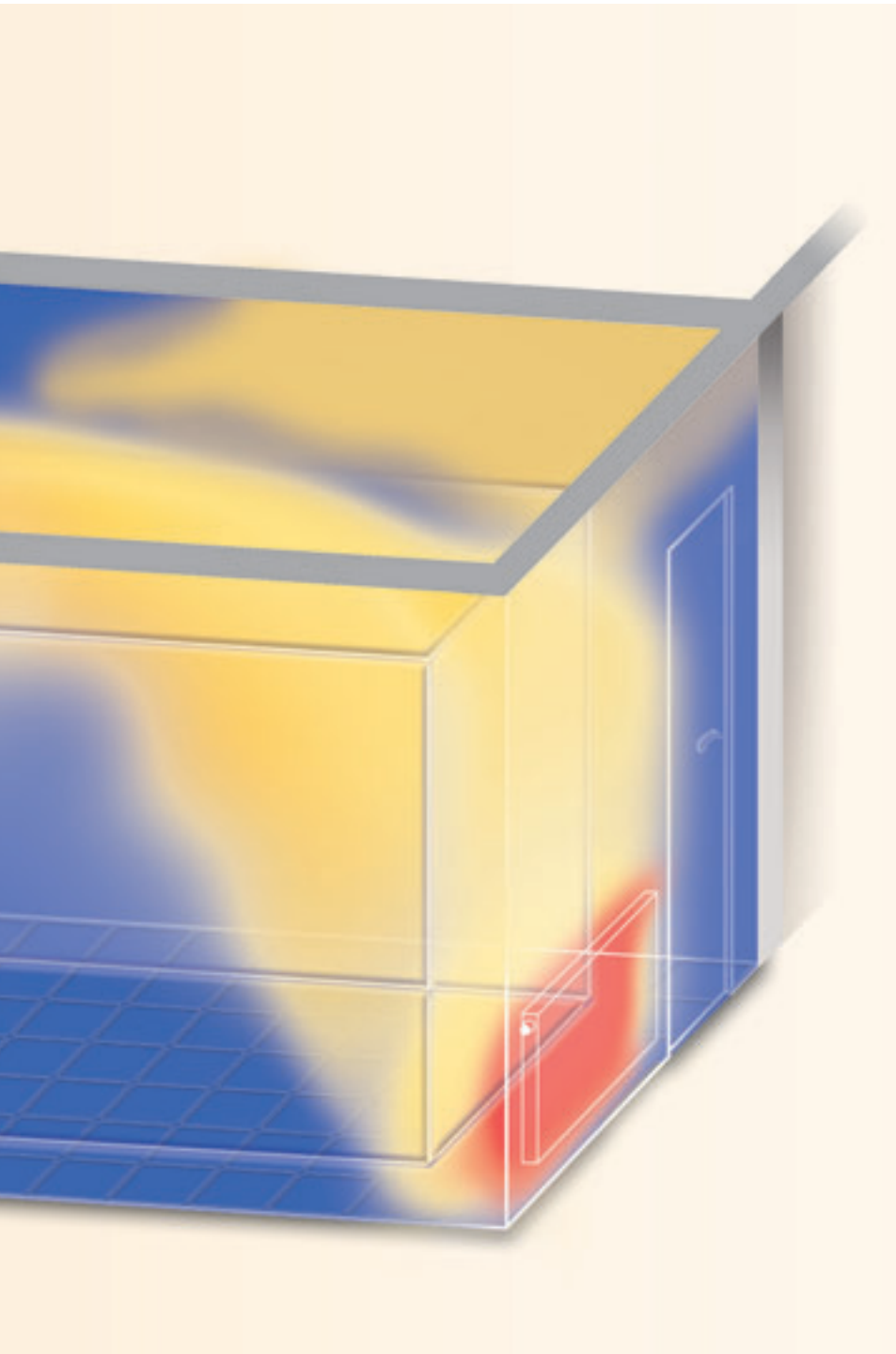
summative thermische Behaglichkeit

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

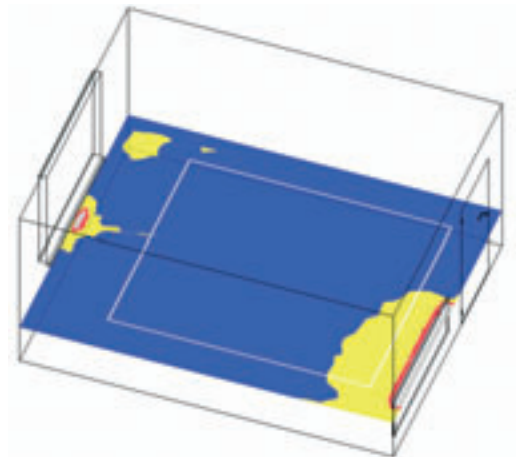


FAZIT

In großen Bereichen der Aufenthaltszone wird die Behaglichkeit beeinträchtigt. Es wird eher die Behaglichkeitsklasse B erreicht. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone sowie verstärkt im Bereich zwischen Innenwand und Aufenthaltszone ergeben sich Defizite. Dort wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit ein stark eingeschränktes Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



TIPP

- Zugluftrisiko durch Platzierung des fensterbreiten Heizkörpers unter dem Fenster vermeiden.
- Bei gewünschter Platzierung des Heizkörpers an der Innenwand Hinweis auf lokales Zugluftrisiko im Fußbereich in Fensternähe und im Kopfbereich nahe der Innenwand geben.
- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.

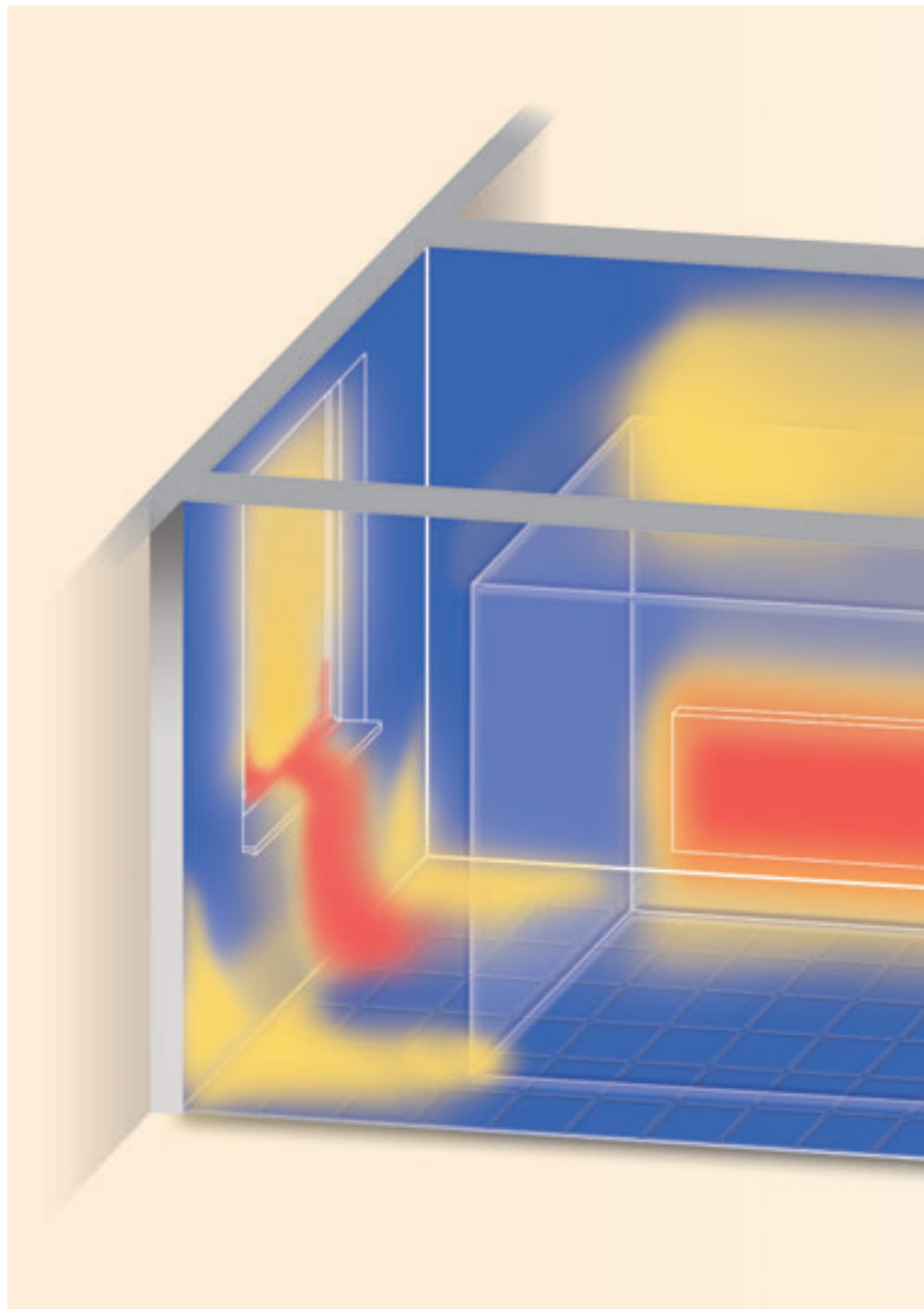
Heizkörper an Seitenwand

(Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Der Heizkörper kann alternativ an der Seitenwand angeordnet werden. Der Einfluss dieser Heizkörperanordnung wird für ein Niedrigenergiehaus (oder ein vergleichbar saniertes Objekt) untersucht. Der Luftwechsel beträgt $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$. Unterhalb des Fensters befindet sich ein optimierter Außenwand-Luftdurchlass (ALD). Der Fensterflächenanteil der Außenwand beträgt 30 Prozent.

Die Kombination aus dem kalten Luftstrom im Fensterbereich sowie dem Kalteintritt durch den optimierten ALD verursacht eine Komforteinschränkung auch innerhalb der Aufenthaltszone. Durch die Platzierung des Heizkörpers an der Seitenwand kann eine Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich nicht vermieden werden. Vielmehr wirkt sich die Platzierung des Heizkörpers an der Seitenwand negativ auf die thermische Behaglichkeit aus.

Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



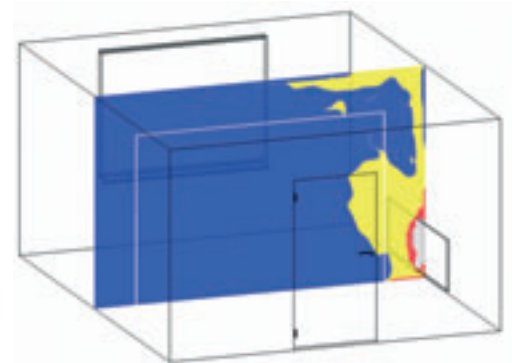
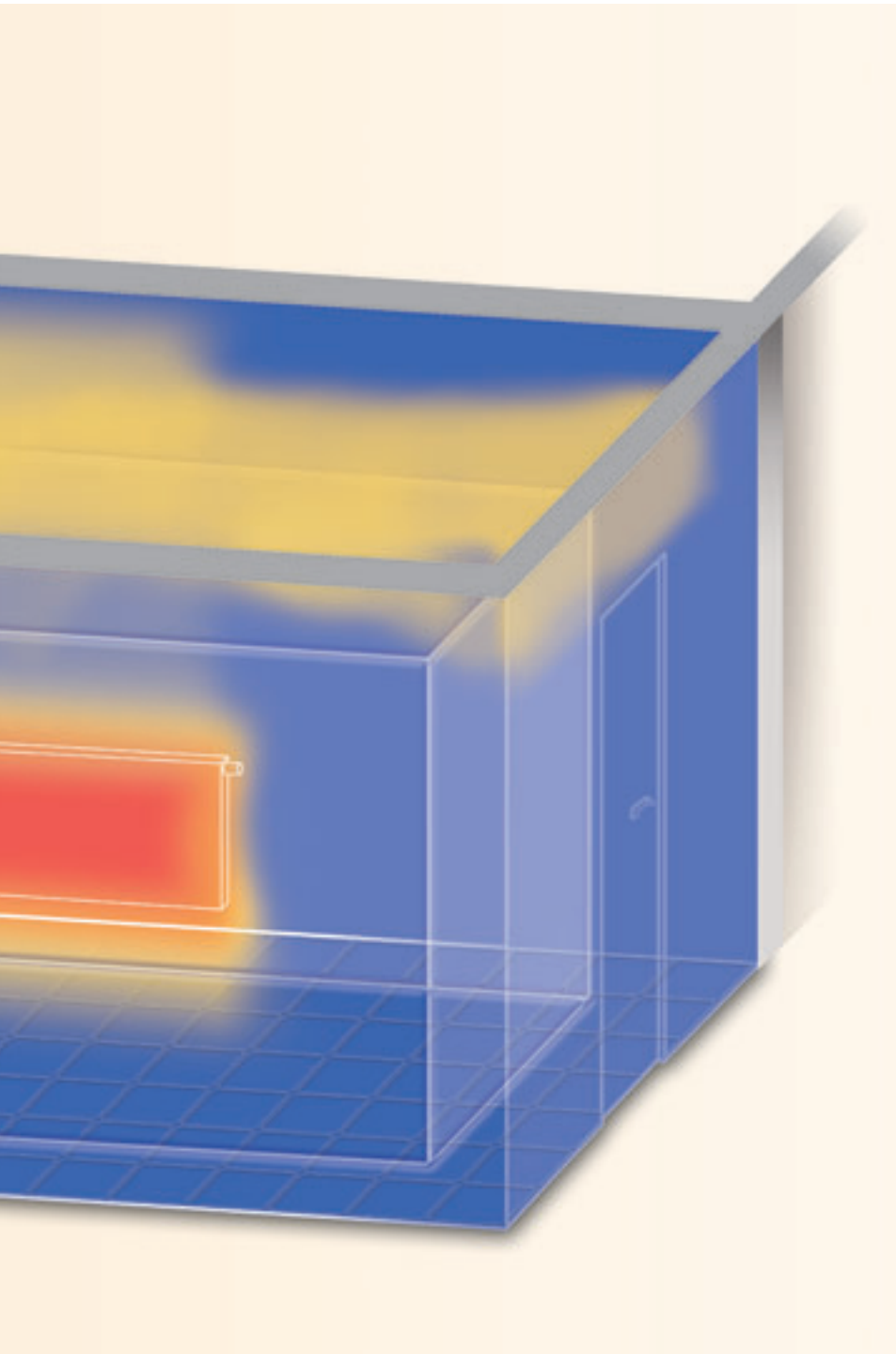
summativ thermische Behaglichkeit

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

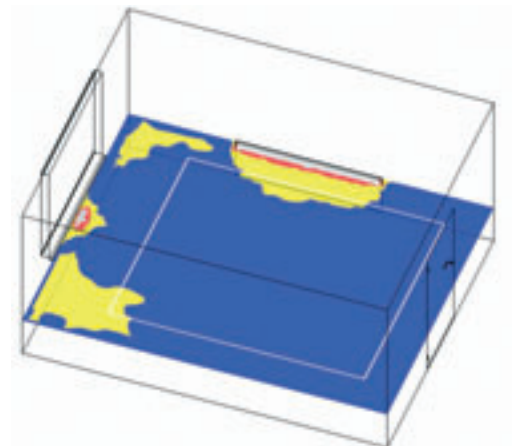


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird mit einer Beeinträchtigung des Wärmekomforts zu rechnen sein und die Behaglichkeitsklasse A wird nicht durchgehend erreicht. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone sowie im Bereich zwischen Seitenwand und Aufenthaltszone ergeben sich Defizite. Dort wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein eingeschränkt behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)



TIPP

- Zugluftrisiko im Fußbereich durch Platzierung des fensterbreiten Heizkörpers unterhalb des Fensters vermeiden.
- Bei gewünschter Platzierung des Heizkörpers an der Seitenwand Hinweis auf lokale Behaglichkeitsdefizite geben.
- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.

Fußbodenheizung

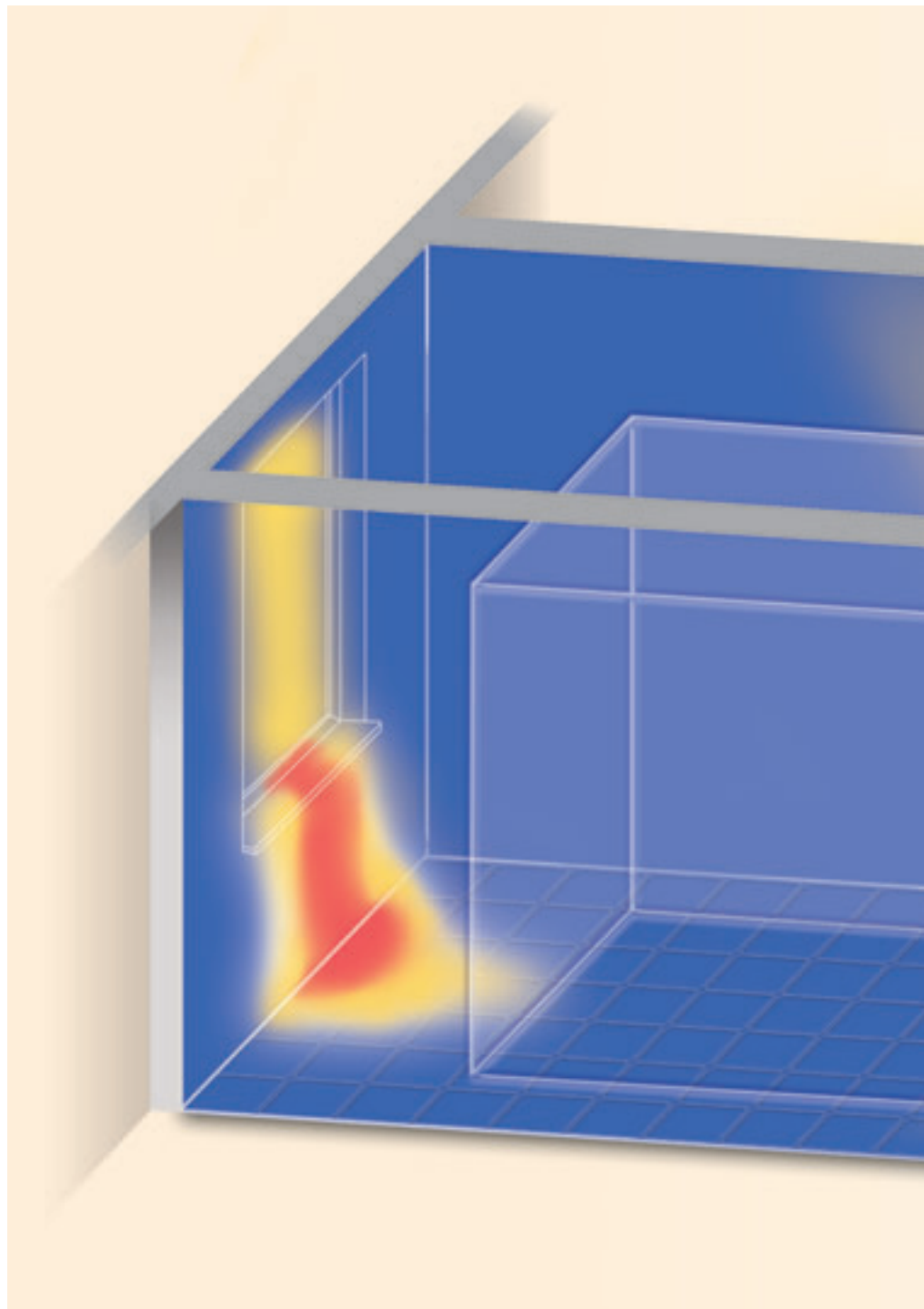
(Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Die Kombination einer Fußbodenheizung mit einem optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) unterhalb des Fensters lässt Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit im Raum erwarten.

Der Modellraum befindet sich in einem NEH bzw. in einem vergleichbar sanierten Gebäude. Der Luftwechsel beträgt 0,25 pro Stunde. Der Raum ist mit einer Fußbodenheizung (ohne Randzone) ausgestattet. Der Fensterflächenanteil der Außenwand beträgt 30 Prozent.

Der kalte Luftstrom im Fensterbereich sowie der Kaltlufteintritt durch den optimierten ALD verursachen im Raum eine wahrnehmbare Luftbewegung und eine Komforteinschränkung im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone. Durch die Fußbodenheizung wird die Luft noch außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt.

Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



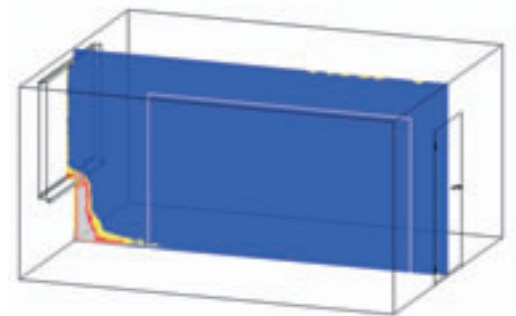
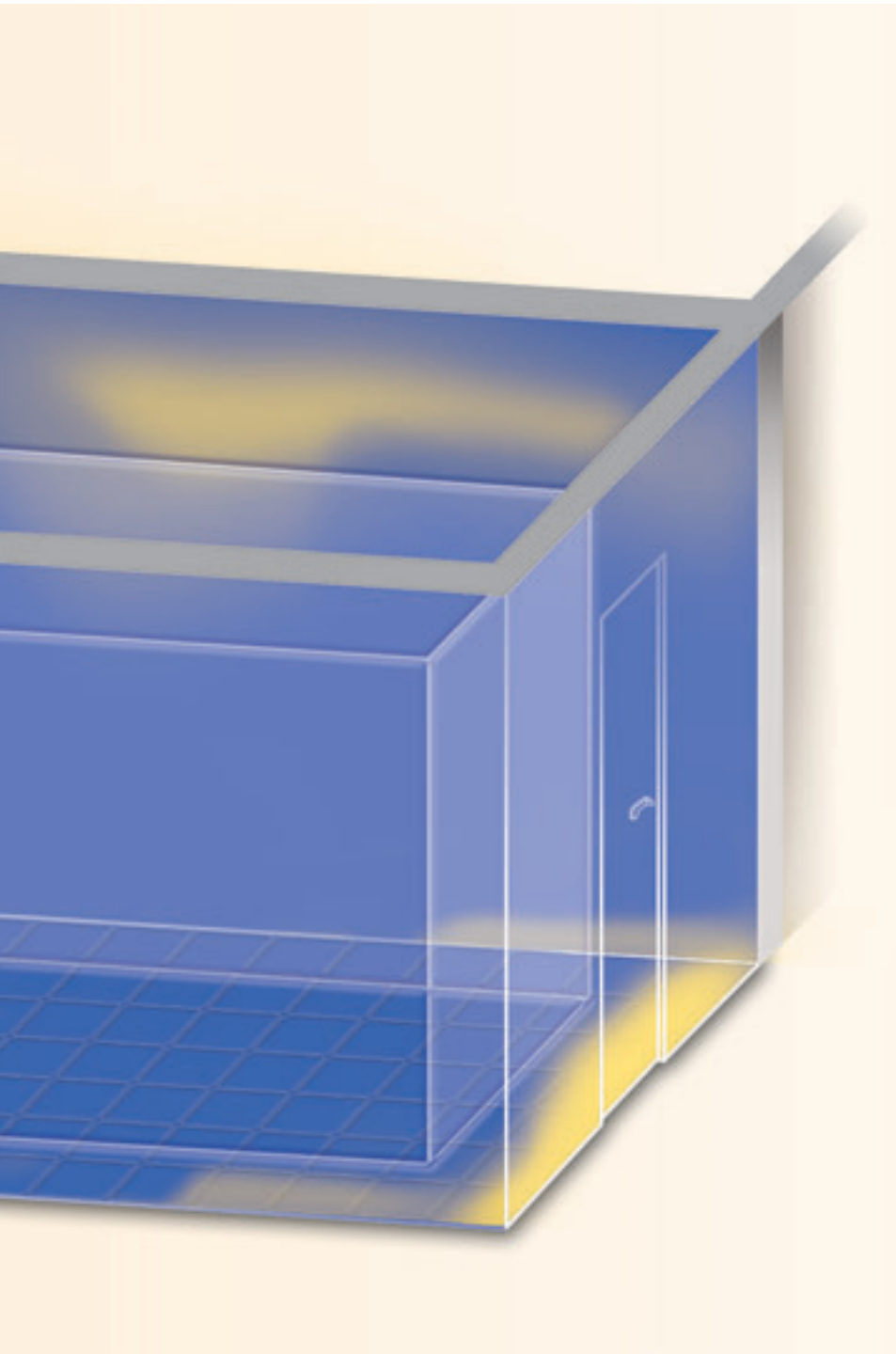
summativ thermische Behaglichkeit

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

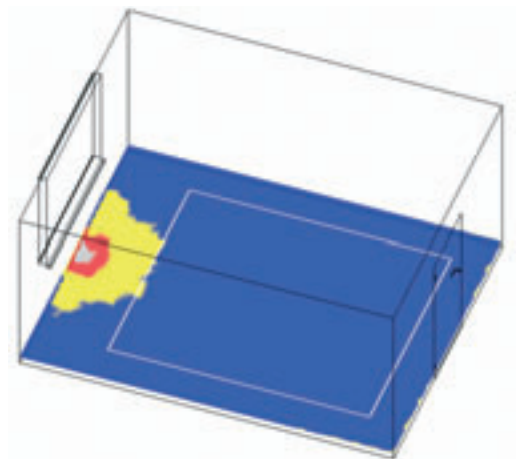


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird durchgehend die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone gibt es Defizite, hier wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- Optimierter ALD, der für eine gute Durchmischung der Raumluft sorgt, unter dem Fenster positionieren.
- Randzone ausbilden, um bedingte Verbesserung der thermischen Behaglichkeit zu erreichen.

Wandheizung: Außen- und Seitenwand

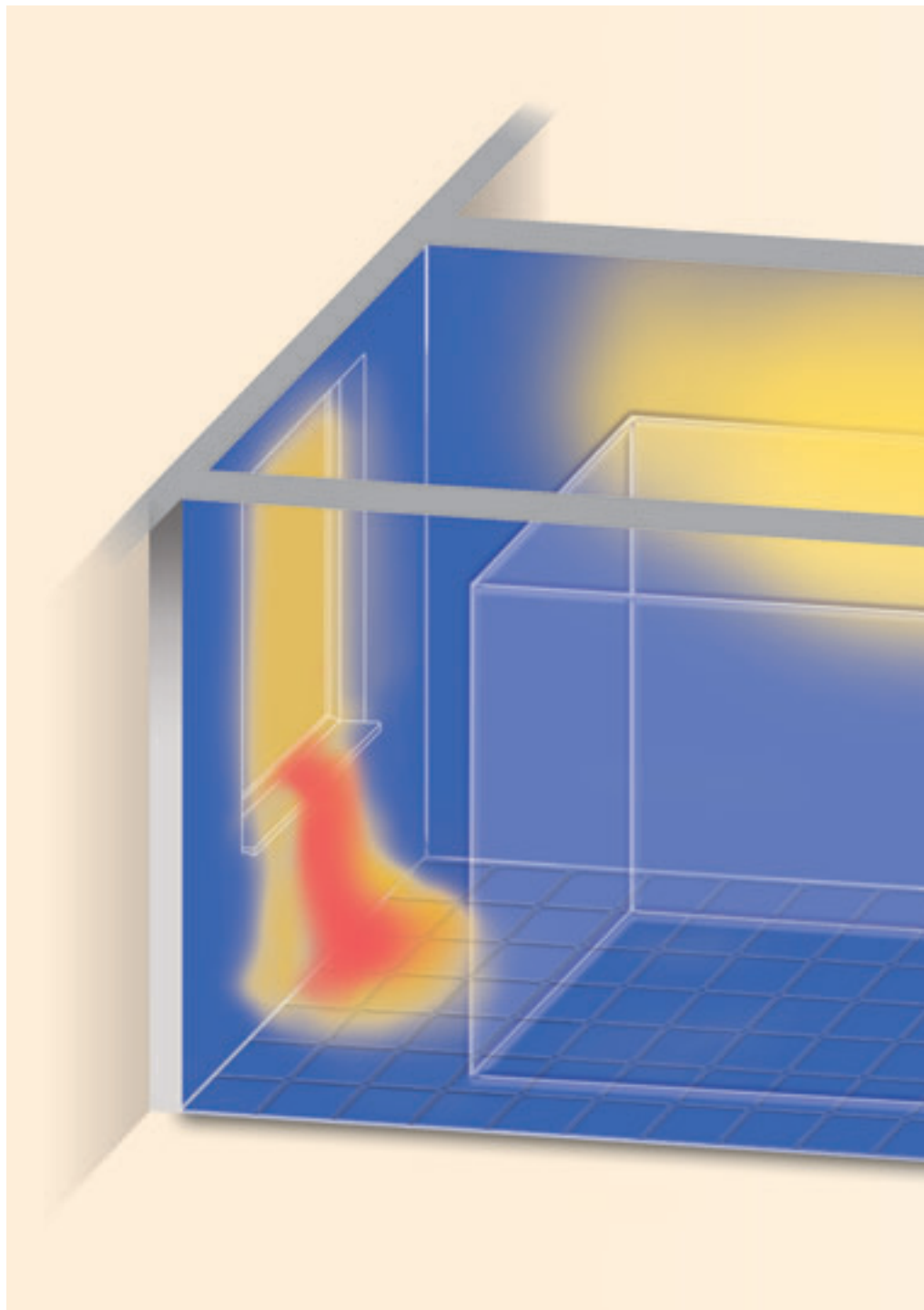
(Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Auch die Kombination von Wandheizungen mit einem optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) unterhalb des Fensters hat Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit im Raum.

Der Modellraum befindet sich in einem Niedrigenergiehaus (oder vergleichbar saniertes Gebäude). Der Luftwechsel beträgt 0,25 pro Stunde. Der Raum ist mit einer Wandheizung an der Außen- und an einer Seitenwand ausgestattet. Der Fensterflächenanteil der Außenwand beträgt 30 Prozent.

Die Kombination aus dem kalten Luftstrom im Fensterbereich sowie dem Kalteintritt durch den optimierten ALD verursacht eine Komforteinschränkung auch innerhalb der Aufenthaltszone. Durch die Wandheizung kann eine Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich nicht vollständig vermieden werden.

Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



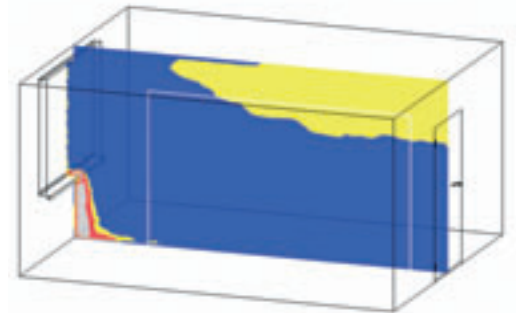
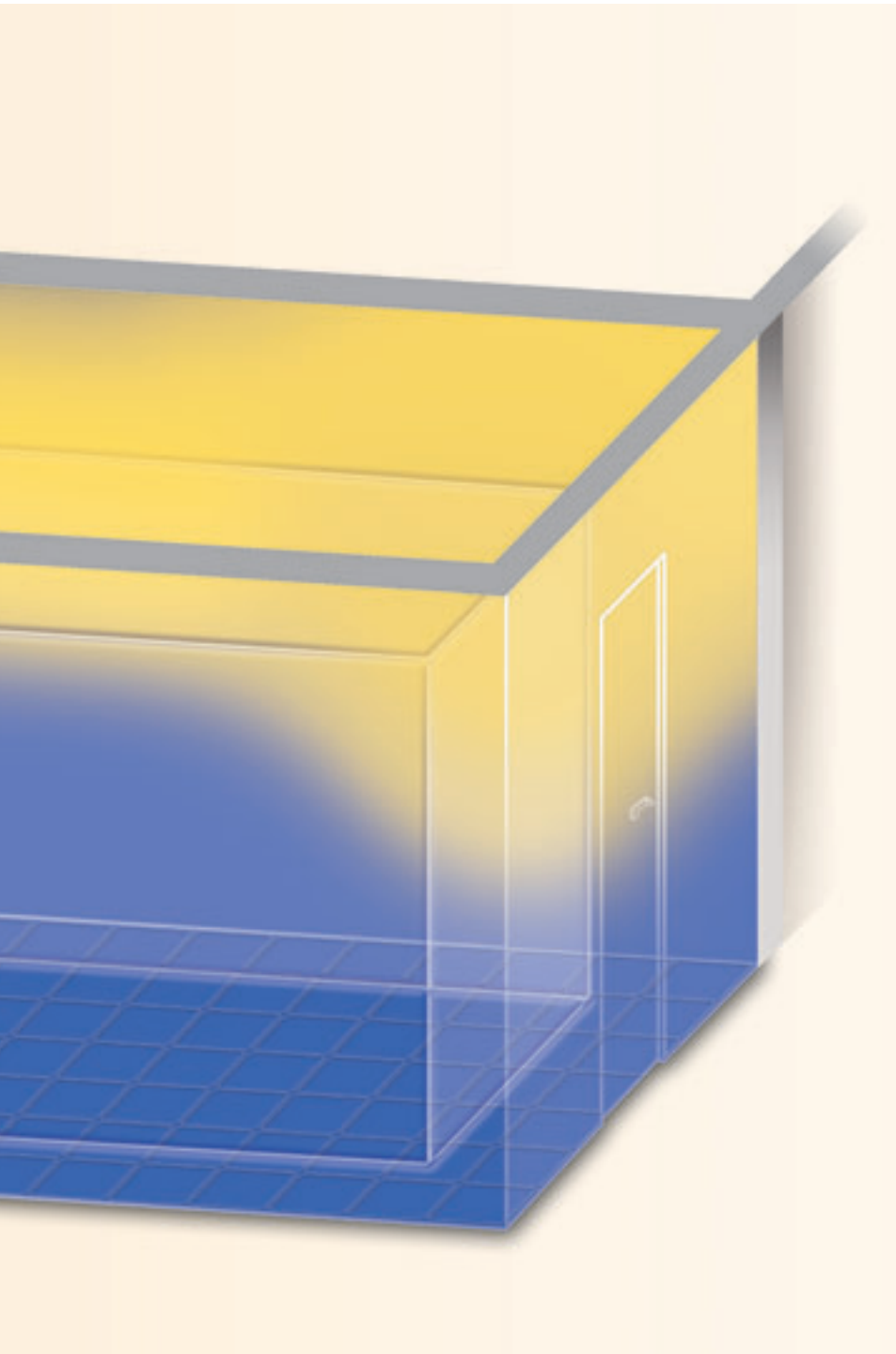
summativ thermische Behaglichkeit

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

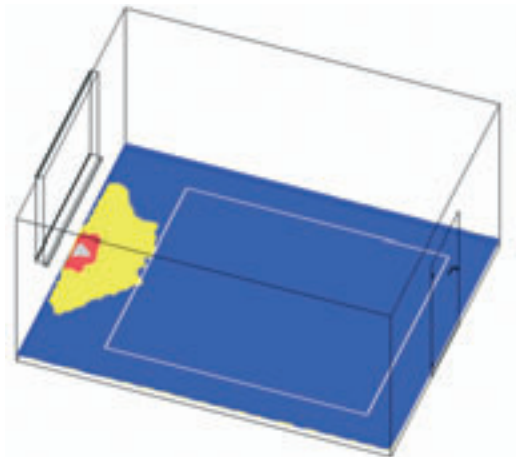


FAZIT

Im Kopfbereich in der Aufenthaltszone wird teilweise mit einer Beeinträchtigung des Wärmekomforts zu rechnen sein und die Behaglichkeitsklasse A wird nicht durchgehend erreicht. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone sowie im Deckenbereich ergeben sich weitere Defizite. Dort wird die Kategorie B bzw. am Fußboden vor dem Fenster Kategorie C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein eingeschränkt behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- Optimierter ALD, der für eine gute Durchmischung der Raumluft sorgt, unter dem Fenster positionieren.
- Bei gewünschter Wandheizung Hinweis auf lokale Behaglichkeitseinschränkungen im Kopfbereich geben.

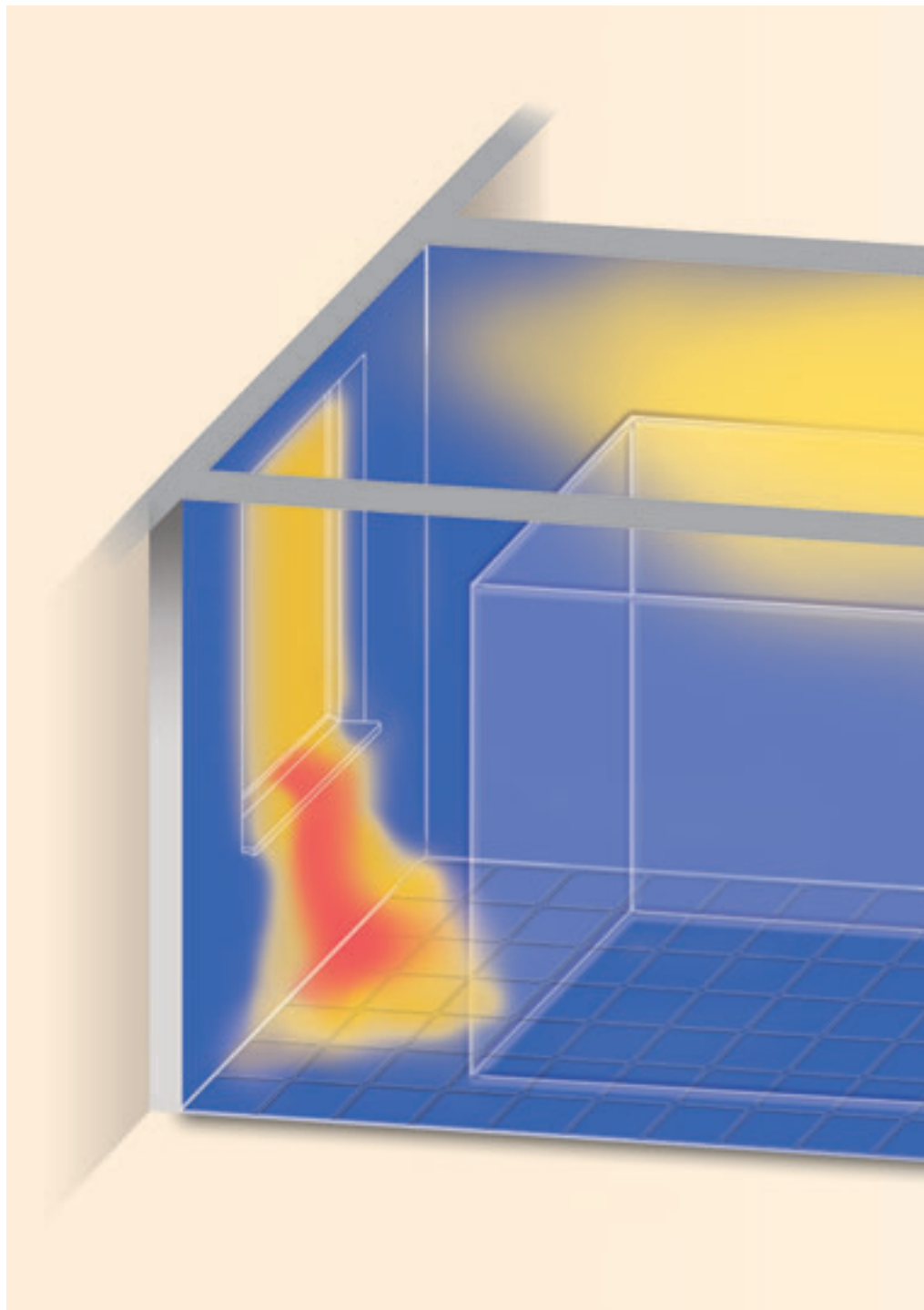
Wandheizung: Seitenwände

(Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$)

Auch die Kombination von Wandheizungen an den Seitenwänden mit einem optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) unterhalb des Fensters ist hinsichtlich des Einflusses auf die thermische Behaglichkeit im Raum zu bewerten.

Der Modellraum befindet sich in einem Niedrigenergiehaus (oder vergleichbar saniertes Gebäude). Der Luftwechsel beträgt 0,25 pro Stunde. Der Raum ist mit einer Wandheizung an beiden Seitenwänden ausgestattet. Der Fensterflächenanteil der Außenwand beträgt 30 Prozent.

Die Kombination aus dem kalten Luftstrom im Fensterbereich sowie dem Kaltlufteintritt durch den optimierten ALD verursacht eine Komforteinschränkung außerhalb, aber auch innerhalb der Aufenthaltszone. Durch die Wandheizung an den Seitenwänden kann eine Beeinträchtigung der thermischen Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich nicht sicher vermieden werden. Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



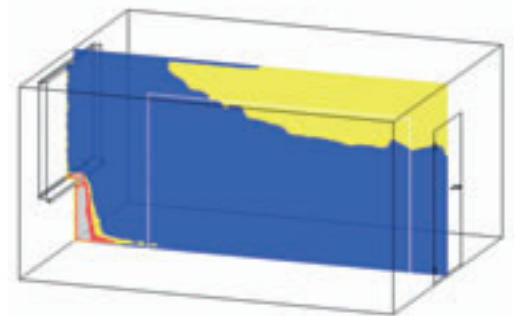
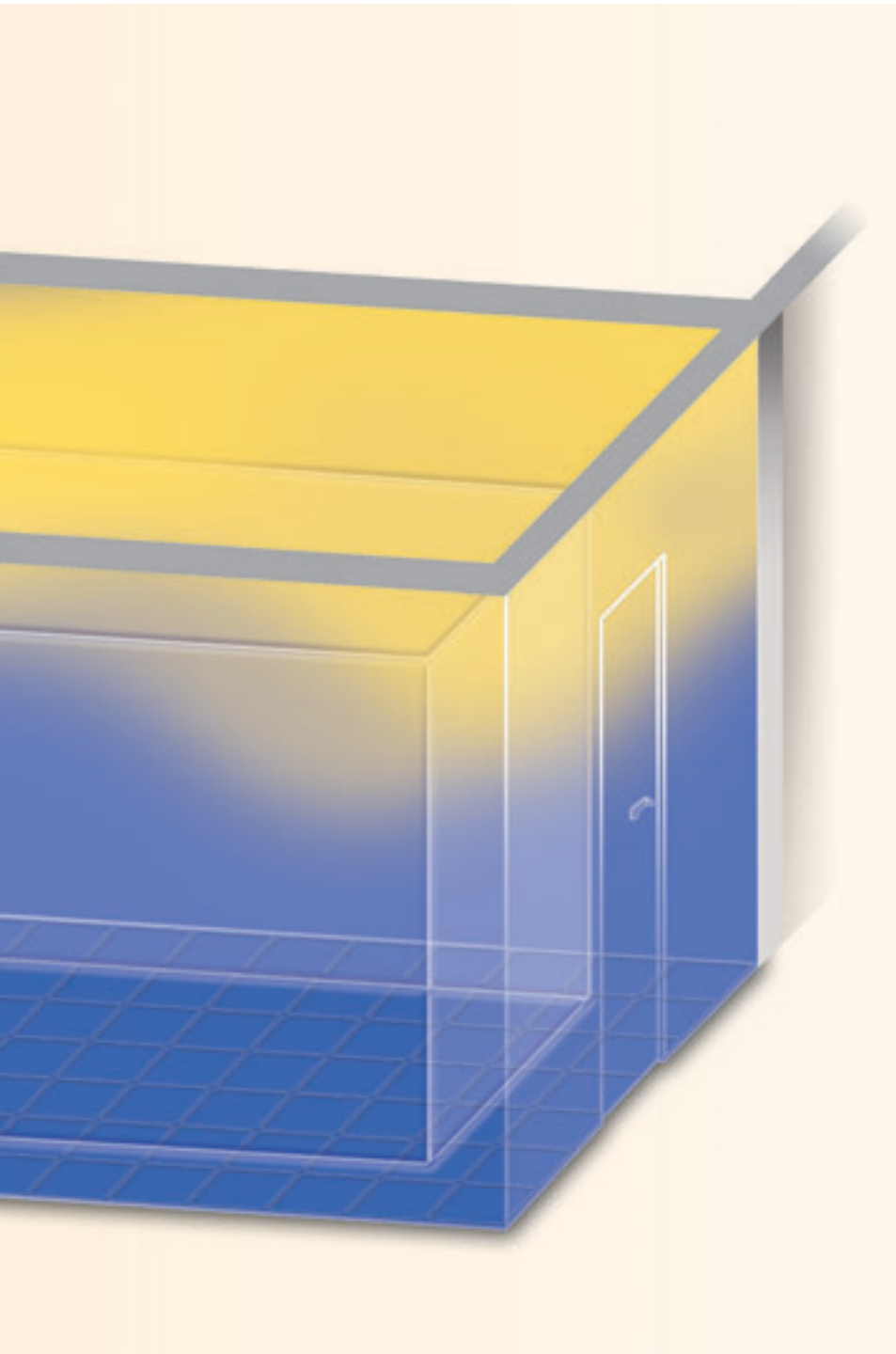
summativ thermische Behaglichkeit

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

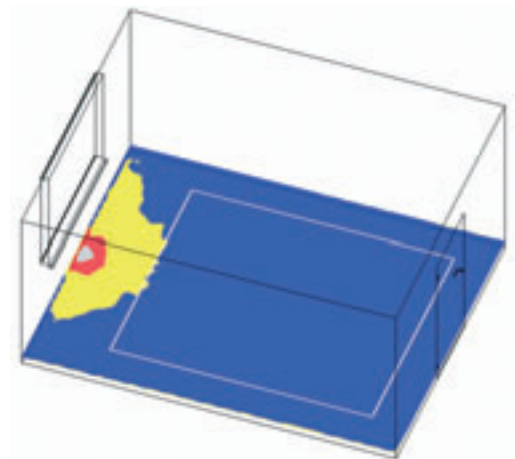


FAZIT

Im Kopfbereich in der Aufenthaltszone wird teilweise mit einer Beeinträchtigung des Wärmekomforts zu rechnen sein und die Behaglichkeitsklasse A wird nicht durchgehend erreicht. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone sowie im Deckenbereich ergeben sich weitere Defizite. Dort wird die Kategorie B bzw. am Fußboden vor dem Fenster Kategorie C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein eingeschränkt behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- Optimierter ALD, der für eine gute Durchmischung der Raumluft sorgt, unter dem Fenster positionieren.
- Bei gewünschter Wandheizung Hinweis auf lokale Behaglichkeitseinschränkungen im Kopfbereich geben.

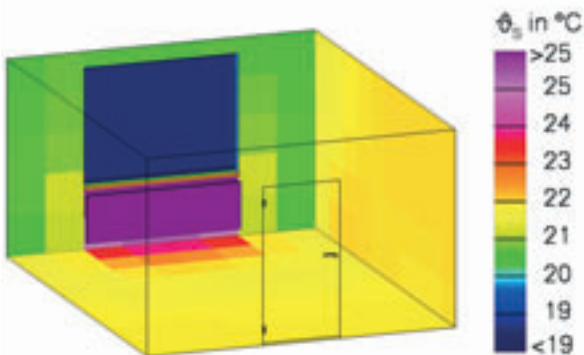


Der Einfluss des Fensterflächenanteils

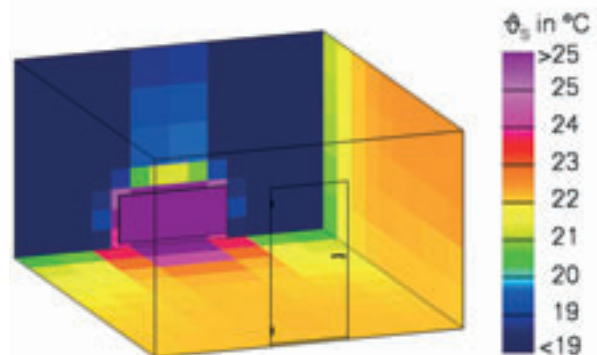
Es ist bekannt, dass insbesondere Eck- und Giebelräume in Altbauten, d. h. Räume mit mehreren Außenflächen, gravierende Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit aufweisen können. Auch Räume, deren Fußböden oder Raumdecken sehr niedrigen Umgebungstemperaturen ausgesetzt sind, müssen in dieser Hinsicht besonders beachtet werden, da auch hier der Wärmeschutz in Altbauten oftmals nicht ausreicht. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Problematik von Außenwänden mit einem hohen Fensterflächenanteil verwiesen.

Demgegenüber verfügen Niedrigenergiehäuser über einen sehr guten Wärmeschutz. Aus diesem Grunde sind die für Altbauten vorliegenden Erfahrungen hier nur bedingt übertragbar. Die thermischen Auswirkungen unterschiedlicher Fensterflächenanteile im Niedrigenergiehaus lassen sich gut anhand der **Oberflächentemperaturen** der Umhüllungsflächen unter Annahme eines vernachlässigbaren Luftwechsels ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) im Raum demonstrieren.

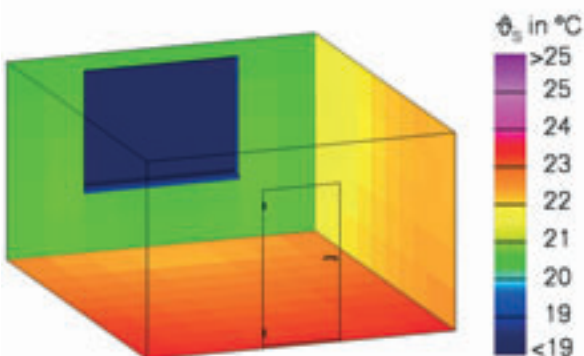
Oberflächentemperaturen verschiedener Raumumschließungsflächen im NEH



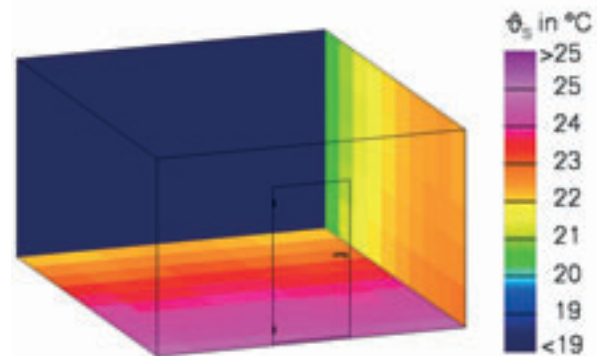
NEH, Heizkörper an Außenwand Raum mit 30 % Fensterflächenanteil



NEH, Heizkörper an Außenwand Raum mit 100 % Fensterflächenanteil



NEH, Fußbodenheizung Raum mit 30 % Fensterflächenanteil



NEH, Fußbodenheizung Raum mit 100 % Fensterflächenanteil

Maximale Strahlungsasymmetrie



Unkritischer angenehmer Bereich



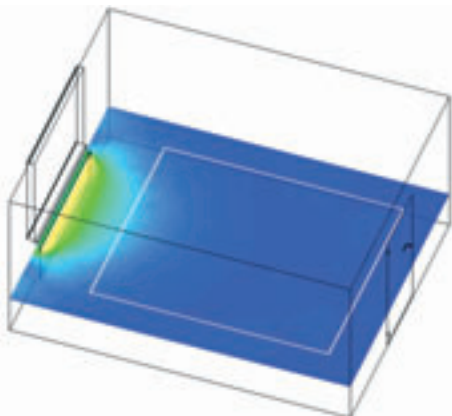
Kritischer Bereich

Stellt man die **Strahlungsasymmetrie** in einer horizontalen Ebene dar (0,6 m über dem Fußboden), ist zu erkennen, dass im Niedrigenergiehaus keine kritischen Werte innerhalb der Aufenthaltszone zu erwarten sind.

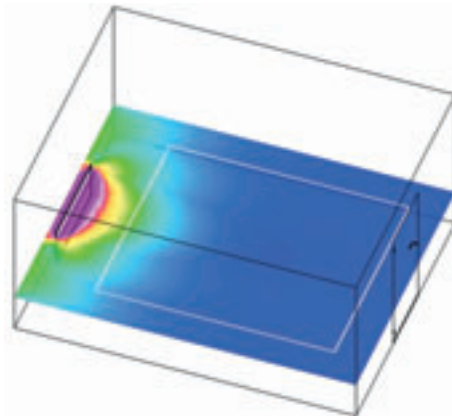
Dies gilt für Glaswände (100-prozentiger Fensterflächenanteil) und in Analogie auch für andere Außenwände.

Die thermische Behaglichkeit in der Aufenthaltszone wird sowohl bei Heizkörpern an der Außenwand als auch bei Fußbodenheizungen nicht durch die maximale Strahlungsasymmetrie beeinträchtigt. Maßgeblich für die Behaglichkeit in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil sind schon bei Betrachtungen mit vernachlässigbarem Luftwechsel andere Behaglichkeitskriterien, wie die folgenden Beispiele zeigen.

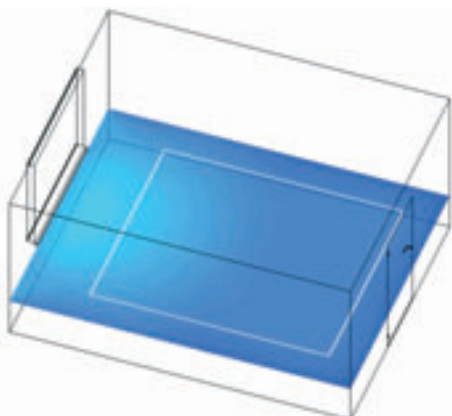
Maximale Strahlungsasymmetrie in 0,6 m Höhe über dem Fußboden



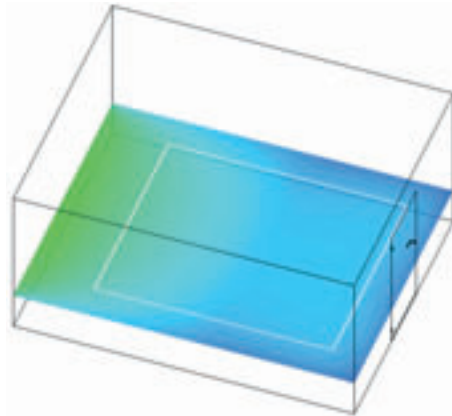
NEH, Heizkörper an Außenwand Raum mit 30 % Fensterflächenanteil



NEH, Heizkörper an Außenwand Raum mit 100 % Fensterflächenanteil



NEH, Fußbodenheizung Raum mit 30 % Fensterflächenanteil



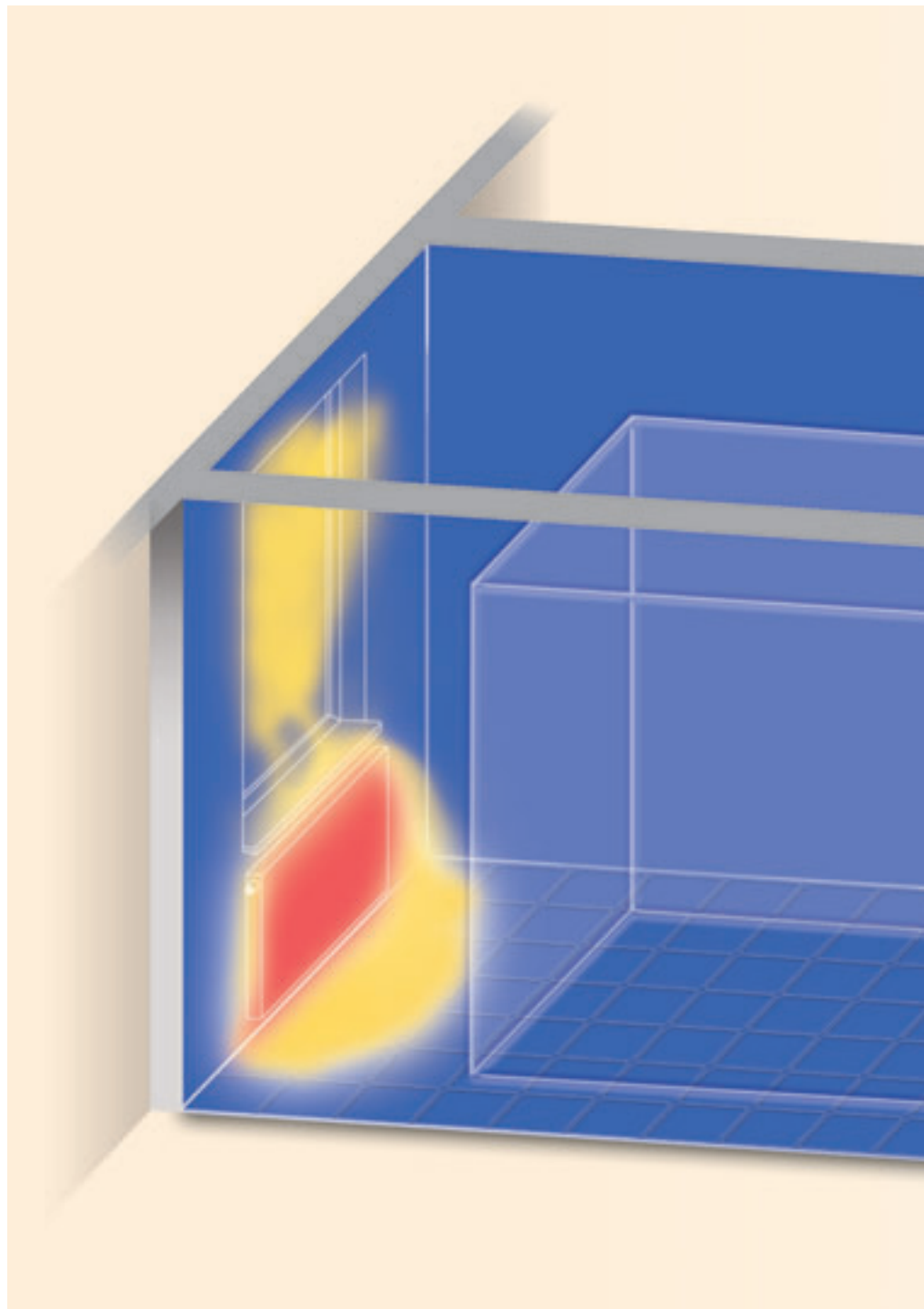
NEH, Fußbodenheizung Raum mit 100 % Fensterflächenanteil

Fensterfläche 30 Prozent: Heizkörper

(ohne Luftwechsel)

Der Einfluss des Fensterflächenanteils wird im Niedrigenergiehaus mit Heizkörper und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt. Der Heizkörper ist an der Außenwand unter dem Fenster angeordnet. Die Fensterfläche hat einen Anteil von 30 Prozent der Außenwand.

Durch den guten Wärmeschutz und insbesondere die optimierte Wärmeschutzverglasung wird das Risiko zur Entstehung kalter Luftströme verringert. Nach Süden orientierte Wohn- und Funktionsräume sowie die dazugehörigen Fensterflächen unterstützen dies. Der unter dem Fenster montierte Heizkörper erwärmt die kalte Luft weit vor Erreichen der Aufenthaltszone.



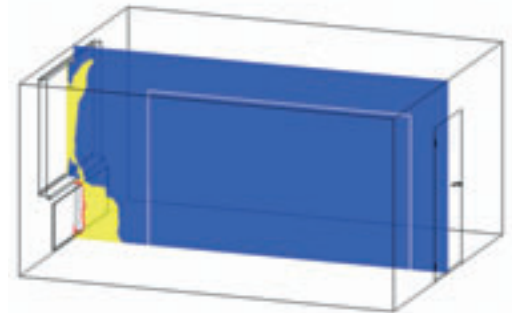
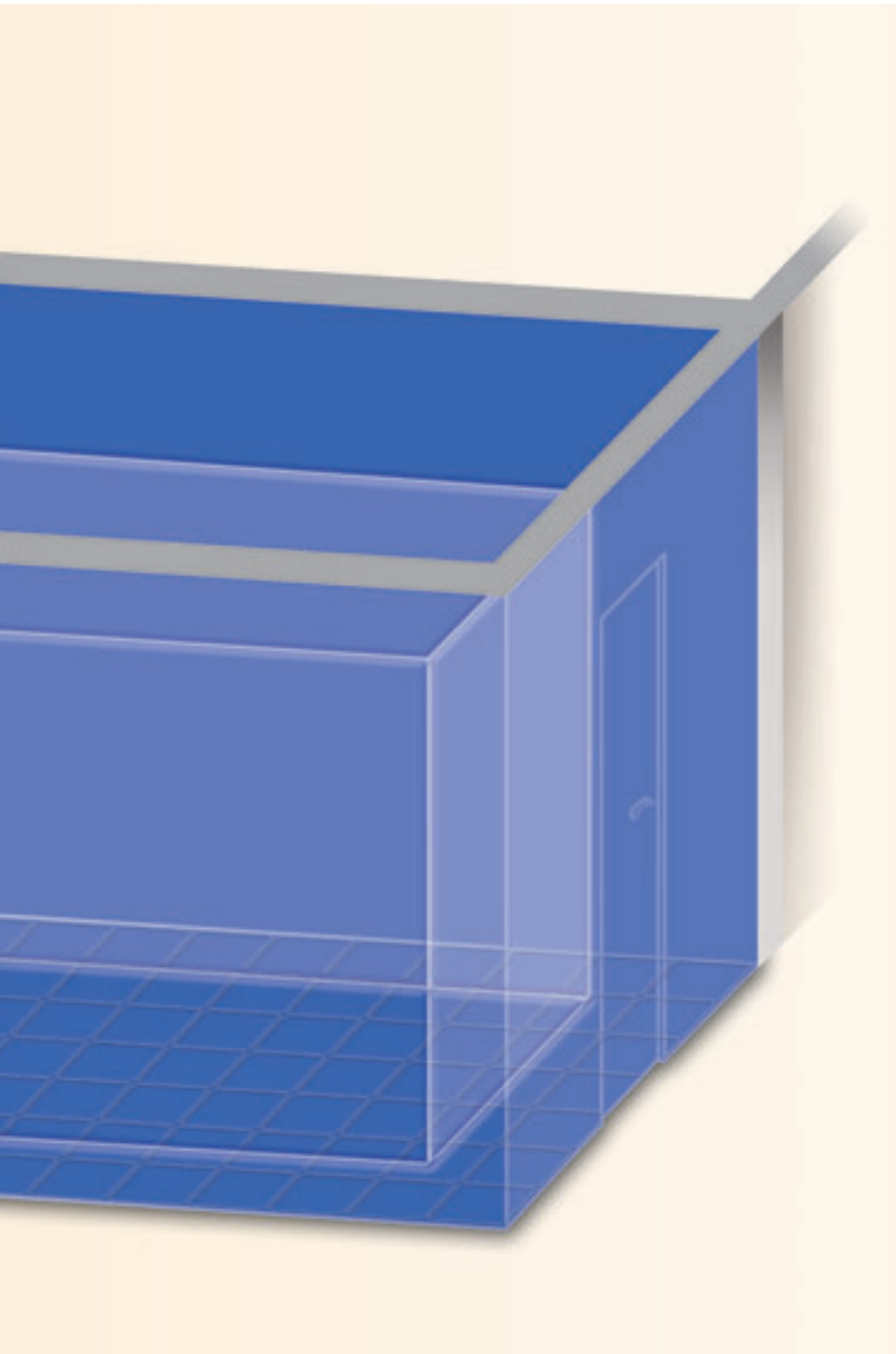
summativ thermische Behaglichkeit

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

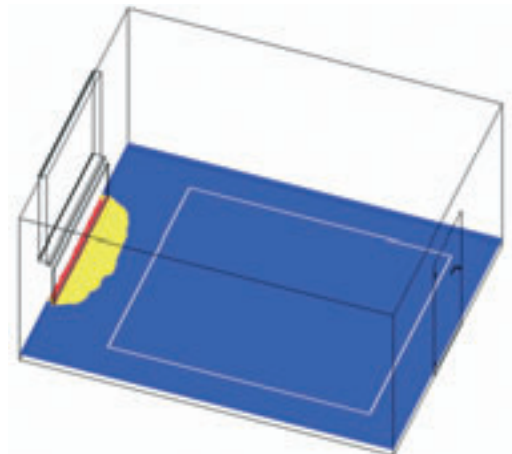


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird die Behaglichkeitsklasse A erreicht. Nur in direkter Nähe des Heizkörpers bzw. des Fensters treten kleinere Defizite auf. In und über die Aufenthaltszone hinaus erwartet den Nutzer ein sehr behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)



TIPP

- Auch bei Orientierung der Wohn- und Funktionsräume nach Süden Heizkörper unter dem Fenster positionieren.
- Heizkörperlänge sollte mindestens so breit wie das Fenster gewählt werden.
- Möglichkeiten zur Absenkung der Systemtemperatur aus Sicht einer möglichen Energie- und Kostenersparnis in jedem Fall prüfen.

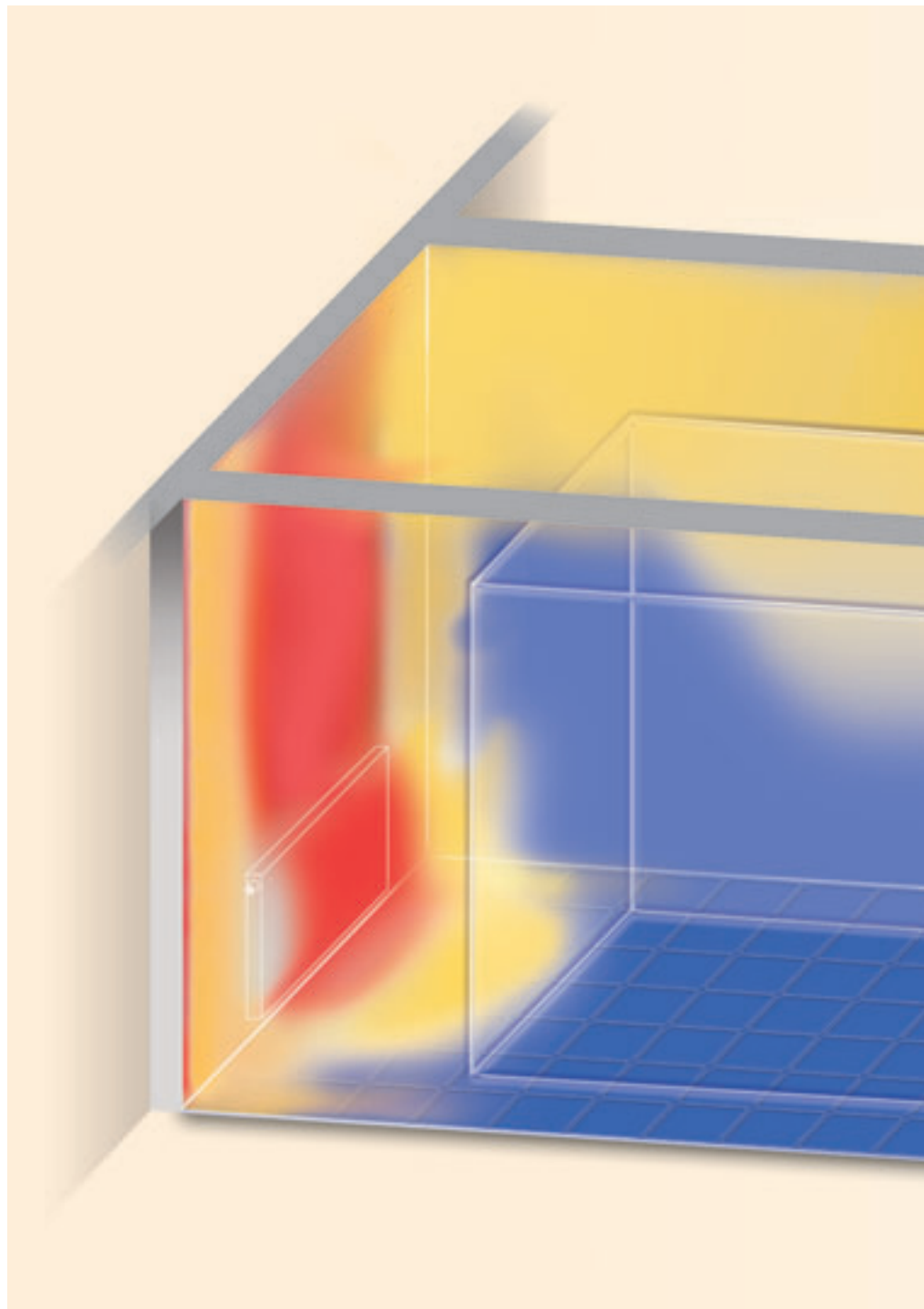
Fensterfläche 100 Prozent: Heizkörper

(ohne Luftwechsel)

Die Außenflächen können auch als Glaswände (100 Prozent Fensterflächenanteil) ausgeführt werden.

Dieser Einfluss wird im Niedrigenergiehaus mit Heizkörper und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$), untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt. Der Heizkörper ist mittig an der Glaswand angeordnet.

Die vollverglaste Außenfläche verstärkt kalte Fallströme und erhöht das Zugluftisiko. Die große Fensterfläche beeinflusst durch ihre niedrigere Oberflächentemperatur in Kombination mit der Lufttemperatur die Bewertung des Raumklimas durch den Nutzer (PMV-Wert) negativ. Im Ergebnis wird die summative Behaglichkeit auch innerhalb der Aufenthaltszone beeinträchtigt. Die Platzierung des Heizkörpers vor der Glaswand kann die Komforteinschränkung nur teilweise kompensieren.



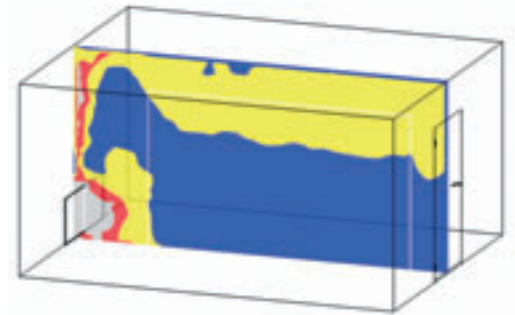
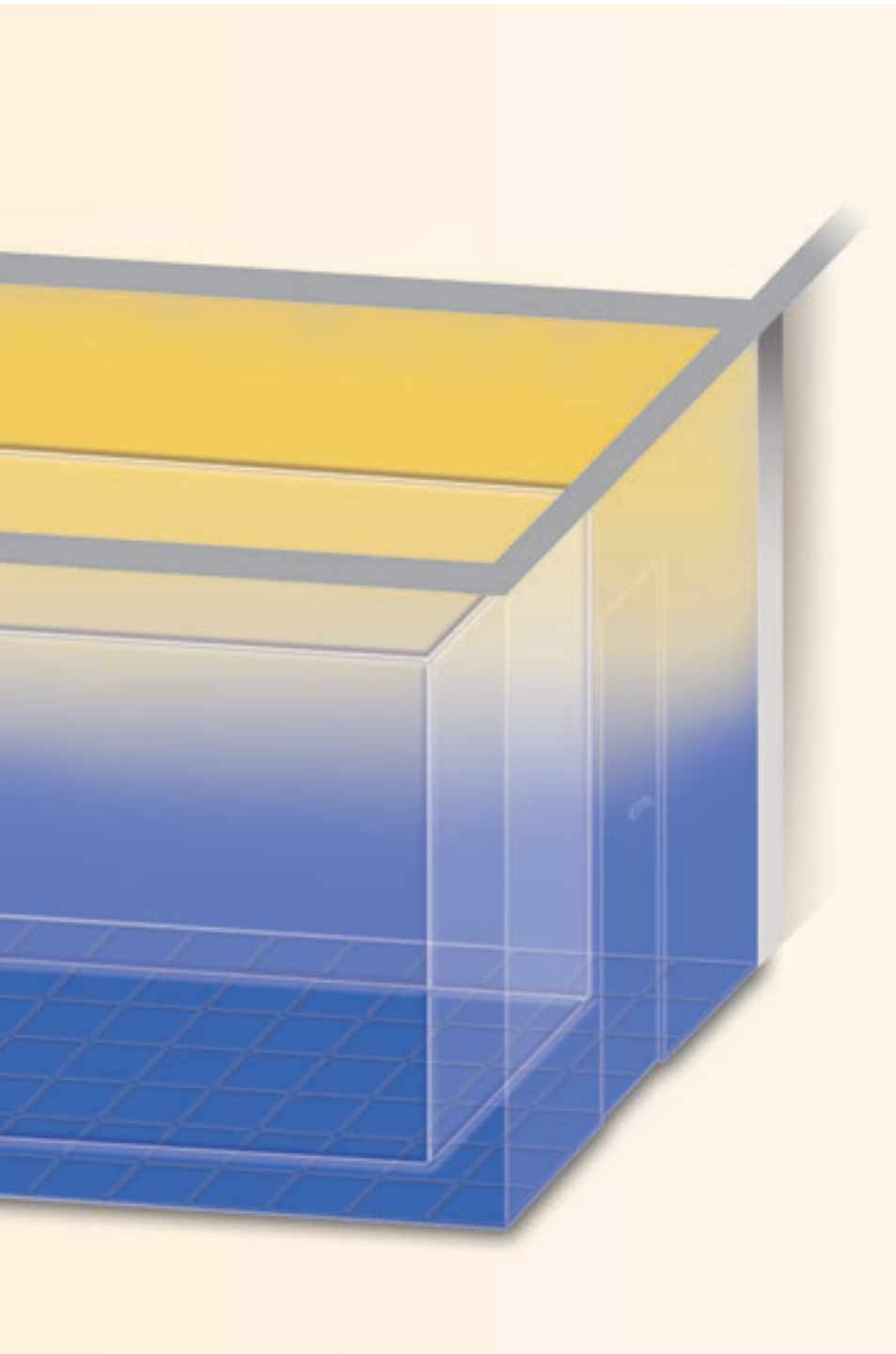
summative thermische Behaglichkeit

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

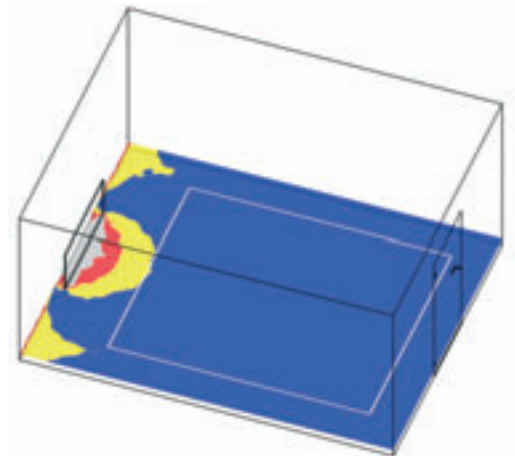


FAZIT

Im Kopfbereich in der Aufenthaltszone ist mit einer starken Beeinträchtigung der Behaglichkeit zu rechnen. Die Behaglichkeitsklasse A wird nicht durchgehend erreicht. Im Bereich zwischen Fensterfront und Aufenthaltszone ergeben sich größere Defizite. Dort wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein eingeschränkt behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)



TIPP

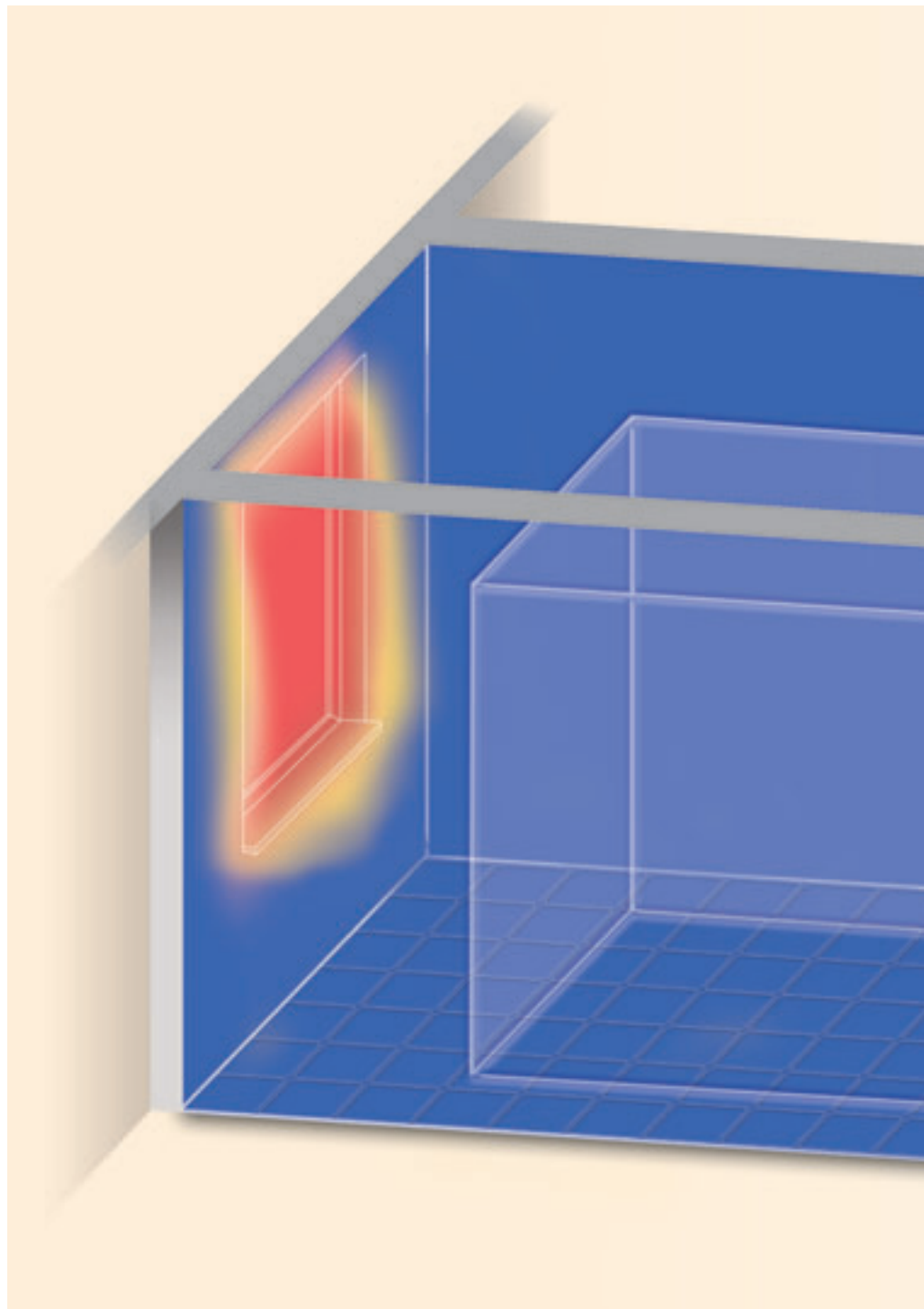
- Für vollverglaste Außenwände spezielle Heizkörperlösungen zur Positionierung vor dem Fenster einsetzen, z. B. auf dem Boden montierte Konvektoren mit geringer Bauhöhe.
- Strahlungsschirme zwischen Heizkörper und Glasfläche schützen vor unzulässigen thermischen Belastungen.
- Ist die Platzierung des Heizkörpers nur an der Seitenwand möglich, so nah wie möglich am Fenster installieren und Hinweis auf lokale Behaglichkeitseinschränkungen im Kopfbereich geben.

Fensterfläche 30 Prozent: Fußbodenheizung

(ohne Luftwechsel)

Der Einfluss des Fensterflächenanteils wird im Niedrigenergiehaus mit Fußbodenheizung und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt. Die Fensterfläche hat einen Anteil von 30 Prozent der Außenwand.

Durch den guten Wärmeschutz und insbesondere die optimierte Wärmeschutzverglasung wird das Risiko zur Entstehung kalter Luftströme verringert. Die kalte Luft wird von der Fußbodenheizung unmittelbar am Fenster und weit außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt. Fußbodenheizungen im Niedrigenergiehaus können mit niedrigeren Systemtemperaturen geplant werden.



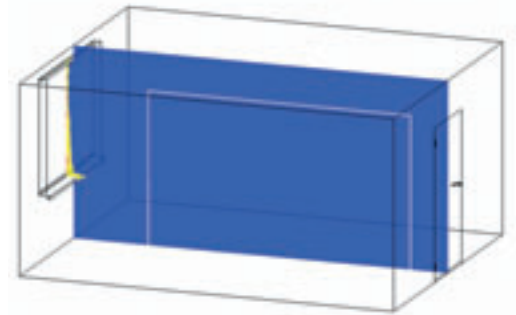
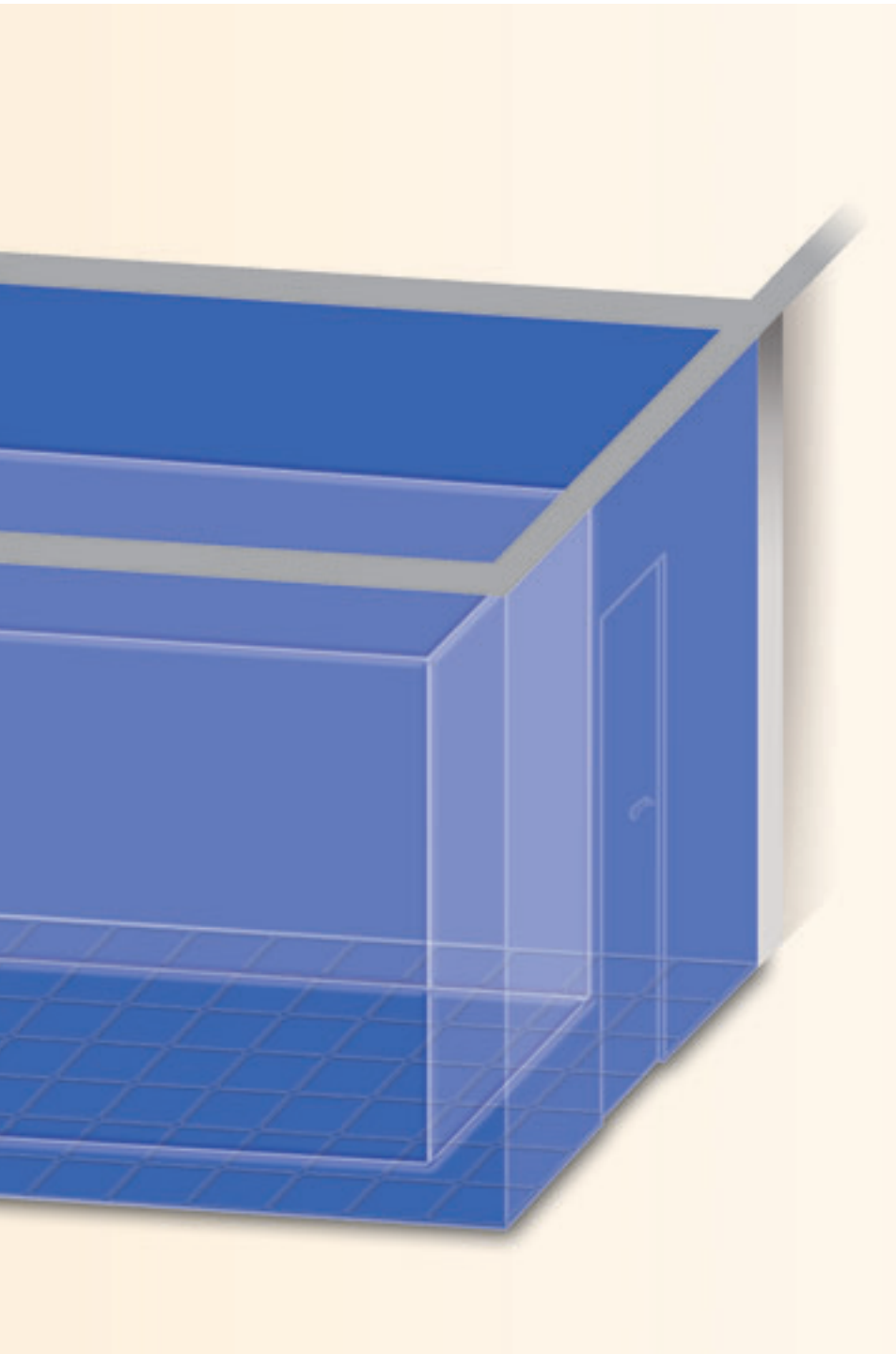
summative thermische Behaglichkeit

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

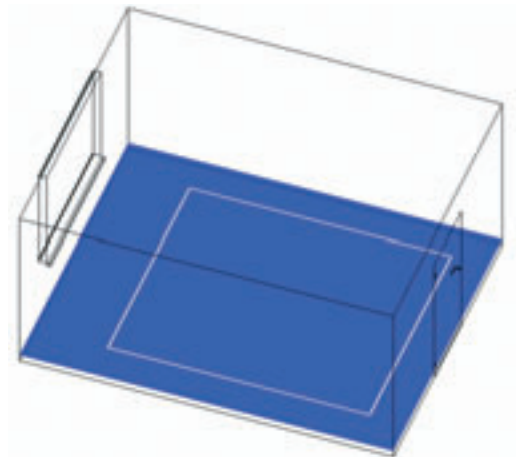


FAZIT

In der Aufenthaltszone und weit darüber hinaus wird die Behaglichkeitsklasse A erreicht. In direkter Nähe des Fensters treten kleinere Defizite auf. Innerhalb und außerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein sehr behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)



TIPP

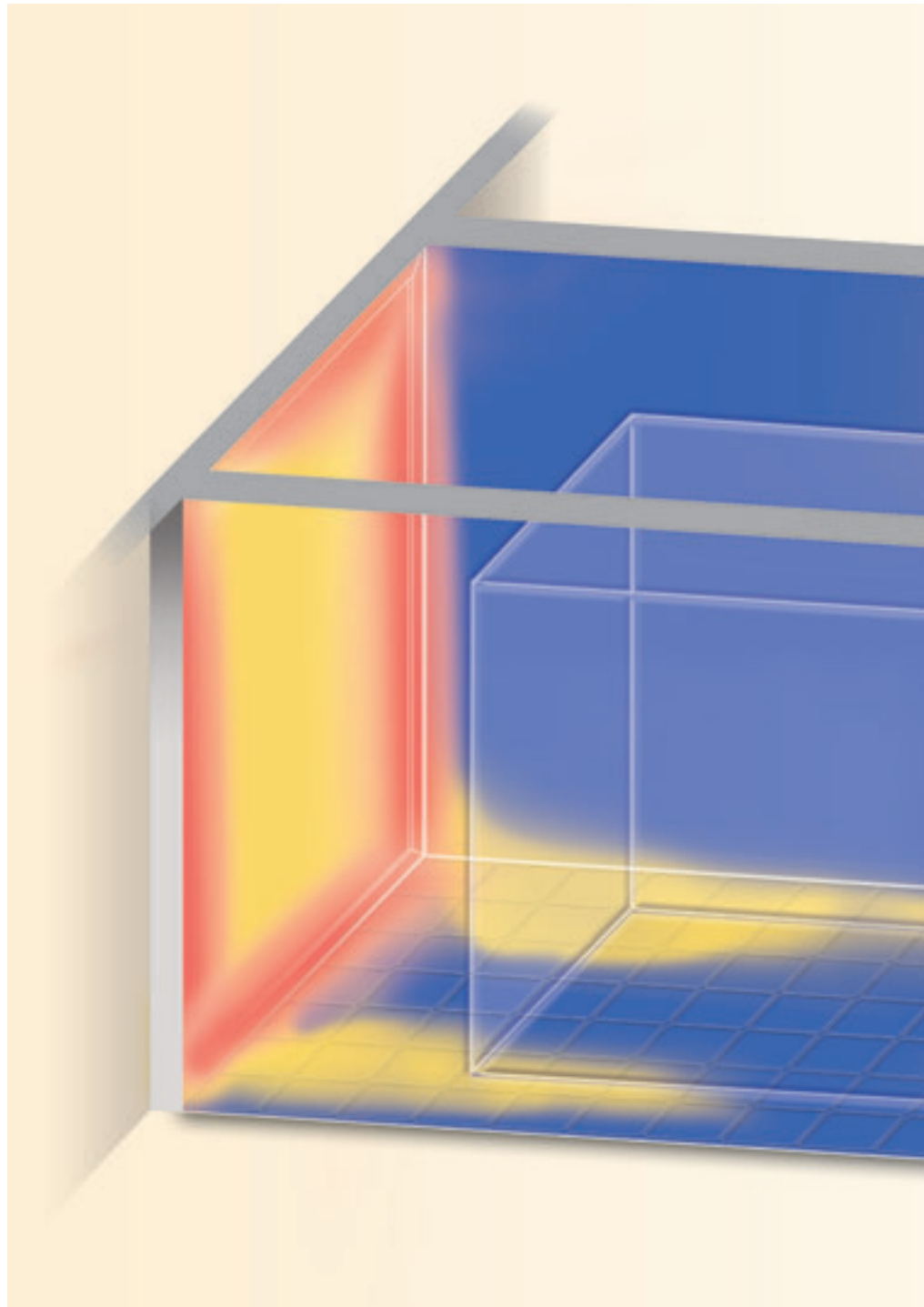
- Randzonen sind aus Sicht der thermischen Behaglichkeit nicht erforderlich.
- Möglichkeiten zur Absenkung der Systemtemperatur aus Sicht einer möglichen Energie- und Kostenersparnis in jedem Fall prüfen.

Fensterfläche 100 Prozent: Fußbodenheizung

(ohne Luftwechsel)

Die Außenflächen können auch als Glaswände (100 Prozent Fensterflächenanteil) ausgeführt werden. Dieser Einfluss wird im Niedrigenergiehaus mit Fußbodenheizung und ohne Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) untersucht. Damit sind der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel und Undichtigkeiten nicht berücksichtigt.

Die vollverglaste Außenfläche verstärkt kalte Fallströme und erhöht das Zugluftisiko. Dadurch beeinträchtigt die große Fensterfläche die thermische Behaglichkeit auch innerhalb der Aufenthaltszone. Die Fußbodenheizung ohne Randzone kann die Einschränkung der thermischen Behaglichkeit bei Glaswänden nur teilweise kompensieren.



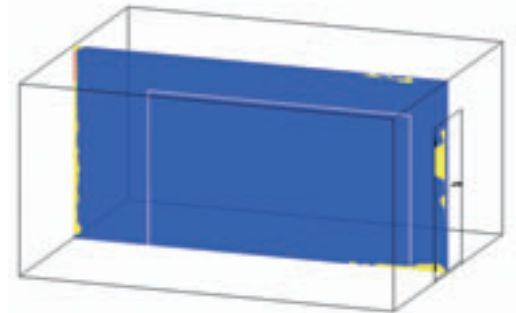
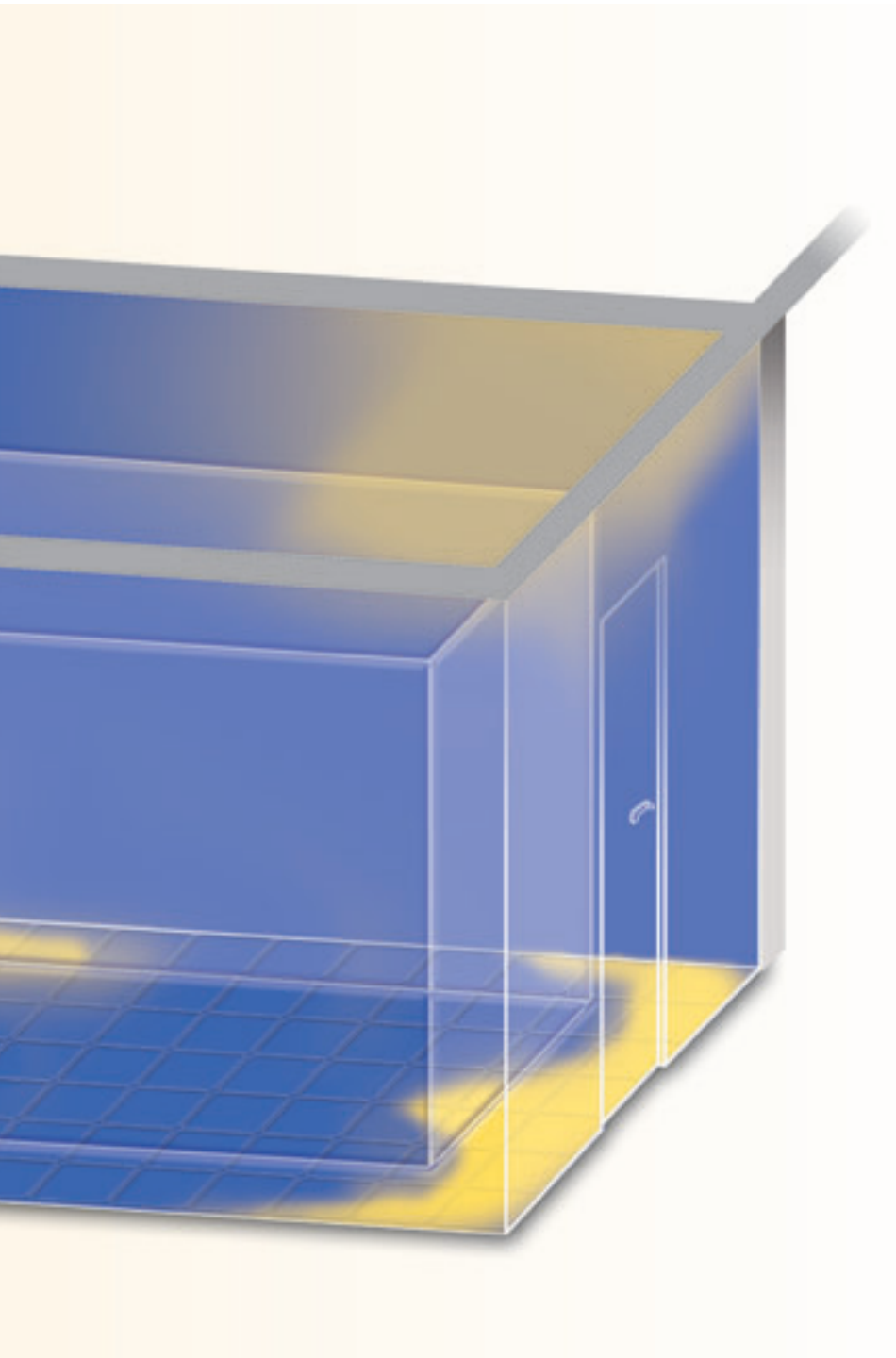
summative thermische Behaglichkeit

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

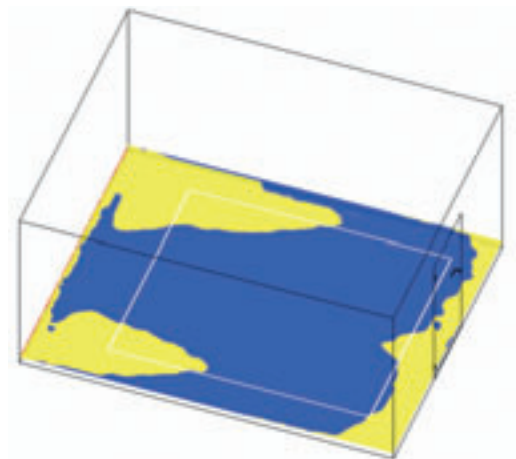


FAZIT

In der Aufenthaltszone ist mit einer Beeinträchtigung der Behaglichkeit durch Zugluftisiko im Fußbereich zu rechnen. Die Behaglichkeitsklasse A wird nicht durchgehend erreicht. Im Bereich zwischen Fensterfront und Aufenthaltszone und an den Seitenwänden wird die Kategorie B erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein eingeschränkt behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)

**TIPP**

- Randzone ausbilden, um bedingte Verbesserung der thermischen Behaglichkeit zu erreichen.
- Bei gewünschter Fußbodenheizung in Kombination mit Glaswänden Hinweis auf Behaglichkeitseinschränkungen im Fußbereich geben.

D

Der Einfluss des Luftwechsels

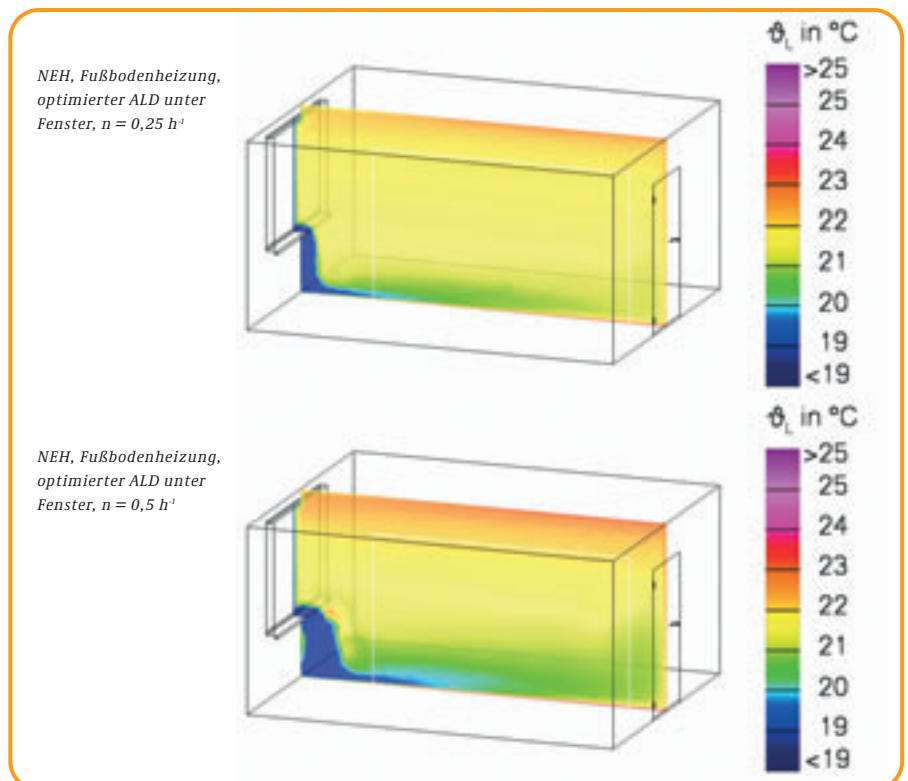
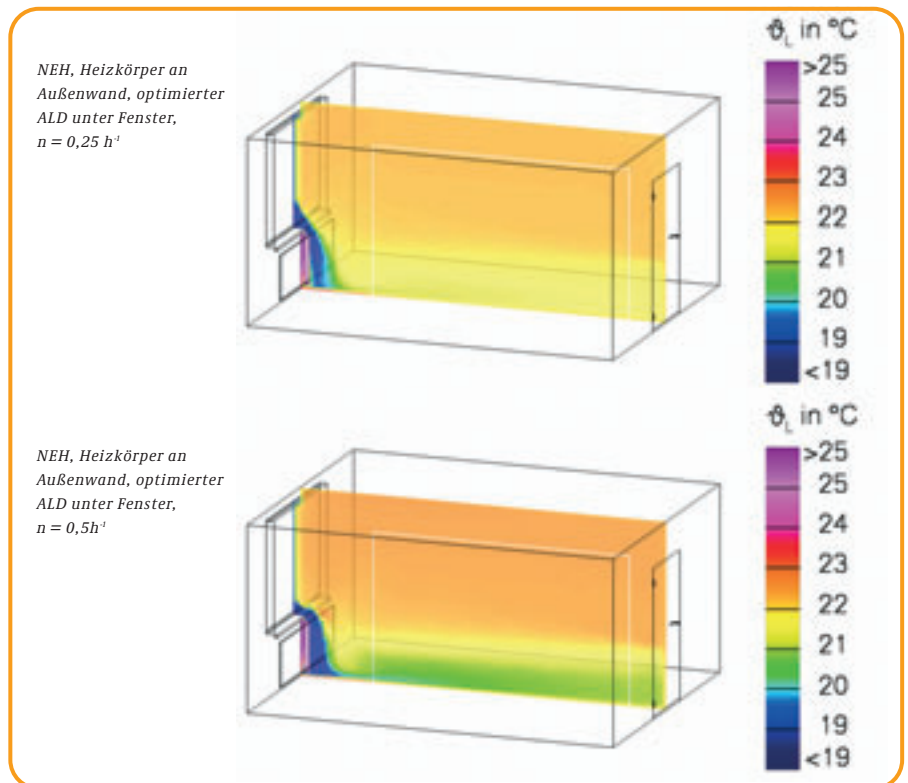
Der Luftwechsel hat einen entscheidenden Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Eine erste Aussage liefert die **Lufttemperatur**, die maßgeblich durch die Größe des Luftwechsels, die Witterungsverhältnisse sowie durch das Lüftungs- und das Heizungskonzept bestimmt wird.

Meist gelangt Außenluft durch Undichtigkeiten in der Gebäudefassade (z. B. Fensterfugen) oder durch Außenwand-Luftdurchlässe (ALD) direkt in den Raum. Neben dem realisierten Luftwechsel und den Witterungsverhältnissen beeinflussen Funktionsweise und Anordnung der ALD die thermischen Verhältnisse im Raum.

Alternativ kann mit sogenannten Zu- und Abluftsystemen dem Raum erwärmte Außenluft (man spricht dann von Zuluft) zugeführt werden. Der Einfluss des Lüftungskonzeptes auf die thermische Behaglichkeit wird in Abschnitt F: Lüftungssysteme diskutiert.

Bei der Festlegung des Außenluftwechsels ist die thermische Behaglichkeit selbstverständlich nur einer der zu beachtenden Aspekte. Bezieht man in die Überlegungen raumluftqualitative und bauphysikalische Anforderungen mit ein, so erweist sich ein Luftwechsel in der Größenordnung von $0,25 \text{ h}^{-1}$ (Vermeidung von Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall) bis $0,5 \text{ h}^{-1}$ (Einhaltung einer guten Raumlufqualität) als sinnvoll.

Lufttemperaturen in einer vertikalen Ebene in Raummitte



Grundsätzlich gilt: Mit zunehmendem Luftwechsel steigt das **Zugluftrisiko**. Für den in Wohngebäuden üblichen Wertebereich des Luftwechsels ergeben sich vergleichsweise geringe Unterschiede beim Zugluftrisiko. Besondere Aufmerksamkeit verdient dieser Aspekt allerdings in Büroräumen.

Sind keine Außenwand-Luftdurchlässe (ALD) installiert oder werden vorhandene Komponenten vom Nutzer verschlossen, gibt es im Aufenthaltsbereich praktisch kein Zugluftrisiko. Dies geht allerdings mit einer niedrigen Raumlufthqualität und der Gefahr von Schimmelpilzbildung einher. Ähnliche Verhältnisse hinsichtlich des Zugluftrisikos stellen sich bei kleinem Luftwechsel ein, wie er für ältere Fenster infolge von Undichtigkeiten oder die sogenannte Fensterspaltlüftung typisch ist (Luftwechsel im Bereich von $0,10 \text{ h}^{-1}$). Wird der Luftwechsel auf $0,25$ pro Stunde zur Sicherung des hygienischen Mindestluftwechsels oder auf $0,5$ pro Stunde zur Einhaltung einer guten Raumlufthqualität erhöht, steigt das Zugluftrisiko (in den Bildern für eine horizontale Ebene $0,1 \text{ m}$ über dem Fußboden) deutlich an.

Die Verhältnisse im Aufenthaltsbereich lassen sich aber durch Veränderung der Anordnung des ALD (z. B. hinter dem Heizkörper bzw. bei Fußbodenheizung an der Kante zwischen Außenwand und Fußboden) oder des Funktionsprinzips des ALD (optimiert für gute Durchmischung mit der Raumlufth) deutlich verbessern.

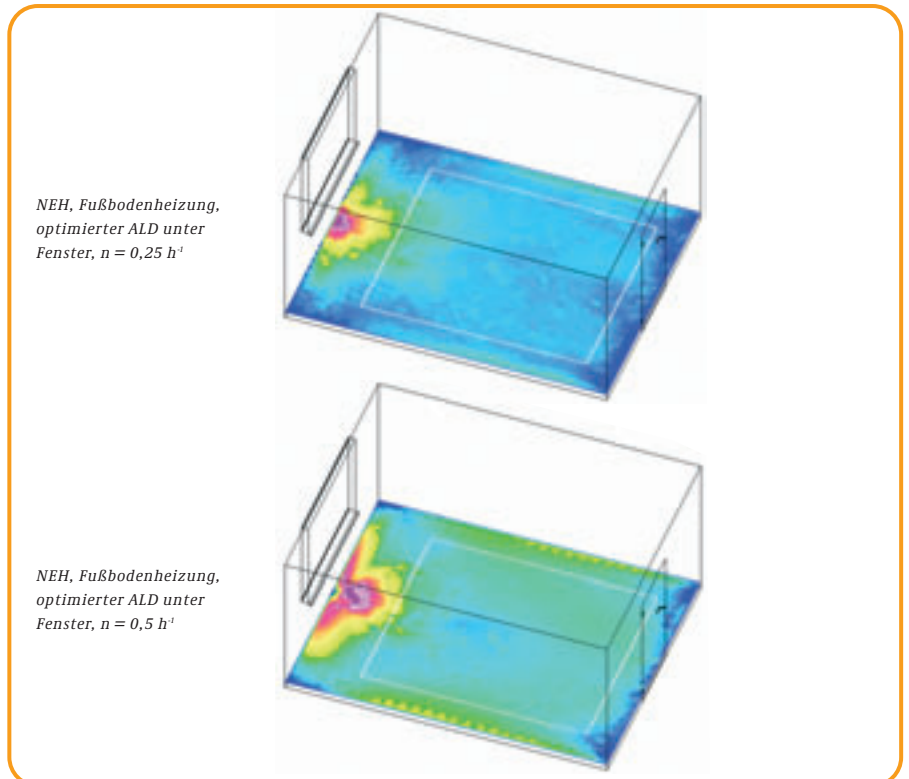
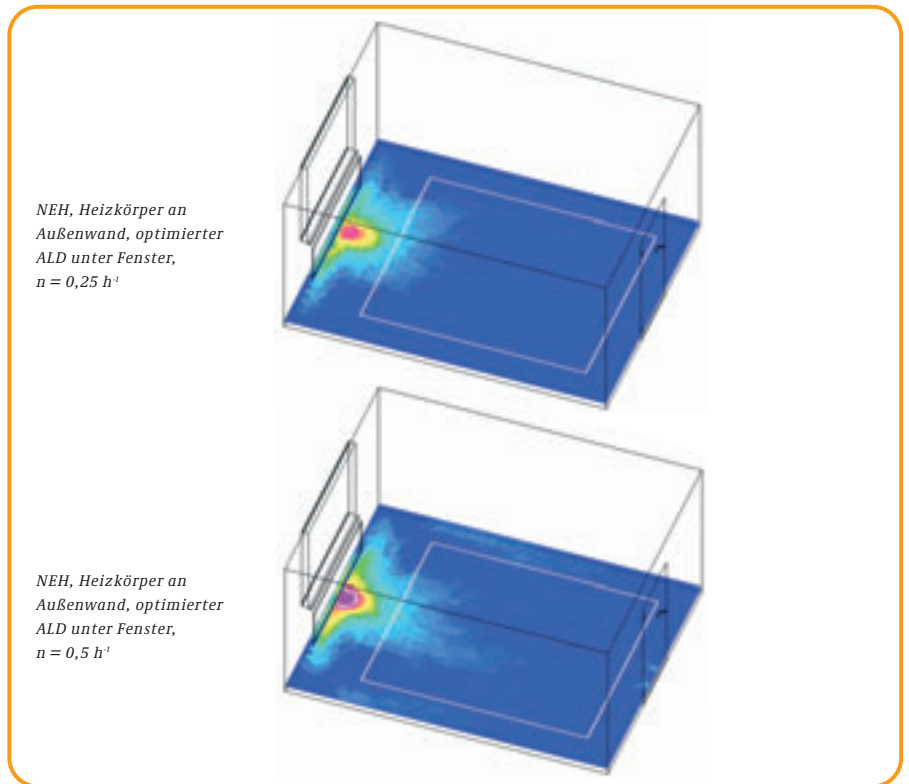
Zugluftrisiko



Unkritischer angenehmer Bereich



Kritischer Bereich

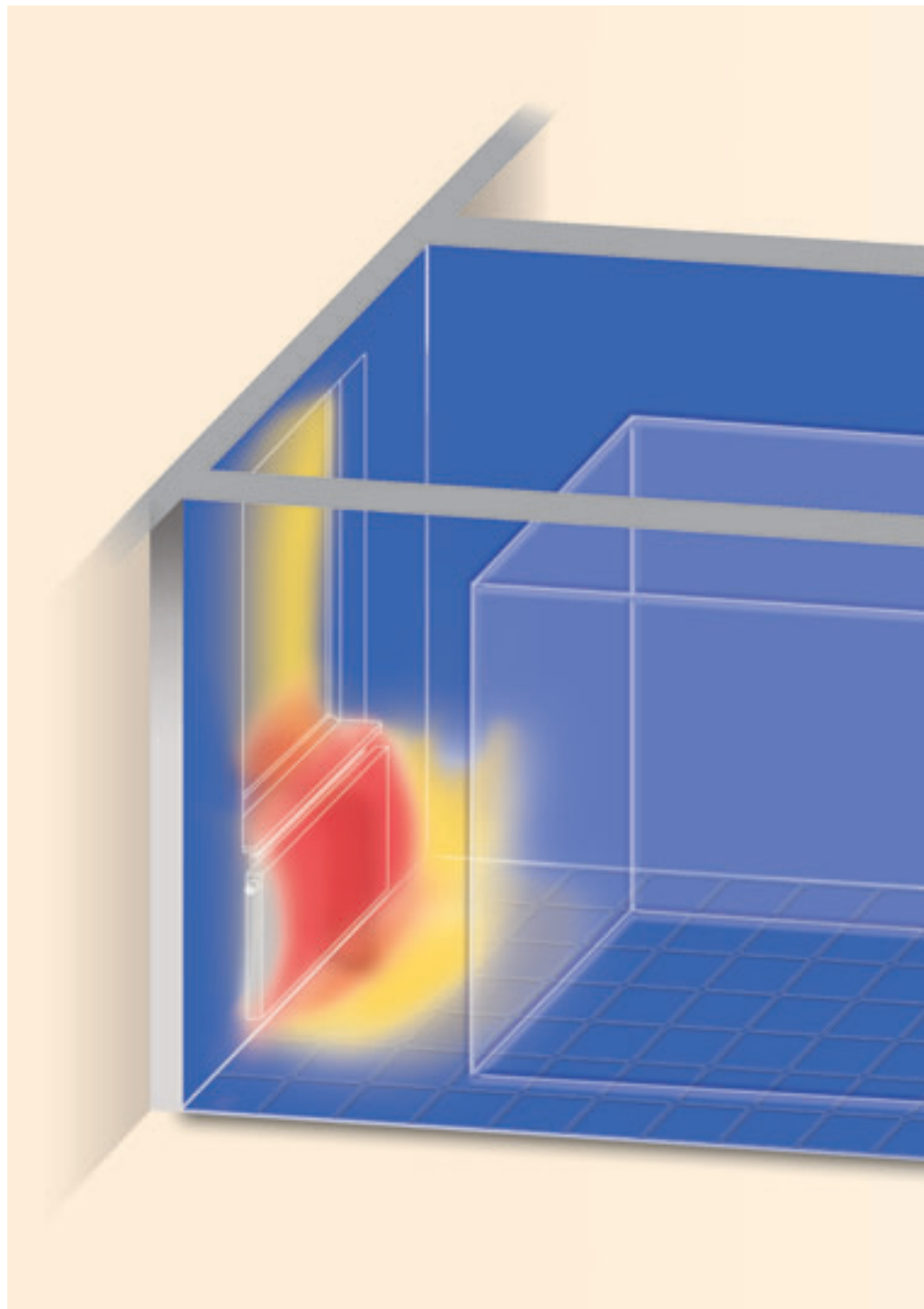


Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$: Heizkörper

Welchen Einfluss hat der über einen Außenwand-Luftdurchlass (ALD) unterhalb des Fensters realisierte Luftwechsel in Kombination mit einem Heizkörper auf die thermische Behaglichkeit im Raum?

Der Modellraum befindet sich in einem Niedrigenergiehaus bzw. in einem vergleichbar sanierten Gebäude. Der Fensterflächenanteil an der Außenwand beträgt 30 Prozent, der Heizkörper ist unter dem Fenster angeordnet. Ein Luftwechsel von 0,25 pro Stunde über den optimierten ALD sichert den hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsel.

Durch Funktionsweise und Platzierung des optimierten ALD unter dem Fenster entsteht zusätzlich zum kalten Luftstrom im Bereich des Fensters ein Kaltlufteintritt im Heizkörperbereich. Im Ergebnis dieser Einflüsse wird die thermische Behaglichkeit im Raum durch wahrnehmbare Luftbewegung beeinflusst. Durch die Platzierung des Heizkörpers unter dem Fenster wird die einströmende Kaltluft außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt. Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



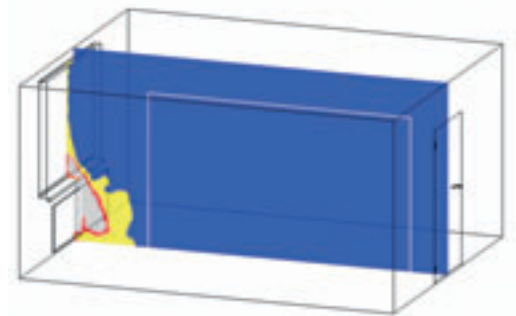
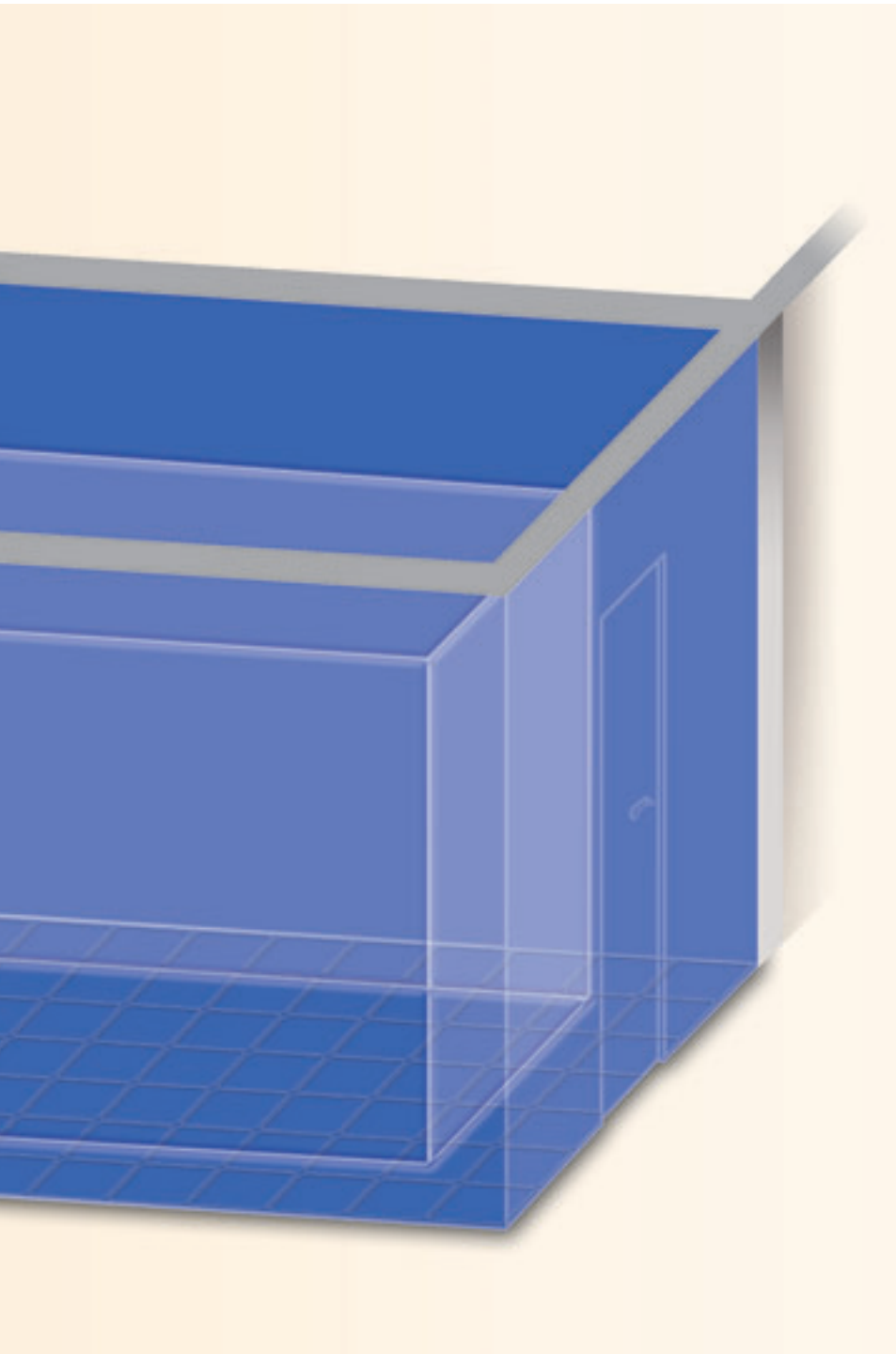
summative thermische Behaglichkeit

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

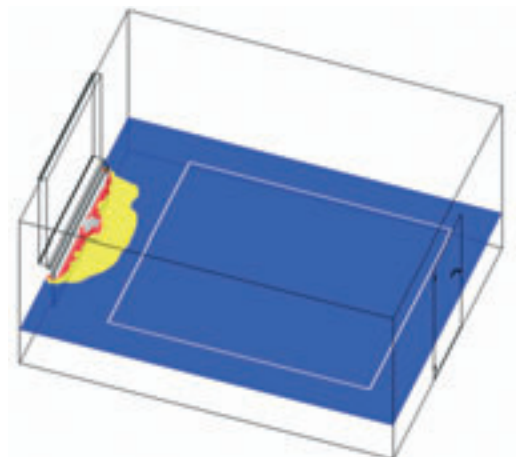


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone gibt es kleine Defizite, hier wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**TIPP**

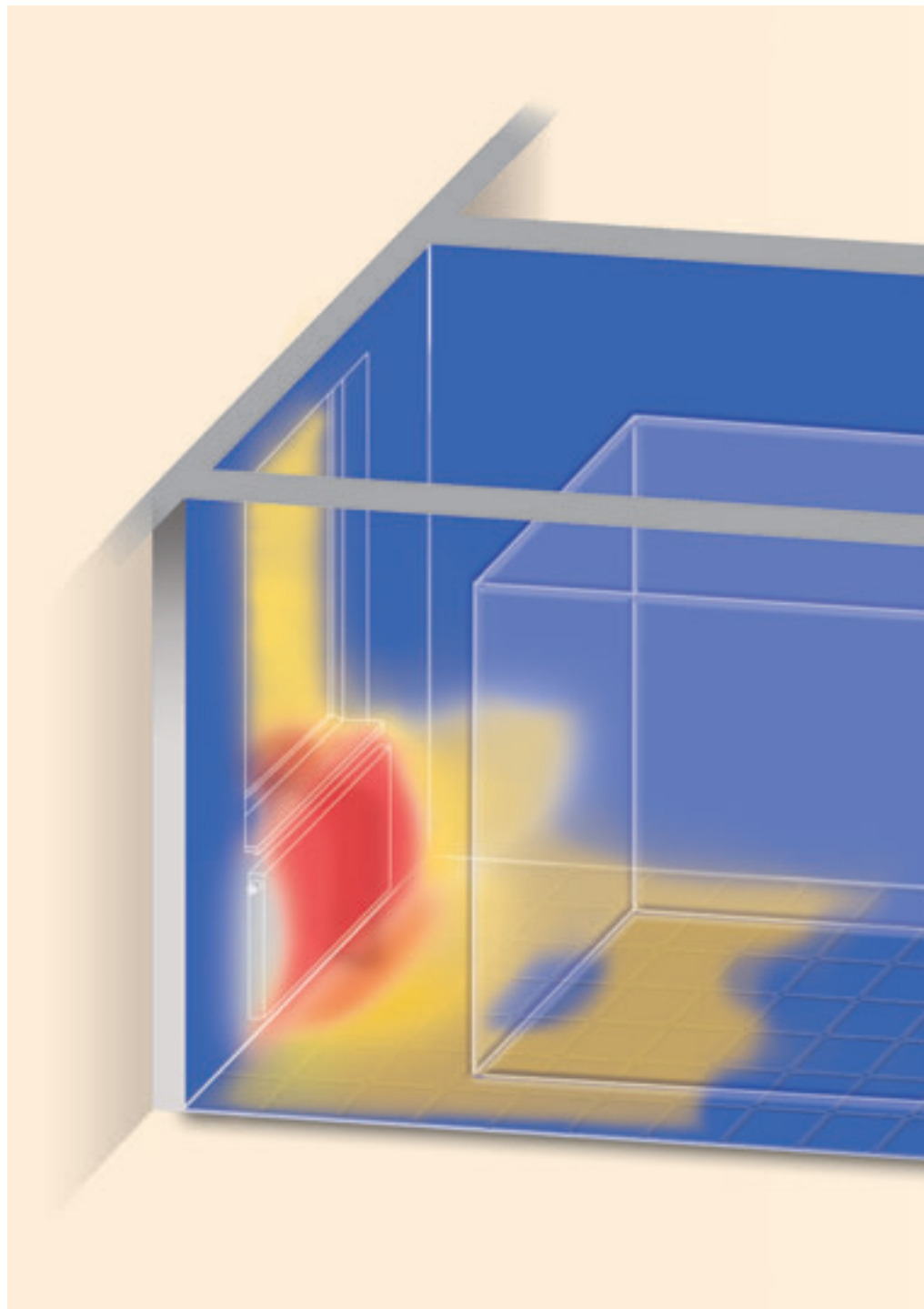
- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- ALD hinsichtlich Anordnung (unter dem Fenster bzw. hinter dem Heizkörper) und Funktionsweise (schnelle Erwärmung der Außenluft z. B. durch gute Durchmischung mit der Raumluft) optimieren.
- Heizkörperlänge sollte mindestens so breit wie das Fenster gewählt werden.

Luftwechsel $n = 0,50 \text{ h}^{-1}$: Heizkörper

Zur Einhaltung einer guten Raumluftqualität wird oft ein Luftwechsel in einer Größenordnung von 0,5 pro Stunde gefordert.

Es wird ein Raum in einem Niedrigenergiehaus (oder einem vergleichbar sanierten Gebäude) untersucht. Der Fensterflächenanteil an der Außenwand beträgt 30 Prozent. Der Heizkörper ist an der Außenwand unter dem Fenster angeordnet. Über den optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) wird ein Luftwechsel von 0,5 pro Stunde realisiert.

Es entsteht ein verstärkter Kaltlufteintritt im Heizkörperbereich zusätzlich zum kalten Luftstrom im Bereich des Fensters. Die verstärkte Luftbewegung im Außenwandbereich wird durch die Platzierung des Heizkörpers unterhalb des Fensters fast vollständig kompensiert, die einströmende Kaltluft wird noch wesentlich außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt.



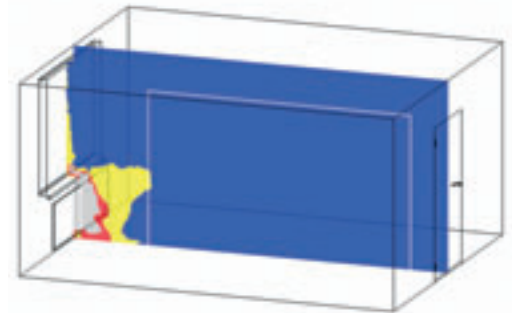
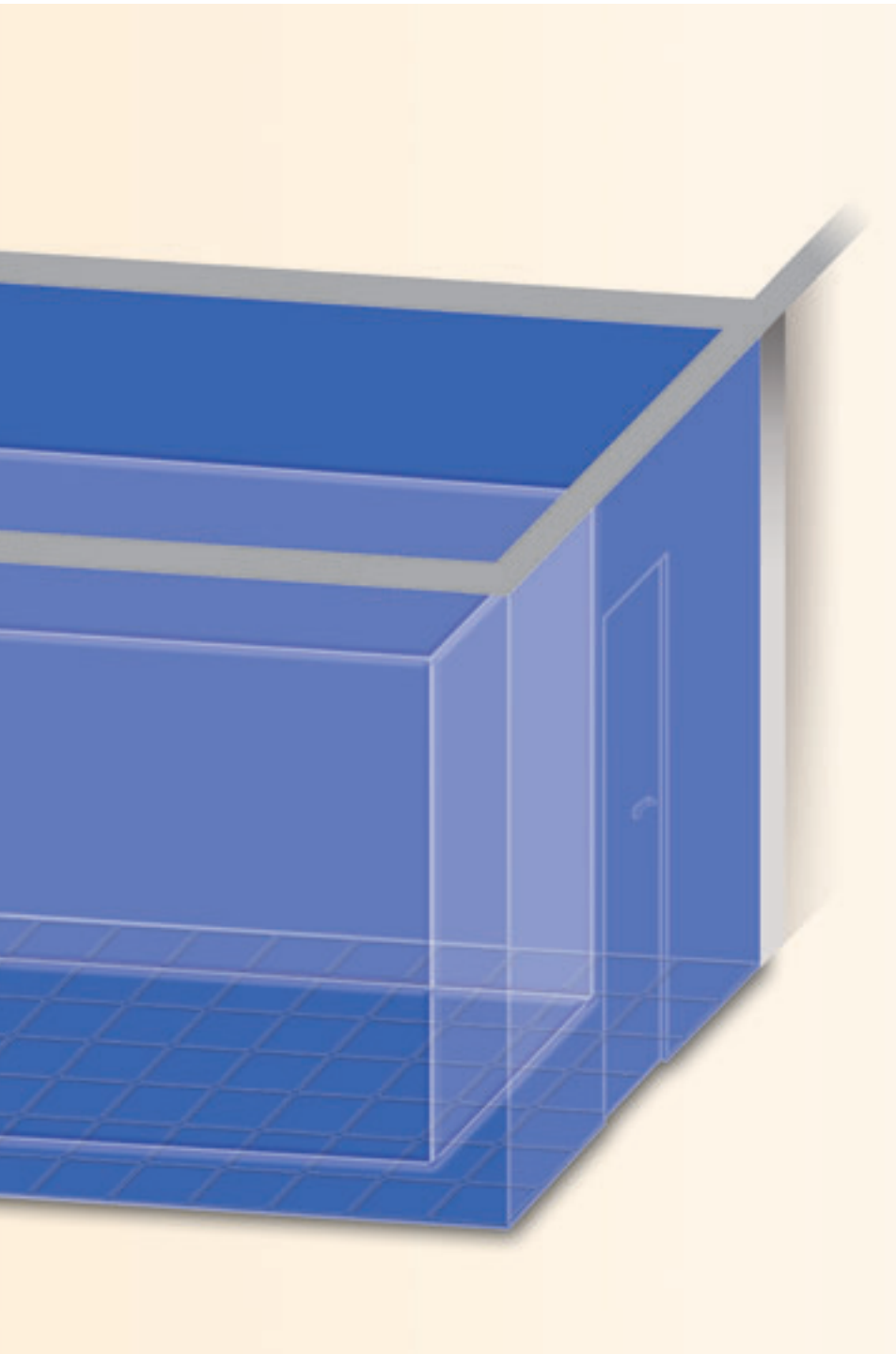
summative thermische Behaglichkeit

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

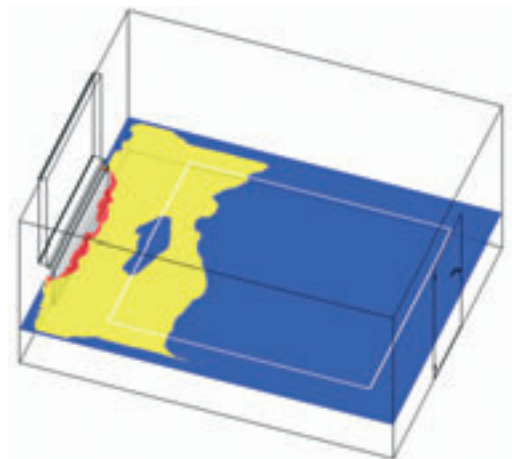


FAZIT

Im Aufenthaltsbereich wird fast durchgängig die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone gibt es Einschränkungen der thermischen Behaglichkeit, hier wird die Kategorie B oder C erreicht. In der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein weitgehend behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,6 m über Fußboden)

**TIPP**

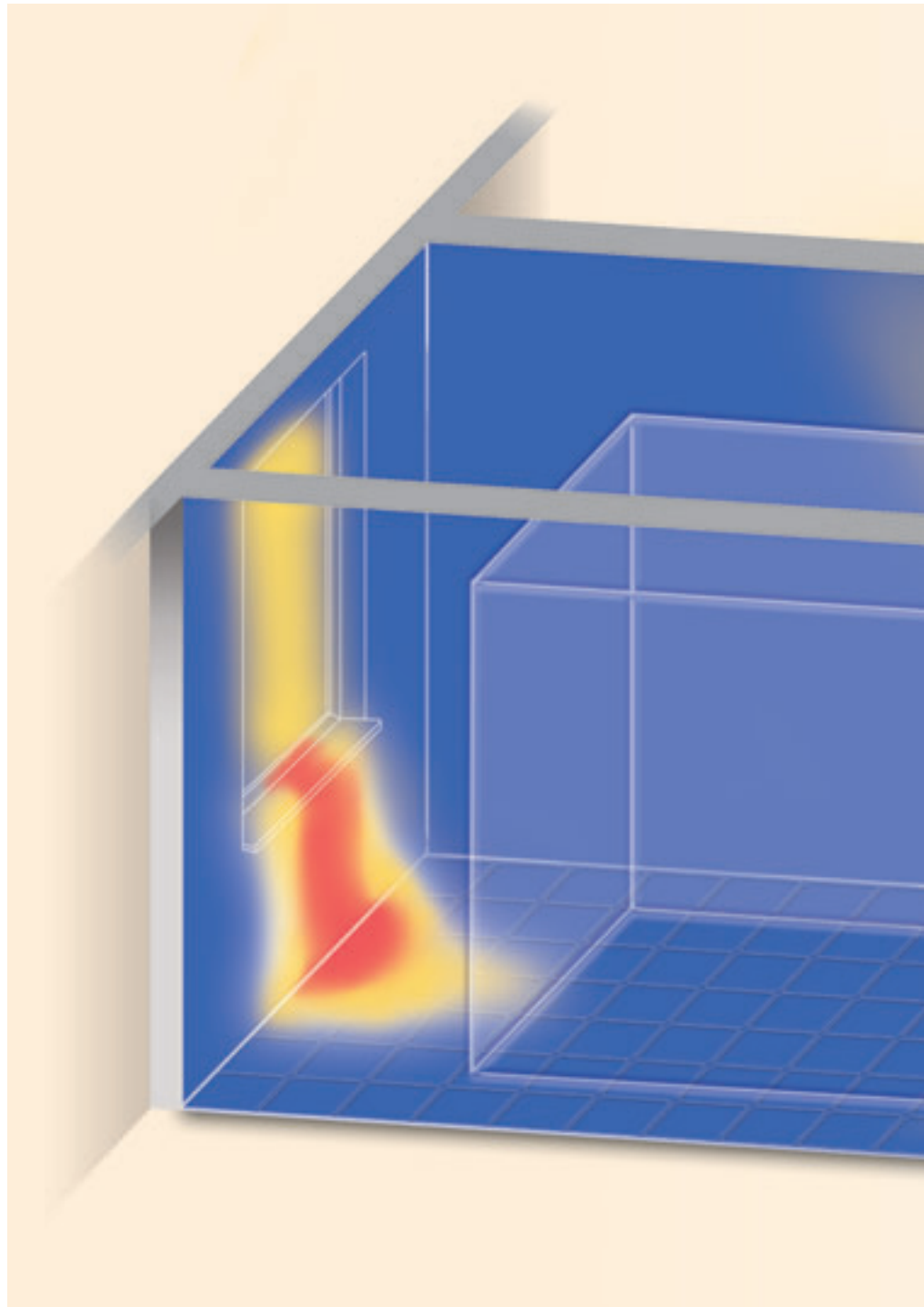
- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- ALD hinsichtlich Anordnung (unter dem Fenster bzw. hinter dem Heizkörper) und Funktionsweise (schnelle Erwärmung der Außenluft z. B. durch gute Durchmischung mit der Raumluft) optimieren.
- Heizkörperlänge sollte mindestens so breit wie das Fenster gewählt werden.

Luftwechsel $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$: Fußbodenheizung

Welchen Einfluss hat der über einen Außenwand-Luftdurchlass (ALD) unterhalb des Fensters realisierte Luftwechsel in Kombination mit einer Fußbodenheizung auf die thermische Behaglichkeit im Raum?

Der Modellraum befindet sich in einem Niedrigenergiehaus oder in einem vergleichbar sanierten Gebäude. Der Fensterflächenanteil an der Außenwand beträgt 30 Prozent. Der Raum ist mit einer Fußbodenheizung (ohne Randzone) ausgestattet. Der Luftwechsel beträgt 0,25 pro Stunde zur Sicherung des hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsels.

Der Kaltlufteintritt durch den optimierten ALD in Kombination mit dem kalten Luftstrom im Fensterbereich verursachen im Raum eine Komforteinschränkung im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone. Durch die Fußbodenheizung wird die Luft allerdings noch außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt. Bei einem vernachlässigbaren Luftwechsel ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) verbessert sich die thermische Behaglichkeit deutlich.



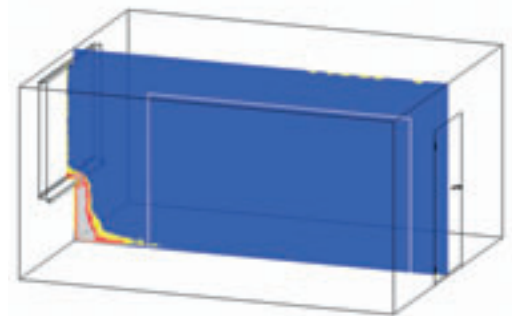
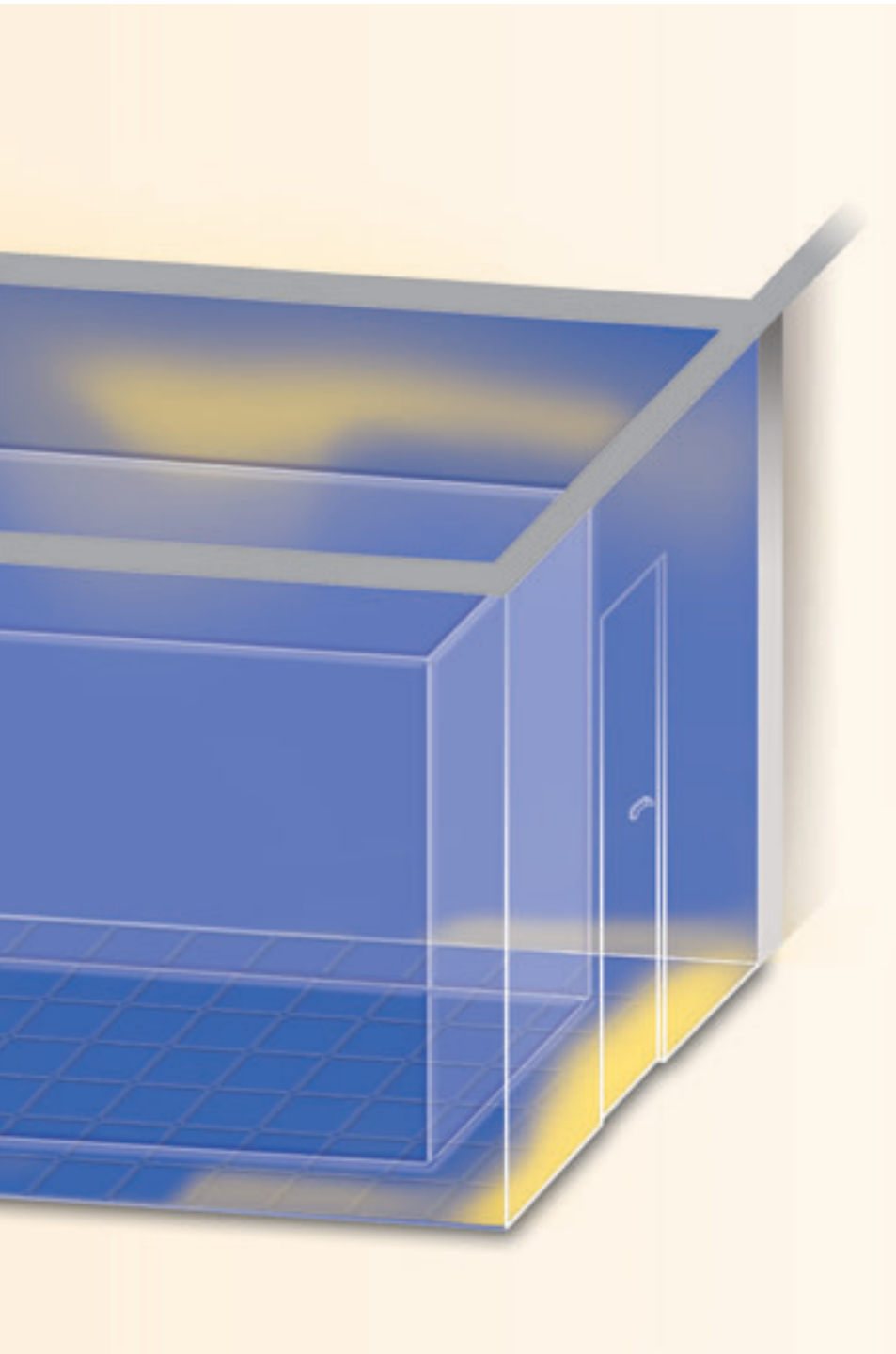
summativ thermische Behaglichkeit

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

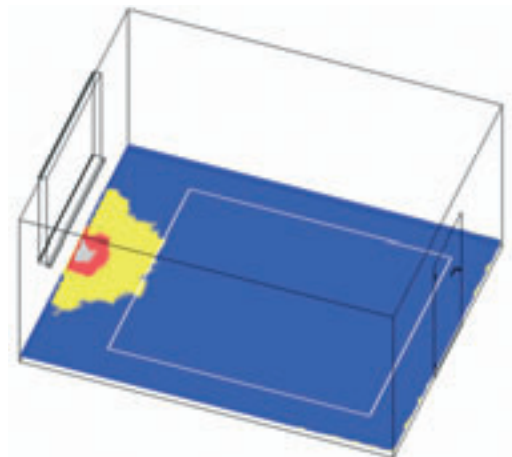


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone gibt es Defizite, hier wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)



TIPP

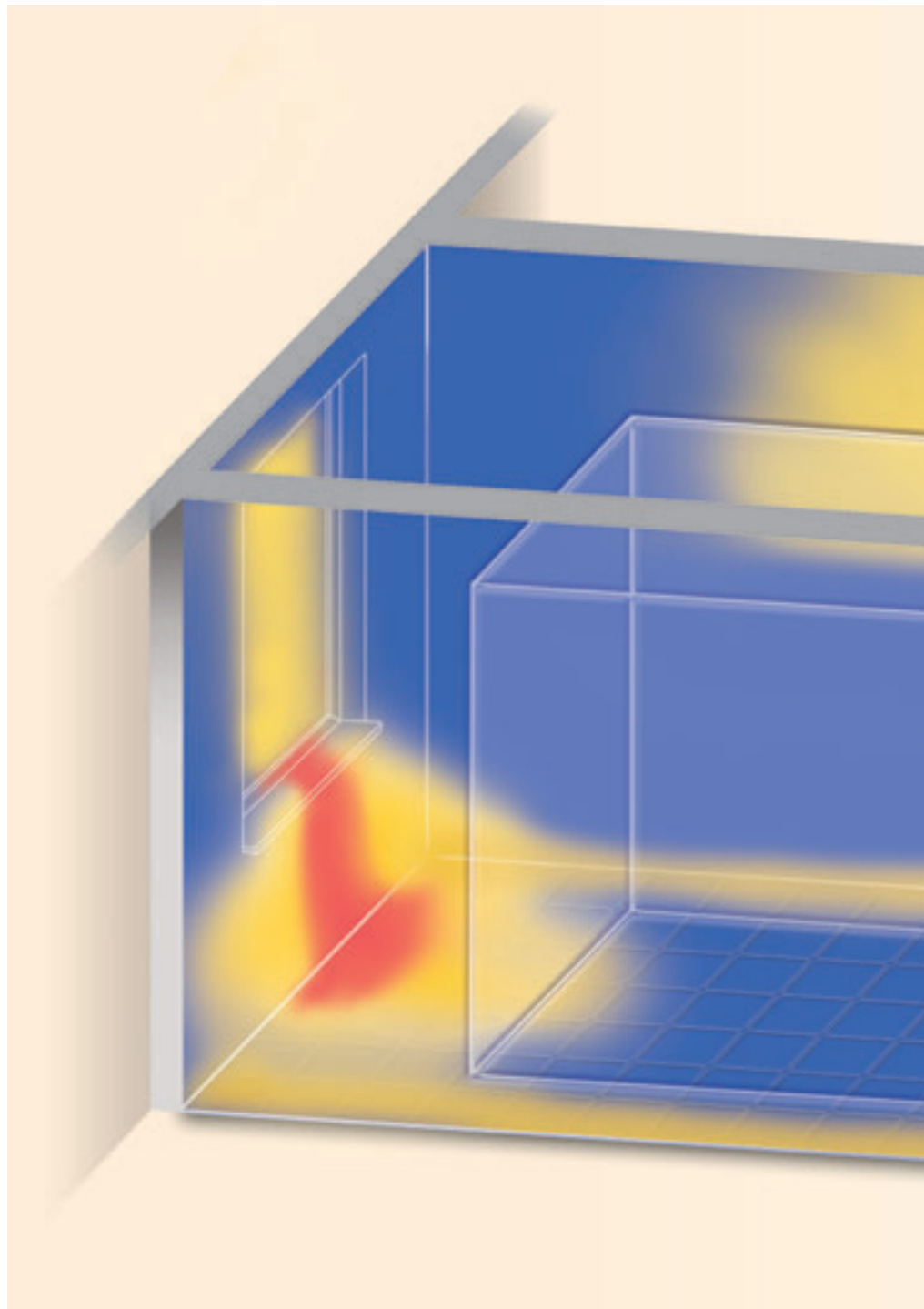
- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- ALD hinsichtlich Anordnung (unter dem Fenster bzw. oder an der Kante zwischen Außenwand und Fußboden) und Funktionsweise (schnelle Erwärmung der Außenluft z. B. durch gute Durchmischung mit der Raumluft) optimieren.
- Randzone ausbilden, um bedingte Verbesserung der thermischen Behaglichkeit zu erreichen.

Luftwechsel $n = 0,50 \text{ h}^{-1}$: Fußbodenheizung

Zur Einhaltung einer guten Raumluftqualität wird oft ein Luftwechsel in einer Größenordnung von 0,5 pro Stunde gefordert.

Es wird ein Raum entsprechend Niedrigenergiehaus-Standard (oder ein vergleichbar saniertes Gebäude) untersucht. Der Fensterflächenanteil an der Außenwand beträgt 30 Prozent. Der Raum ist mit einer Fußbodenheizung (ohne Randzone) ausgestattet. Über den optimierten Außenwand-Luftdurchlass (ALD) wird ein Luftwechsel von 0,5 pro Stunde realisiert.

Der Eintritt der kalten Außenluft durch den optimierten ALD in Kombination mit dem kalten Luftstrom im Fensterbereich verursachen im Raum eine Komforteinschränkung im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone. Durch die Fußbodenheizung kann die Luft weitestgehend außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt werden.



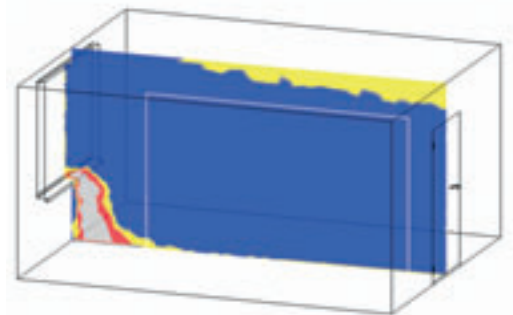
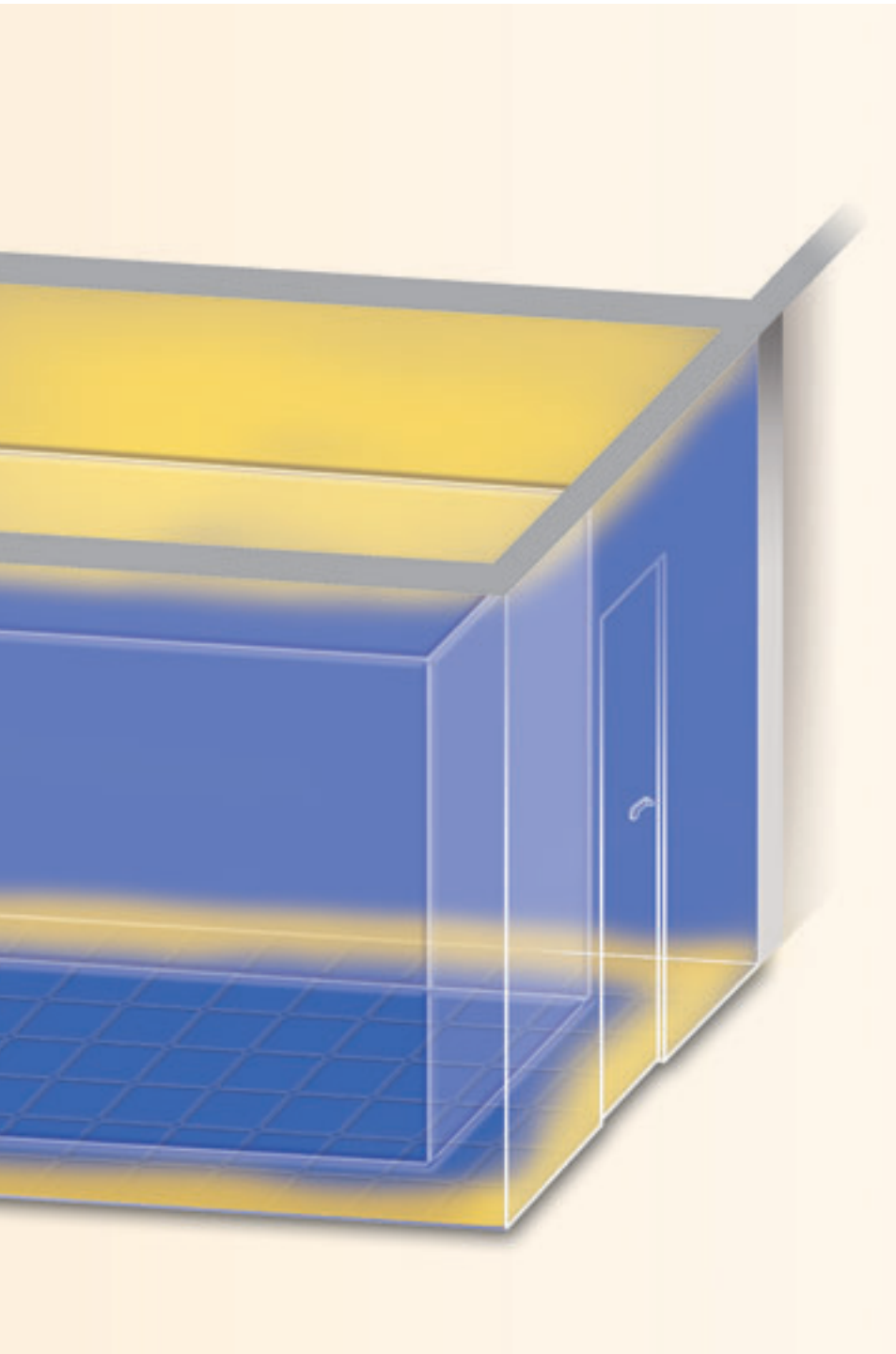
summativ thermische Behaglichkeit

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

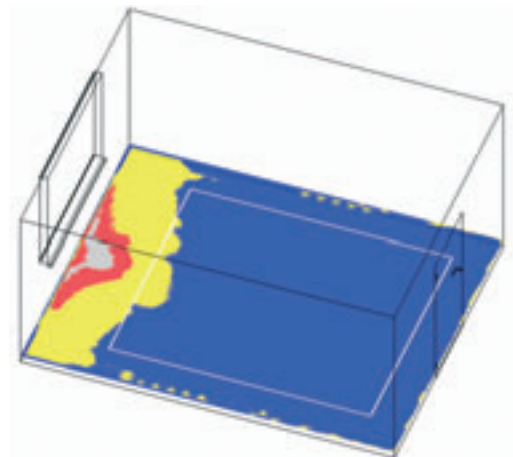


FAZIT

In der Aufenthaltszone wird überwiegend die Behaglichkeitsklasse A erzielt. Im Bereich zwischen Fenster und Aufenthaltszone gibt es stärkere Defizite, hier wird die Kategorie B oder C erreicht. Innerhalb der Aufenthaltszone erwartet den Nutzer ein weitgehend behagliches Raumklima.



Vertikale Ebene



Horizontale Ebene (0,1 m über Fußboden)



TIPP

- Optimierte ALD zur Sicherung des Mindestluftwechsels (Vermeidung von Schimmelpilz) einsetzen.
- ALD hinsichtlich Anordnung (unter dem Fenster bzw. oder an der Kante zwischen Außenwand und Fußboden) und Funktionsweise (schnelle Erwärmung der Außenluft z. B. durch gute Durchmischung mit der Raumluft) optimieren.
- Randzone ausbilden, um bedingte Verbesserung der thermischen Behaglichkeit zu erreichen.

E

Der Einfluss des Heizsystems

Bei den Heizsystemen wird zwischen Anlagen mit Heizkörpern, mit Flächenheizungen und Luftheizungen unterschieden. Über deren Akzeptanz entscheiden meist die Auffassungen der Bauherren zur thermischen Behaglichkeit.

So werden üblicherweise

- die unterschiedlichen Strahlungsasymmetrien und damit die Oberflächentemperaturen des Raumes sowie
- die vertikale Lufttemperaturverteilung als spezifische Merkmale hervorgehoben.

Die einzelnen Heizsysteme wirken unterschiedlich auf die Oberflächentemperaturen der Raumwände, Decken und Fußböden. Diese Temperaturdifferenzen sind auf die Wärmeübertragung bei den einzelnen Heizsystemen zurückzuführen. So zeigt sich beispielsweise:

Heizkörper: die Strahlung des Heizkörpers auf die Fußbodenfläche

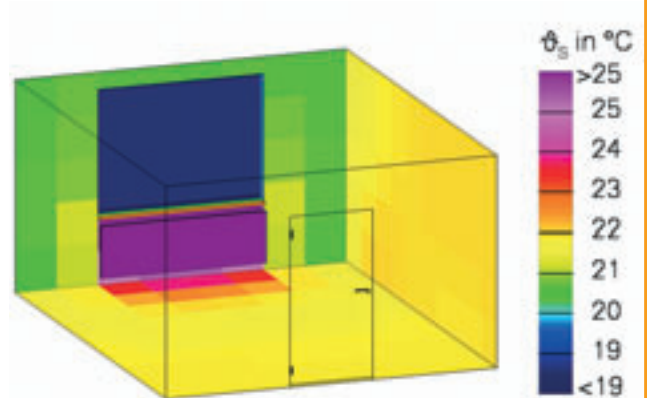
Fußbodenheizung: die kühlende Wirkung des Fensters auf die Fußbodenfläche

Luftheizung: die Aufheizung der oberen Seitenflächen durch die Warmluft

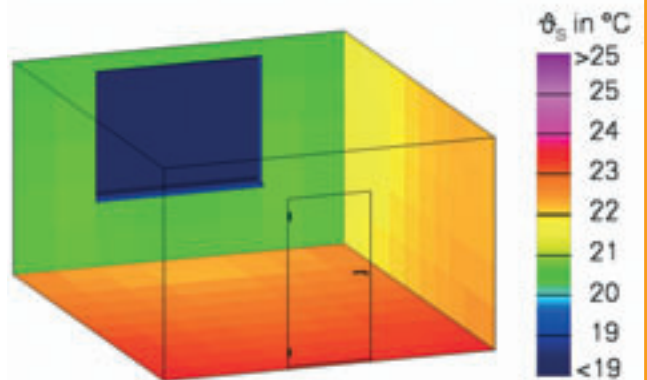
Beim Niedrigenergiehaus liegen insgesamt sehr ausgeglichene thermische Verhältnisse vor. Die eingesetzten Heizsysteme unterscheiden sich in erster Linie beim Zugluftrisiko, d. h. der thermischen Kompensation eintretender kalter Außenluft.

Oberflächentemperaturen verschiedener Raumumschließungsflächen im Niedrigenergiehaus

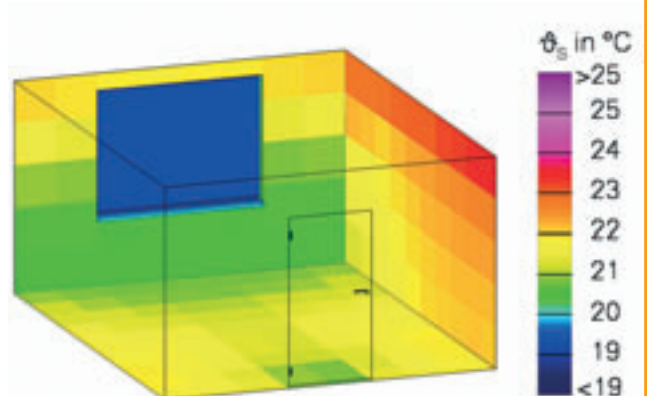
Heizkörper an Außenwand, ohne Luftwechsel



Fußbodenheizung ohne Randzone, ohne Luftwechsel



Luftheizung mit Zuluftdurchlass über Tür, Luftwechsel $n = 0,75 \text{ h}^{-1}$

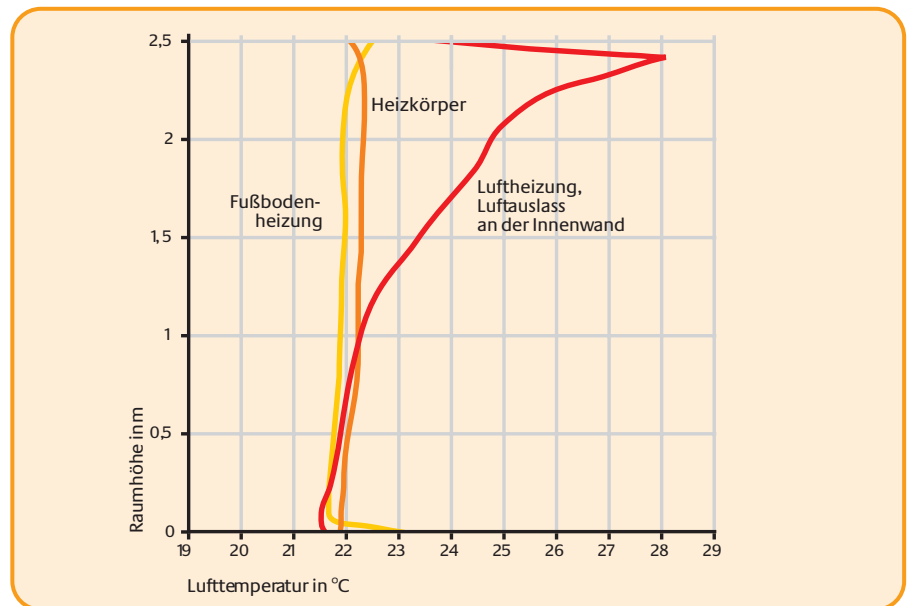


Für den **vertikalen Lufttemperaturverlauf** sind vor allem folgende Faktoren maßgeblich:

- Wärmeverlust des Raumes
- Verhältnis von Konvektion und Strahlung bei der Wärmeabgabe der Heizflächen
- Anordnung von heiztechnischen Komponenten im Raum (z. B. Heizkörper)

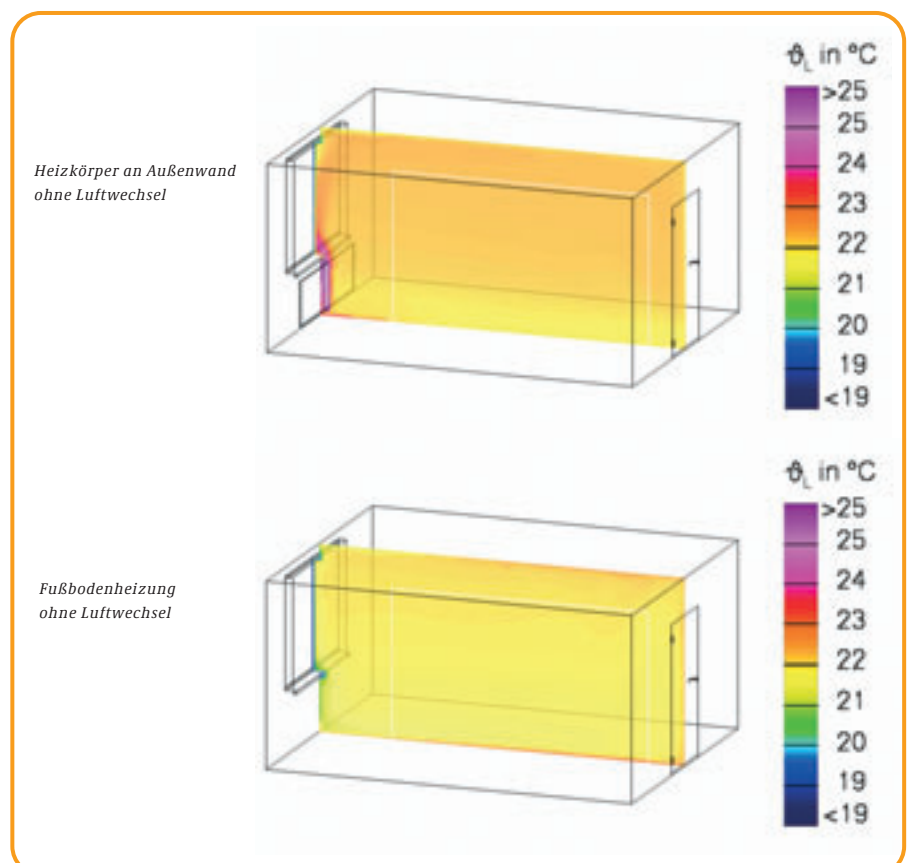
Bei Luftheizungen sind speziell die Faktoren:

- Zulufttemperatur und Luftvolumenstrom sowie
- Anordnung des Luftdurchlasses im Raum zu beachten.



Vertikaler Lufttemperaturverlauf in der Aufenthaltszone für verschiedene Heizsysteme (Niedrigenergiehaus)

Beim Niedrigenergiehaus unterscheiden sich die **vertikalen Lufttemperaturverläufe** der Wasserheizsysteme nur geringfügig. Innerhalb der Aufenthaltszone lassen sich kaum Differenzen im vertikalen Lufttemperaturverlauf feststellen. Nur in unmittelbarer Nähe zur Außenwand treten charakteristische Besonderheiten der einzelnen Heizsysteme auf. Günstige Verhältnisse finden sich auch bei der – nicht abgebildeten – Luftheizung, wenn der Zuluftdurchlass an der Kante von Außenwand und Fußboden angeordnet wird.



Lufttemperaturen in einer vertikalen Ebene in Raummitte im Niedrigenergiehaus

F

Der Einfluss des Lüftungssystems

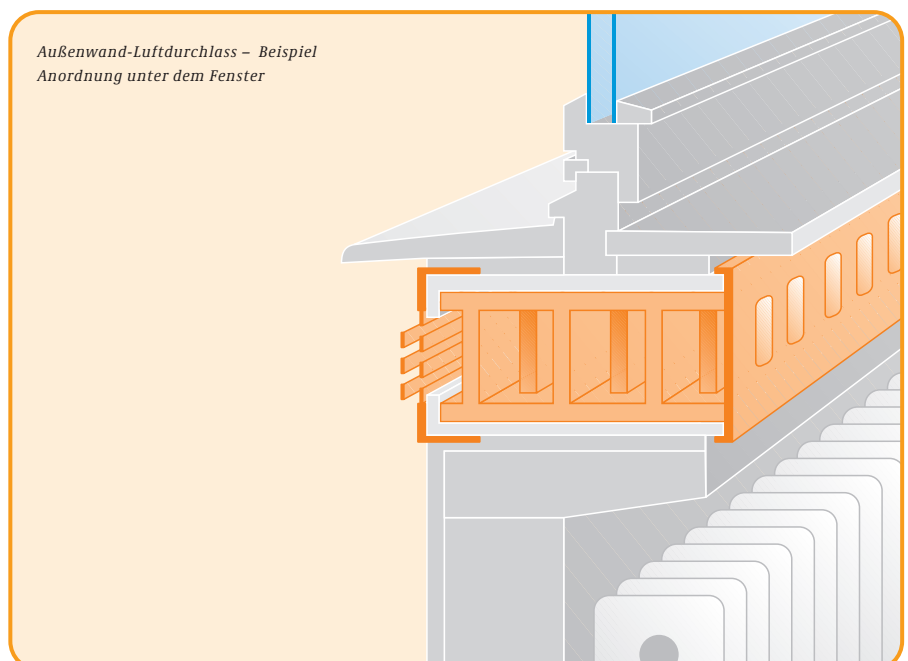
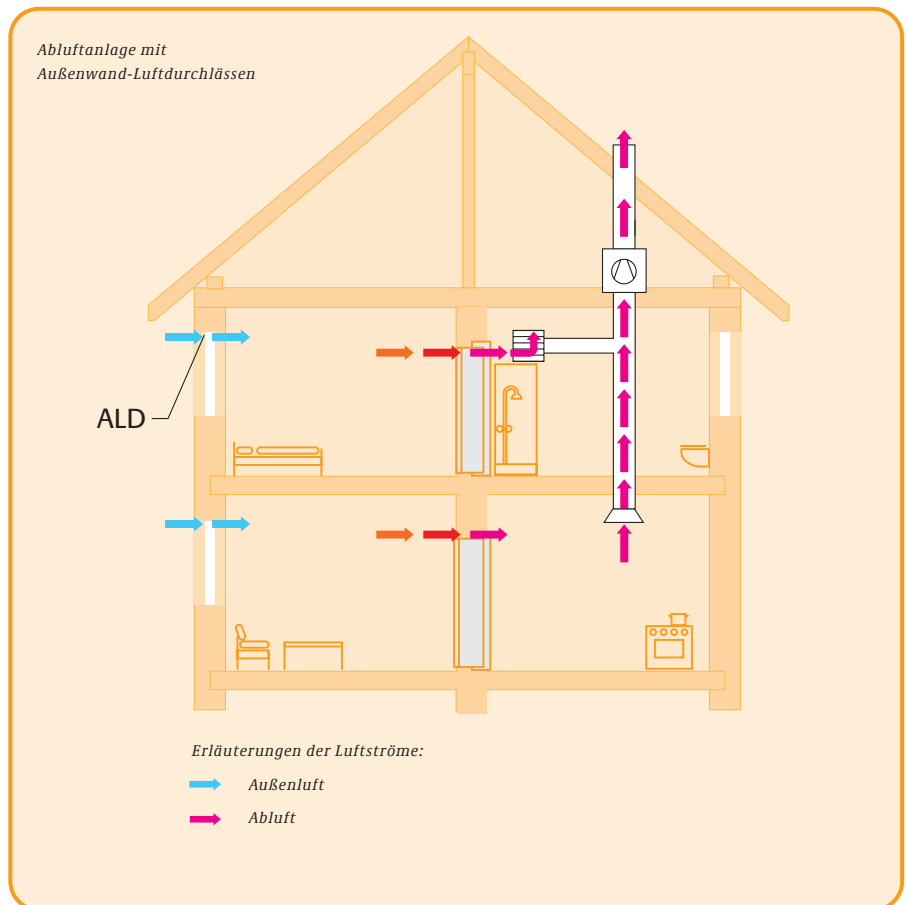
Abluftsysteme mit Außenwand-Luftdurchlässen (ALD)

Bei Abluftsystemen wird Luft aus stark belasteten Bereichen, z. B. Küche, Bad und WC, mit einem Ventilator abgesaugt und nach außen gefördert.

In zunehmend dichten Gebäuden wie dem Niedrigenergiehaus sollten zur Luftnachströmung Außenwand-Luftdurchlässe (ALD) vorrangig in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern eingebaut werden.

Aus Sicht der thermischen Behaglichkeit ist bei der punktuell durch ALD einströmenden Außenluft vor allem das **Zugluft-Risiko** zu beachten. Die weiteren Behaglichkeitskriterien werden meist eingehalten.

Die Vermeidung von Zugluft wird maßgeblich von der Anordnung und dem Funktionsprinzip des ALD sowie vom Luftwechsel und dem Heizsystem des Raumes beeinflusst. Orientiert am Zugluft-Risiko werden konstruktiv einfache und optimierte ALD unterschieden. Vorteilhaft wirken sich beispielsweise eine angepasste Einströmgeschwindigkeit und die Ablenkung der einströmenden Außenluft aus. Eine weitere Möglichkeit, Außenluft in das Gebäude nachströmen zu lassen, besteht in der sogenannten Fensterspaltlüftung. Bei nutzerabhängigen Lösungen sorgt eine zusätzliche Position des Fenstergriffes für den Spalt zwischen Fensterrahmen und Fensterflügel. Der durch diese Spaltlüftung realisierbare Luftwechsel ist allerdings auf etwa $0,1 \text{ h}^{-1}$ begrenzt. Bei ausschließlicher Nutzung der Fensterspaltöffnung besteht die Gefahr der Schimmelpilzbildung.



Die nachfolgend angeführten Luftwechselzahlen basieren auf den Abmessungen des verwendeten Modellraumes ($4 \times 5 \times 2,5 \text{ m}$).

Zugluftrisiko

Unkritischer angenehmer Bereich



Kritischer Bereich

Grundsätzlich wird der ALD an der Außenwand angeordnet.

Die Positionierung kann

- unter, über oder neben dem Fenster,
- in Kombination mit der Heizfläche oder
- an anderen Stellen der Außenwand erfolgen.

Besonders positiv wirkt sich ein Konzept aus, bei dem der ALD hinsichtlich Anordnung und Funktionsweise optimiert ist. Als günstig erweist sich:

Anordnung:

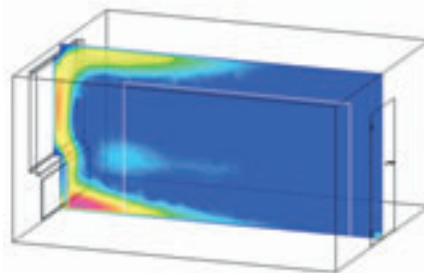
- unter dem Fenster,
- hinter dem Heizkörper,
- an der Kante zwischen Außenwand und Fußboden bei Fußbodenheizung.

Funktionsweise:

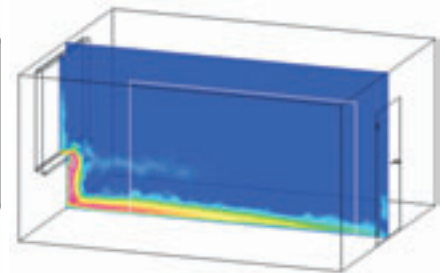
- gezielte Luftführung (z. B. Umlenkung),
- gute Durchmischung mit der Raumluft (z. B. hohes Induktionsverhältnis),
- verbesserte Regelung (z. B. reduzierter Volumenstrom bei niedrigen Außentemperaturen).

Mit kleinerem Abstand zwischen Heizfläche und ALD sinkt das Zugluftrisiko.

Zugluftrisiko im NEH bei **einfachen** Lösungen für den ALD (Luftwechsel $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$)

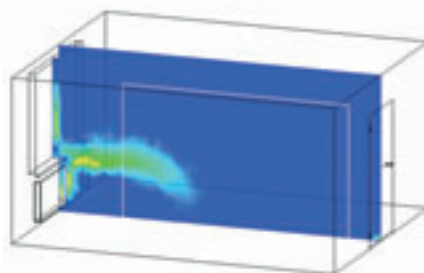


Heizkörper an Außenwand, ALD mit Kernbohrung neben Fenster

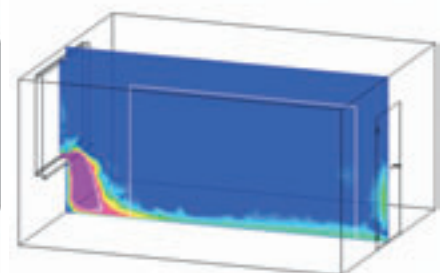


Fußbodenheizung, Schlitz-ALD unter Fenster

Zugluftrisiko im NEH bei **optimierten** Lösungen für den ALD (Luftwechsel $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$)

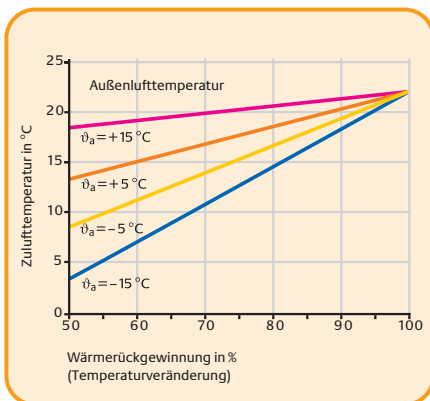


Heizkörper an Außenwand, ALD hinter Heizkörper



Fußbodenheizung, optimierter ALD unter Fenster

Die Bilder zum Zugluftisiko basieren auf einer Zulufttemperatur von 11 °C. Diese resultiert aus den zuvor angegebenen Temperaturverhältnissen und einer Wärmerückgewinnung mit einem Wirkungsgrad von ca. 60 Prozent ohne Berücksichtigung einer zusätzlichen Vorwärmung. Die nachfolgend angeführten Luftwechselzahlen beziehen sich auf die Abmessungen des verwendeten Modellraumes (4 x 5 x 2,5 m).

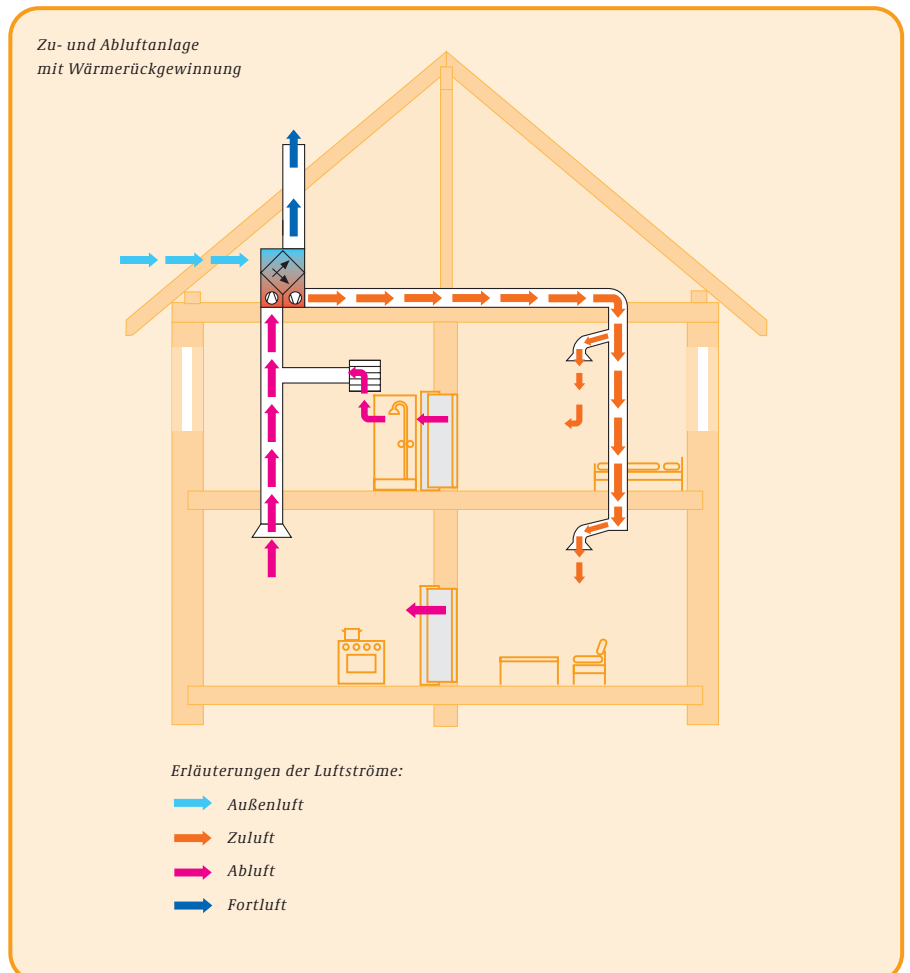


Zu- und Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung

Bei Zu- und Abluftsystemen mit Wärmerückgewinnung wird auch die Außenluft mit einem Ventilator und meist über Luftleitungen in die Aufenthaltsräume geleitet. Die kalte Außenluft wird zuvor über einen Wärmetauscher geleitet, wo die Wärme der Abluft auf die überströmende Außenluft übertragen wird. Dadurch werden Wärmerückgewinnungseffekte erzielt.

Die Aufheizung der Außenluft ist vom Vorwärmgrad des Lüftungssystems abhängig. Die vorgewärmte Außenluft (sogenannte Zuluft) kann höchstens 2 bis 3 K unter der Raumlufttemperatur erreichen (siehe Diagramm links).

Bei Zu- und Abluftsystemen mit Wärmerückgewinnung ergeben sich neben energetischen Vorteilen auch günstigere Verhältnisse aus der Sicht der thermischen Behaglichkeit. Im Gegensatz zum Abluftsystem strömt vorgewärmte Luft in den Raum ein und mindert so das Zugluftisiko. Inwieweit dessen Grenzwert eingehalten werden kann, ist entscheidend von der Anordnung und dem Funktionsprinzip des Luftdurchlasses (LD) sowie vom Luftwechsel und der Zulufttemperatur abhängig. Eine weitere Einflussgröße bildet das Heizsystem des Raumes.



Grundsätzlich ist die Anordnung des Zuluftdurchlasses (LD)

- an der Innenwand (häufig oberhalb der Raumtür),
- an der Außenwand oder
- an der Kante von Außenwand und Fußboden möglich.

Ein hohes **Zugluftrisiko** besteht beim Einsatz von innenliegenden LD mit geringen Austrittsgeschwindigkeiten. Hier kann es zu unerwünschten Kurzschlussströmungen zwischen Luftein- und Luftaustrittsöffnung (z. B. Türschlitz) kommen. Bei der Außenwandanordnung hingegen bestehen selbst bei niedrigen Zulufttemperaturen deutlich günstigere Verhältnisse.

Die geschilderten Probleme der Innenwandanordnung und damit eines Zugluftrisikos lassen sich vermeiden, wenn LD mit hohen Austrittsgeschwindigkeiten – sogenannte Weitwurfdüsen – Verwendung finden.

Eine verbesserte Wärmerückgewinnung (möglich und energetisch sinnvoll sind über 80 Prozent statt der hier dargestellten 60 Prozent) führt zu höheren Zulufttemperaturen und vermindert das Zugluftrisiko.

Zugluftrisiko

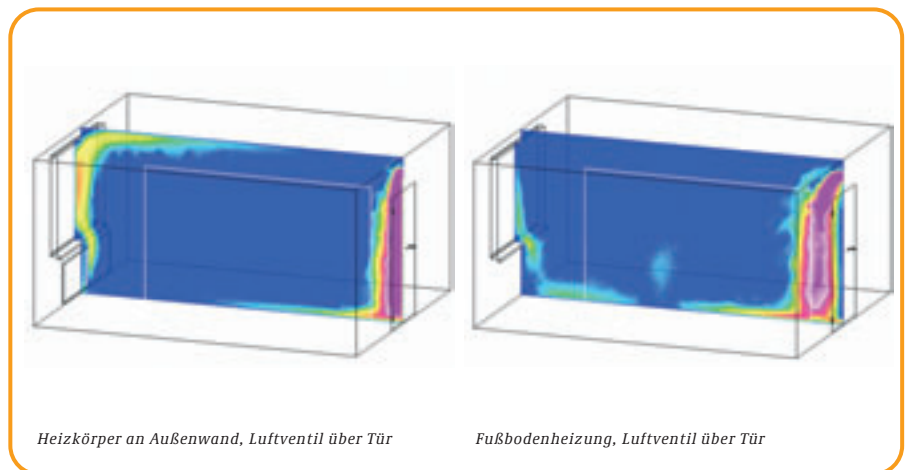


Unkritischer angenehmer Bereich



Kritischer Bereich

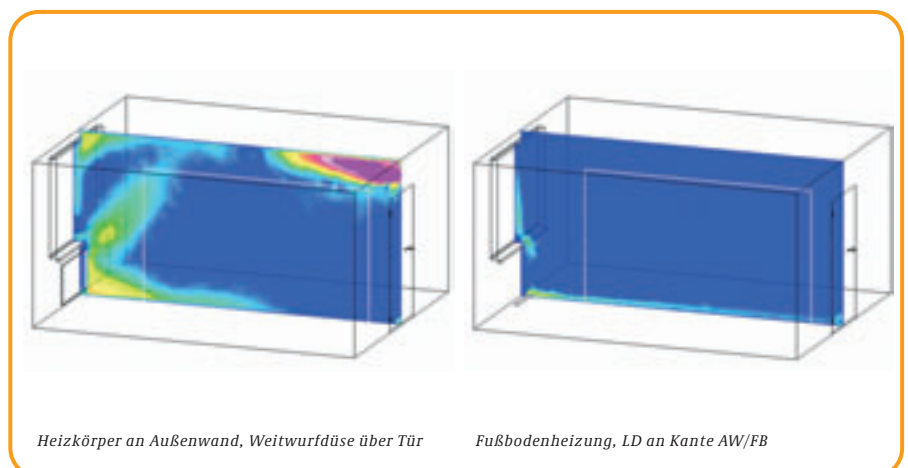
Zugluftrisiko im NEH bei einfachen Lösungen für den LD (Luftwechsel $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$)



Heizkörper an Außenwand, Luftventil über Tür

Fußbodenheizung, Luftventil über Tür

Zugluftrisiko im NEH bei optimierten Lösungen für den LD (Luftwechsel $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$)



Heizkörper an Außenwand, Weitwurfdüse über Tür

Fußbodenheizung, LD an Kante AW/FB



Methodische Anmerkungen

Umfassende Kriterien der thermischen Behaglichkeit

In Versuchen mit Testpersonen wurden Kriterien abgeleitet, die unabhängig vom 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)

Auf Grund 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 Raumes. Diese Beziehung ist allerdings nur auf Räume mit geringen Luftbewegungen anwendbar.

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

Spezielle Kriterien der thermischen Behaglichkeit

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

Risiko der Zugluftbelästigung

Der bekleidete Mensch empfindet Zugluft insbesondere im Nacken und an den Fußgelenken als störend. Daraus folgt z. B. für einen Aufenthaltsraum mit 22 °C eine zulässige Luftgeschwindigkeit von ca. 0,11 bis 0,18 m/s für Kategorie B (siehe Diagramm auf Seite 5).

Strahlungsasymmetrie

Dieses Phänomen wird auch als „Strahlungszug“ bezeichnet und lässt sich mit dem Gefühl beschreiben, das z. B. beim Aufenthalt in der Nähe winterkalter Fensterflächen auftritt.

Vertikaler Lufttemperaturverlauf im Raum

Dieser Behaglichkeitsmaßstab resultiert aus der Erfahrung, dass ein „kühler Kopf und warme Füße“ für optimale thermische Verhältnisse sorgen.

Zulässige Oberflächentemperaturen

Dieses Kriterium soll Unterkühlungen oder unzureichende Entwärmungen an den Füßen vermeiden. Daraus resultieren beispielsweise die Vorgaben für die maximale Oberflächentemperatur bei Fußbodenheizungen.

summative thermische Behaglichkeit

Die Gesamtbewertung der thermischen Behaglichkeit eines Raumes 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 Zugluftisiko, Strahlungsasymmetrie und Oberflächentemperaturen in Form der **summativen thermischen Behaglichkeit**. Dabei geht man davon aus, dass sich die Gesamtbewertung eines Raumes aus einem Vergleich der jeweiligen Teilbewertungen ergibt. Die angewendete konservative Betrachtung berücksichtigt dabei die jeweils ungünstigsten Werte.

Grenzwert von:

Zugluftisiko

Strahlungsasymmetrie

Oberflächentemperatur

PMV / PPD

**summative
thermische
Behaglichkeit**

Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus (in Planung)

Teil 2 : Sommerliche Verhältnisse

Planungsleitfaden für Architekten und Fachplaner

Es werden Möglichkeiten zum Erreichen der thermischen Behaglichkeit unter sommerlichen Verhältnissen aufgezeigt.

Dabei werden bautechnische Einflüsse, wie

- Wärmeschutz,
- Bauschwere,
- Fensterflächenanteil oder
- Verschattung

sowie anlagentechnische Einflüsse wie

- Flächenkühlsysteme,
 - Luftkühlsysteme oder
 - deren Kombinationen
- berücksichtigt.

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 CO₂-Ausstoß. Neben der thermischen Behaglichkeit unter winterlichen Verhältnissen muss sie auch bei sommerlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Dieser Fall wird in einem zweiten Teil eingehend beschrieben.

Damit eine thermische Behaglichkeit auch unter sommerlichen Verhältnissen gewährleistet ist, sollten zunächst die Möglichkeiten des sommerlichen Wärmeschutzes vorrangig beachtet werden. Werden darüberhinaus anlagentechnische Lösungen, wie beispielsweise die „stille“ Kühlung mit Flächenheizungen, erforderlich, zeigt der zweite Teil deren Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit. Auch für sommerliche Verhältnisse werden Praxis-Tipps für die einzelnen technischen Konzepte gegeben.



Impressum

Herausgeber

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) · Chausseestraße 128a · 10115 Berlin

Tel: +49 (0)30 726165 – 600 · Fax: +49 (0)30 726165 – 699

E-Mail: info@dena.de · Internet: www.zukunft-haus.info · www.dena.de

BDH · Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.
Frankfurter Straße 720-726 · D-51145 Köln

Tel: +49 (0)2203/93593-0 · Fax: +49 (0)2203/9359322

E-Mail: info@bdh-koeln.de · Internet: www.bdh-koeln.de

BVF · Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e.V.
Hochstraße 113-115 · D-58095 Hagen

Tel: +49 (0) 2331 200 850 · Fax: +49 (0) 2331 200 817

E-Mail: info@flaechenheizung.de · Internet: www.flaechenheizung.de

© 2007 Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) · Stand: 1. Auflage 02/2007

Redaktion: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Nicole Pillen · Nana Doerrié

Autor: Prof. Dr.-Ing. habil Wolfgang Richter, TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung; Dr.-Ing. Thomas Hartmann, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden - Forschung und Anwendung GmbH

Fotos/Illustrationen: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena);

TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung; ITG

Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden - Forschung und Anwendung GmbH

Layout: Werbepartner Huth GmbH, Duisburg

Druck: WAZ-Druck GmbH & Co. KG, Duisburg

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, Vollständigkeit oder Qualität 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.

Mit freundlicher Unterstützung



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

BDH

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



BVF
Bundesverband Flächenheizungen
und Flächenkühlungen e.V.