



Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus

Energie sparen – Wohnwert steigern – Bauschäden vermeiden



Bundesministerium
für Verkehr, Bau-
und Wohnungswesen

dena

Deutsche Energie Agentur

Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus

Energie sparen – Wohnwert steigern – Bauschäden vermeiden

- 1** Seite 2 **Wissenswertes für die Bau- und Modernisierungspraxis**
- 2** Seite 4 **Fakten, Erkenntnisse, Empfehlungen**
- 3** Seite 8 **Kurz gefasst**

- A** Seite 9 **Wärmeschutz**
- B** Seite 12 **Außenflächen**
- C** Seite 16 **Heizsystem**
- D** Seite 20 **Heizkörperanordnung**
- E** Seite 24 **Abluftanlagen mit Außenluftdurchlässen**
- F** Seite 28 **Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung**
- G** Seite 31 **Methodische Anmerkungen**

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 vor neuen Anforderungen.

Anspruchsvolle thermische Bedingungen lassen sich erzielen, wenn geeignete bau- und anlagentechnische Lösungen sinnvoll kombiniert werden. Zwar wird im Allgemeinen angenommen, dass sich die thermische Behaglichkeit mit zunehmendem Wärmeschutz des Gebäudes durchweg verbessert und damit beim Niedrigenergiehaus keine besondere Beachtung mehr verdient. In der Praxis zeigt sich aber, dass eine Vielzahl von Unsicherheiten besteht. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund:

- 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 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 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 damit Bauschäden.

Bei ganzheitlichen Betrachtungsweisen ist die Einhaltung der thermischen Behaglichkeit eine ausgesprochen wichtige Voraussetzung für kostengünstiges Bauen, optimierte Energieeinsparung bzw. CO₂-Emissionsminderung und gesundes sowie 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 Sie die neuesten Informationen rund um die thermische Behaglichkeit in Gebäuden, die nach den Standards für Niedrigenergiehäuser errichtet und saniert wurden.

Die ersten Seiten wenden sich an Praktiker, die einen schnellen Überblick sowie Einbautipps suchen. Eine „Kurzfassung“ rundet dieses Angebot ab (Seite 8). Die weiteren Kapitel dienen der vertieften Information.

Als Maßstab zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit dienen die Kriterien

- Strahlungsasymmetrie,
- Zugluftrisiko sowie
- Oberflächentemperaturen der Umfassungs-konstruktion.

Mit Hilfe der so genannten **summativen Behaglichkeit** ist eine sehr schnell erfassbare und übersichtliche Darstellung möglich. Diese und weitere Kriterien der thermischen Behaglichkeit werden auf Seite 31 näher erläutert.



Grafiken dieser Broschüre

Anhand umfangreicher grafischer Darstellungen soll in der Broschüre verdeutlicht werden, wie die unterschiedlichen Einflussgrößen – beispielsweise das Heizsystem oder die Anordnung der Heizkörper – auf die thermische Behaglichkeit wirken. Dabei sind die kritischen Bereiche durch die Farbe Rot gekennzeichnet. Die grafische Darstellung der Behaglichkeitskriterien erfolgt fast ausschließlich für eine vertikale Ebene in Raummitte.

Zusätzlich werden in einigen Abbildungen horizontale Ebenen verwendet. Nach Bedarf erfolgt die Wiedergabe der Oberflächentemperaturen des Raumes. Die Abbildungen beziehen sich – wenn nicht anders angegeben – auf einen Modellraum mit den Abmessungen von 4 x 5 x 2,5 m, eine (operative) Temperatur in Raummitte von 22 °C und eine Außentemperatur von minus 5 °C. Die Aufenthaltszone wird hervorgehoben. Die Ergebnisse sind auf ähnliche Raumverhältnisse im Grundsatz übertragbar.

2

Thermische Behaglichkeit Fakten, Erkenntnisse, Empfehlungen

Sowohl die Bau- und Anlagentechnik als auch das Verhalten der Nutzer sind für die thermische Behaglichkeit im Raum entscheidend. Folgende Einflüsse wirken unmittelbar:

- (Kälte-)Strahlung von Außenbauteilen
- Fallströmungen im Bereich von Außenbauteilen
- Wärmeabgabe von inneren Heizflächen in Form von Konvektion und Strahlung
- einströmende kalte Außenluft infolge notwendigem Luftwechsel
- gegenüber der Raumluft kältere oder wärmere Zuluft aus Lüftungsanlagen

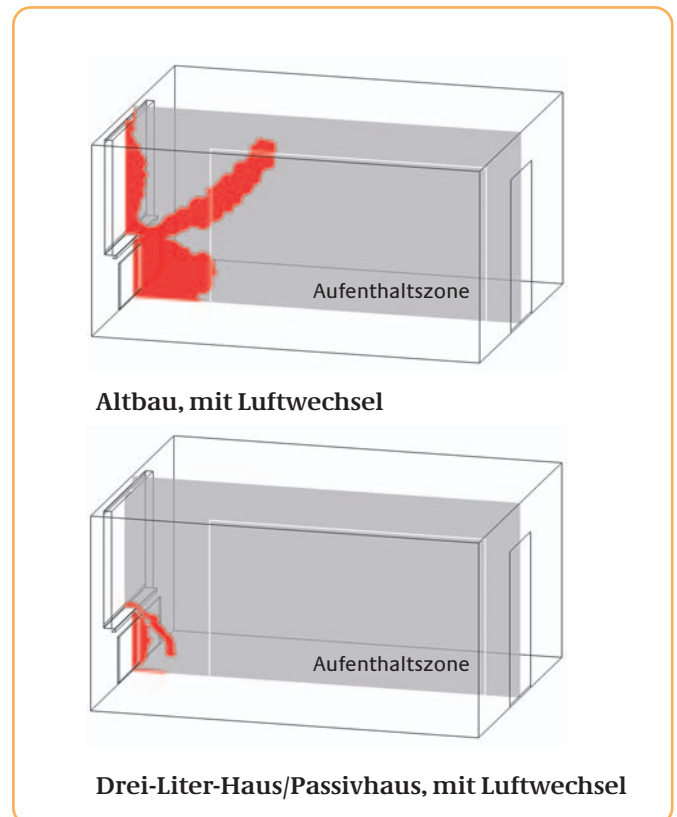
Nachfolgend werden die wichtigsten Informationen in kurzer Form zusammengefasst.

Bei allem gilt: Grundsätzlich nimmt mit verbessertem Wärmeschutz der Gebäude die thermische Behaglichkeit zu. Durch nutzerbedingte Aufheizung oder Abkühlung kann die thermische Behaglichkeit jedoch eingeschränkt werden. Die hier getroffenen Feststellungen gelten für übliche winterliche Außentemperaturen. In klimatisch ungünstigen Regionen verstärken sich die oben genannten Einflüsse und verdienen besondere Aufmerksamkeit.

Bei Niedrigenergiehäusern – und erst recht bei Dreiliter-Häusern, Passivhäusern usw. – bestehen im Gegensatz zu älteren Gebäuden mit niedrigem Wärmeschutzniveau nur noch geringe Begrenzungen bei der nutzbaren Aufenthaltszone unter winterlichen Bedingungen.

Vertiefte Informationen finden Sie im Kapitel A.

Die Aufenthaltszone wird wie folgt definiert: Abstand zur Außenwand 1 m; Abstand zur Innenwand 0,5 m; Höhe über Fußboden 2 m.



Summative Behaglichkeit

 Kritischer Bereich

Heizsysteme

Im Niedrigenergiehaus lassen sich problemlos alle Heizsysteme einsetzen, ohne die thermische Behaglichkeit zu beeinträchtigen. Dies gilt insbesondere, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- übliche Raumabmessungen (insbesondere Raumhöhe $h \leq 3\text{m}$)
- üblicher Fensterflächenanteil $\leq 50\%$ bezogen auf die Außenwandfläche
- vernachlässigbarer (Außen-)Luftwechsel bei geschlossenem Fenster und fehlenden Lüftungskomponenten
- Raumtemperatur um 22 °C in Raummitte
- durchschnittliche winterliche Außentemperaturen

Nähere Informationen finden Sie im Kapitel C.

Fensterflächen

Mit zunehmendem Fensterflächenanteil verstärken sich die negativen Wirkungen von Strahlungsasymmetrie und Zugluftrisiko (Fallströme). Dies trifft insbesondere auf voll verglaste Außenwände zu.

Erfahrungsgemäß gilt:

Unter üblichen Nutzungsbedingungen sind Heizkörper, Unterflurkonvektor (auch in Verbindung mit Flächenheizungen) sowie Luftauslass von Lüftungen als günstig einzuschätzen, wenn sie an der Außenwand angebracht werden.

Anordnung der Heizkörper

Beim Niedrigenergiehaus geht man davon aus, dass die Heizkörper auch an den Innenseiten der Räume angebracht werden können. Dies ist aber nur der Fall, wenn die Luftwechsel (z. B. bei fugendichten Fensterkonstruktionen) vernachlässigt werden können (vgl. Kapitel D).

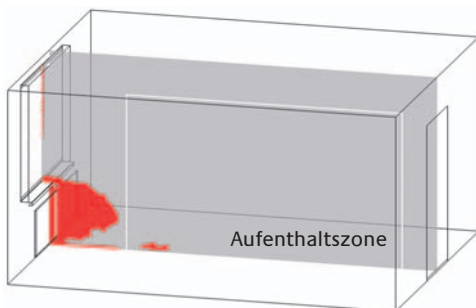
Andererseits ist zu bedenken, dass zur Sicherung der Raumluftqualität (z. B. Vermeidung von Schimmelpilzen) eine Raumlüftung erforderlich ist. Die üblichen Lüftungssysteme (Abluftanlage mit Außenluftdurchlass oder Fensterspaltlüfter sowie Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung) führen in Kombination mit den verschiedenen Heizkörperanordnungen zu völlig abweichenden Behaglichkeitsverhältnissen.

Daher gilt generell:

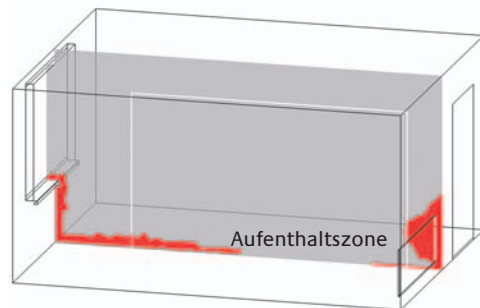
Der Heizkörper gehört stets an die Außenwand unter das Fenster.

Summative Behaglichkeit

Kritischer Bereich



Heizkörper an Außenwand, mit erhöhtem Luftwechsel



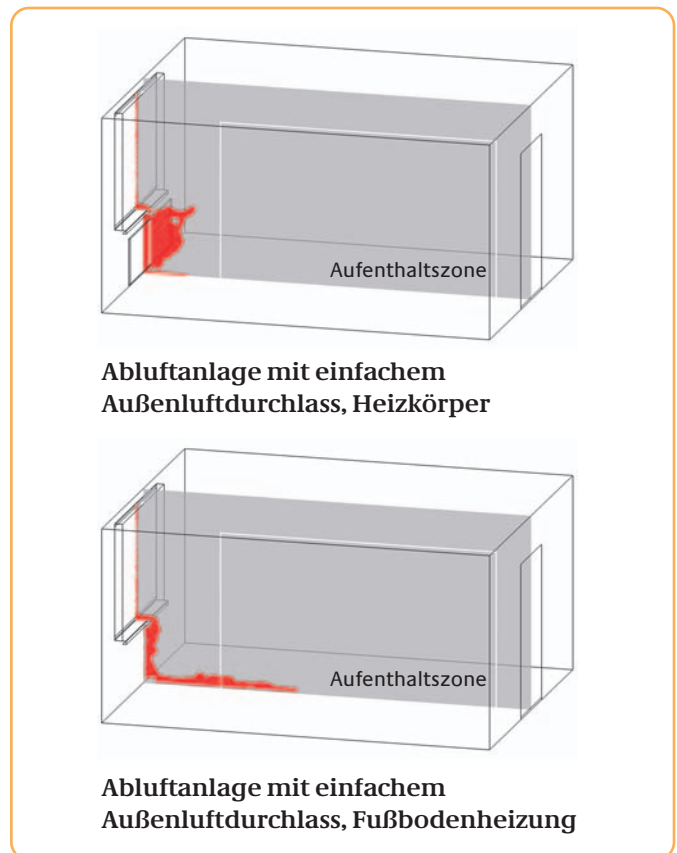
Heizkörper an gegenüberliegender Innenwand, mit erhöhtem Luftwechsel

Abluftanlagen

Abluftanlagen saugen kalte Luft über Durchlässe in der Außenwand in den Raum. Will man die thermische Behaglichkeit sicherstellen, sind bei ihrem Einsatz mehrere Faktoren zu beachten. Besonderen Einfluss haben :

- das jeweilige Heizsystem
- die Anordnung des Außenluftdurchlasses in der Außenwand
- das Funktionsprinzip des Außenluftdurchlasses (vgl. Kapitel E)

Grundsätzlich gilt:
Das Zugluftrisiko kann verhindert werden, wenn die Außenluft möglichst rasch und außerhalb der Aufenthaltszone erwärmt wird.



Die nachfolgende Tabelle bewertet die unterschiedlichen Kombinationen von Außenluftdurchlässen und Heizsystemen.

Außenluftdurchlass		Heizsystem		
Anordnung	Luftführung	Heizkörper an Außenwand	Heizkörper an Innenwand	Flächenheizung
unterhalb Fenster	optimiert	gut	ausreichend	ausreichend
unterhalb Fenster	einfach	ausreichend	kritisch	kritisch
oberhalb Fenster	optimiert	ausreichend	kritisch	kritisch
oberhalb Fenster	einfach	kritisch	kritisch	kritisch
seitlich Heizkörper	optimiert / einfach	kritisch	kritisch	kritisch
hinter Heizkörper	optimiert / einfach	gut	-	-
sonstige Formen der Luftvorwärmung	optimiert / einfach	gut	gut	gut

Bewertung aus der Sicht der thermischen Behaglichkeit bei Kombination von Heizsystemen und Außenwanddurchlässen, vgl. Kapitel E.

Zu- und Abluftanlagen

Bei Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung besteht ein Zugluftisiko, sofern die Außenluft ohne zusätzliche Vorwärmung in den Raum geleitet wird. Wichtige Einflussfaktoren für die Zugluftbelästigung bilden:

- die Luftwechselgröße
- die Zulufttemperatur (und damit der Wärmerückgewinnungseffekt)
- die Anordnung und das Funktionsprinzip des Luftauslasses

Zur Verringerung des Zuglufttrisikos haben sich an der Rauminnenseite befindliche so genannte Weitwurfdüsen bewährt. Ebenfalls günstig wirken Luftauslässe, die an der Kante von Außenwand und Fußboden angeordnet sind.

Summative Behaglichkeit

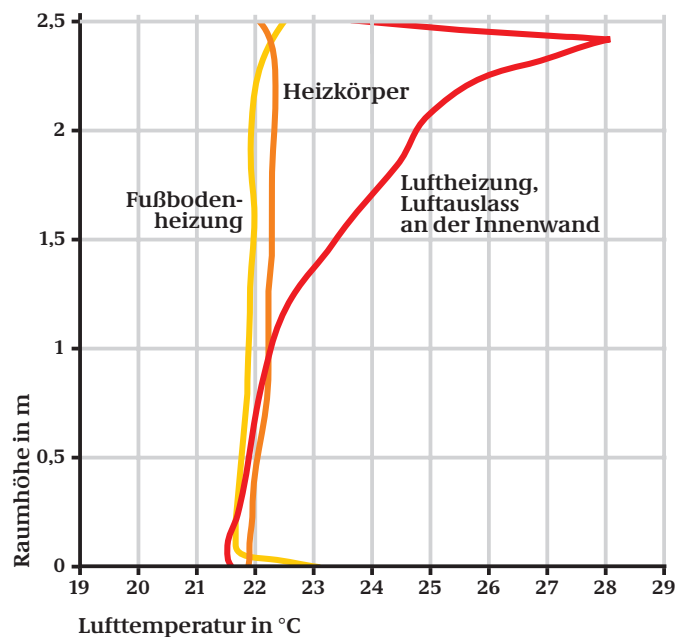
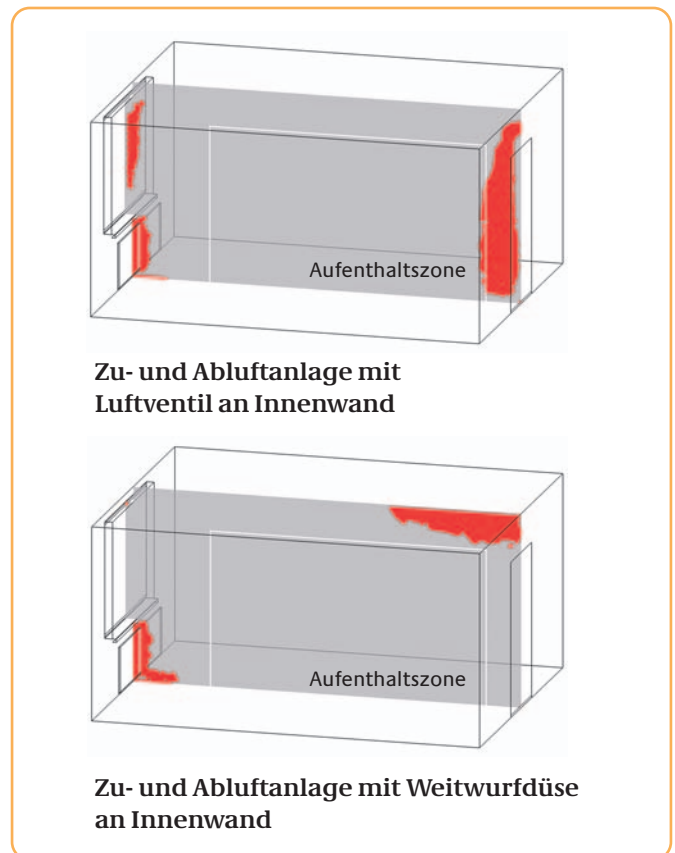
Kritischer Bereich

Raumtemperaturen

Nach DIN EN ISO 7730 sind Raumtemperaturen 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)





3

Thermische Behaglichkeit Kurz gefasst


 Nur über eine gemeinsame Betrachtung der Bau- und Anlagentechnik 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 eine untergeordnete Bedeutung. Diese Feststellung gilt auch bei Räumen mit

- größerer Außenwandzahl,
- 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.

 Erfahrungsgemäß ist deshalb beim Niedrigenergiehaus zu beachten:

- Im Außenwandbereich einströmende kalte Außenluft muss möglichst rasch und noch außerhalb der Aufenthaltszone aufgeheizt werden.
- Dies gelingt nur in Kombination mit einem Heizkörper bzw. bei Verwendung so genannter optimierter Außenluftdurchlässe.
- Der Heizkörper sollte daher stets unter dem Fenster angeordnet werden.
- Bei Flächenheizungen sind dementsprechend besondere Überlegungen zur Verringerung des Zugluftrisikos erforderlich.
- Bei Zu- und Abluftanlagen ergeben sich durch Weitwurfdüsen oder die Anordnung des Luftauslasses im Bereich der Außenwand günstige Verhältnisse.



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:

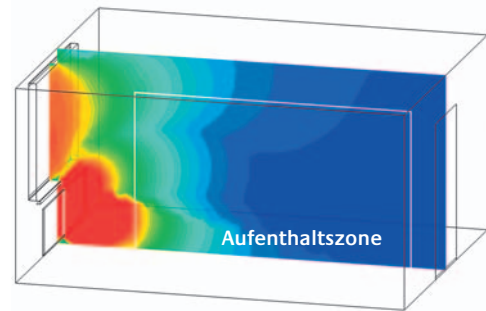
Gebäude, die nach EnEV erbaut wurden

Die Aussagen gelten tendenziell auch für Gebäude nach der WSchVO 95. Für Neubauten, die die Mindestanforderungen der EnEV übertreffen (z. B. KfW-40- oder KfW-60-Häuser), verbessern sich die Ergebnisse.

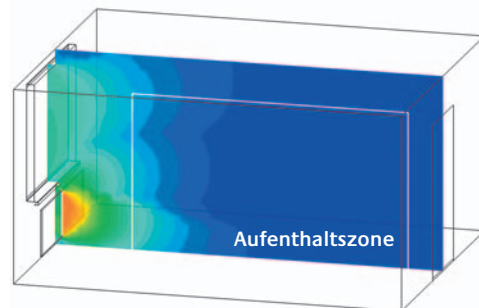
Der Wärmeschutz hat einen entscheidenden Einfluss auf die Strahlungsasymmetrie. Bei schlecht gedämmten Altbauten ergeben sich kritische Werte. Deutlich günstiger stellen sich die Verhältnisse im Niedrigenergiehaus dar. Hier führen höhere innere Oberflächen-temperaturen von Außenwand und Fenster, verbunden 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

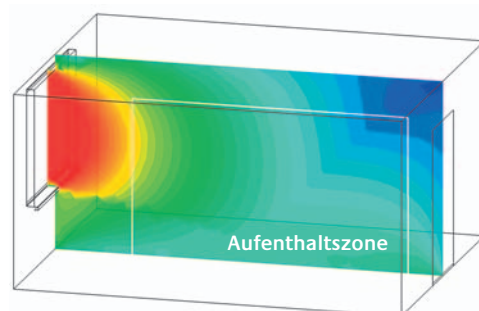
-  Kritischer Bereich
-  Unkritischer, angenehmer Bereich



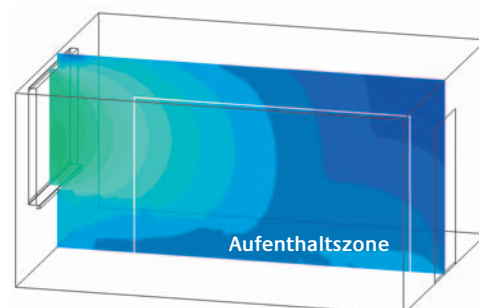
Altbau, Anlage mit Heizkörper



Niedrigenergiehaus, Anlage mit Heizkörper



Altbau, Fußbodenheizung



Niedrigenergiehaus, Fußbodenheizung

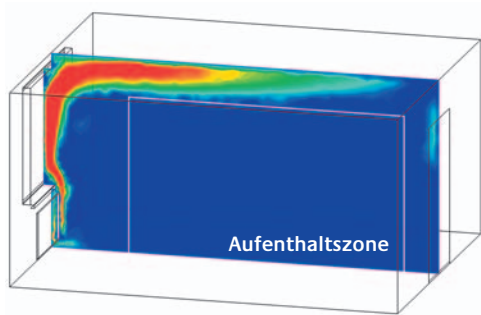
Räume ohne Lüftungseinrichtung

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 **Zugluftisiko** auf die – durch die kühleren Fensterflächen verursachte – Fallströmung der Raumluft. Platziert man die Heizkörper unter dem Fenster, sinkt das Risiko deutlich. In der Aufenthaltszone tritt störende Zugluft nicht mehr auf. Bei Räumen mit Fußbodenheizung entsteht insbesondere in Altbauten mit geringem Wärmeschutz erhebliche Zugluft. Dieses Problem lässt sich auch nicht durch eine dichtere Verlegung der Heizrohre zur Wand hin beheben. Die Zugluftproblematik bildet damit

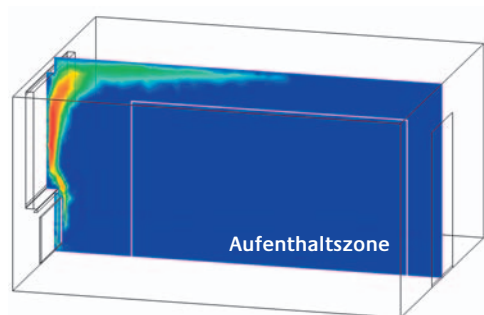
eine Einsatzgrenze der Fußbodenheizung in älteren Gebäuden. In Niedrigenergiehäusern hingegen sind die Zugluftprobleme beim Einsatz von Fußbodenheizungen beherrschbar.

Zugluftisiko

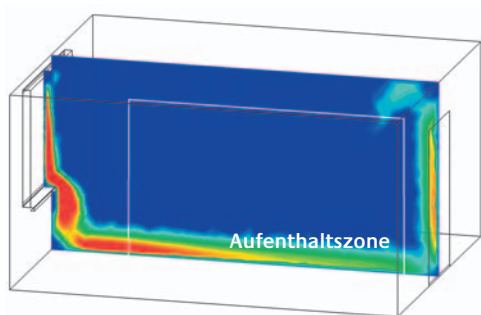
- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



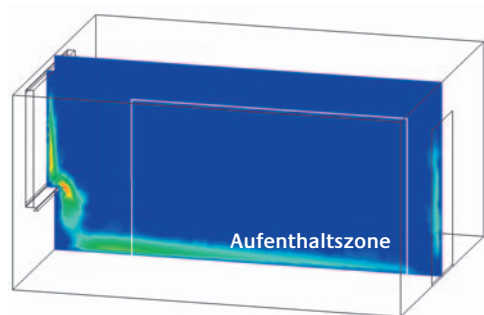
Altbau, Anlage mit Heizkörper



Niedrigenergiehaus, Anlage mit Heizkörper



Altbau, Fußbodenheizung



Niedrigenergiehaus, Fußbodenheizung

Räume mit Lüftungseinrichtung

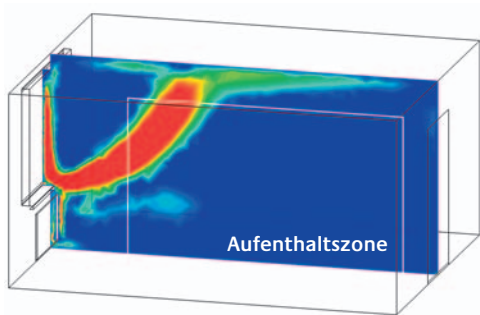
Werden Lüftungsanlagen zur Sicherung des hygienisch notwendigen Luftwechsels eingesetzt, kann Zugluft auftreten. Hier ist auf das passende Heizsystem zu achten, insbesondere dann, wenn Außenluft über die Außenwand angesaugt wird. In diesem Fall überlagern sich kalte Fallströmungen am Fenster und die eintretende Außenluft, mit deutlichen Konsequenzen für die thermische Behaglichkeit.

Bei Altbauten mit geringem Wärmeschutz führt dieser Überlagerungseffekt gemeinsam mit der großen Wärmeleistung des Heizkörpers zur Ausbildung einer kritischen Zone für das **Zugluftrisiko** in der oberen Raumhälfte.

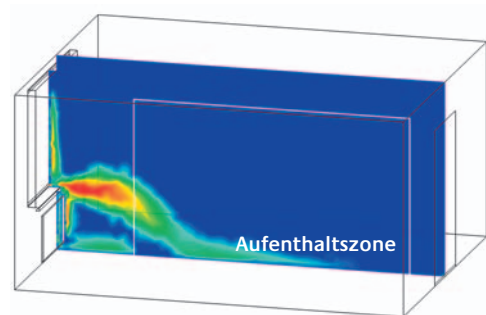
Im Niedrigenergiehaus treten bei Anlagen mit Heizkörpern kritische Werte offensichtlich nur außerhalb der Aufenthaltszone des Raumes auf.

Größere Beeinträchtigungen lassen sich bei der Fußbodenheizung beobachten, da – weitestgehend unabhängig von der Anordnung einer verstärkten Randzone – im Bereich der Außenwand ausreichende Aufheizmöglichkeiten fehlen.

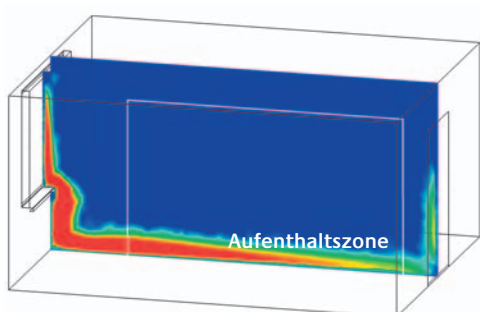
Wenn nicht anders angegeben, wird beim Außenluftdurchlass stets eine schlitzförmige (einfache) Austrittsöffnung vorausgesetzt, die unterhalb des Fensters angeordnet ist und deren Länge etwa der Fensterbreite entspricht. Andere (optimierte) Lösungen führen zu günstigeren Behaglichkeitsverhältnissen. Die grundsätzlichen Aussagen ändern sich jedoch nicht (vgl. Kapitel E).



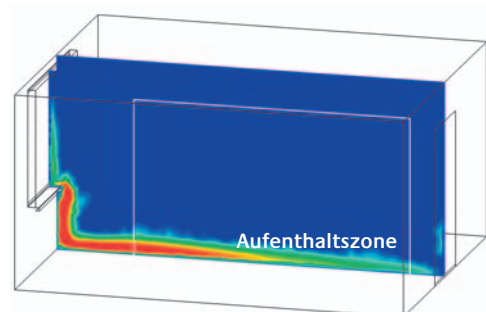
Altbau, Anlage mit Heizkörper



Niedrigenergiehaus, Anlage mit Heizkörper



Altbau, Fußbodenheizung



Niedrigenergiehaus, Fußbodenheizung

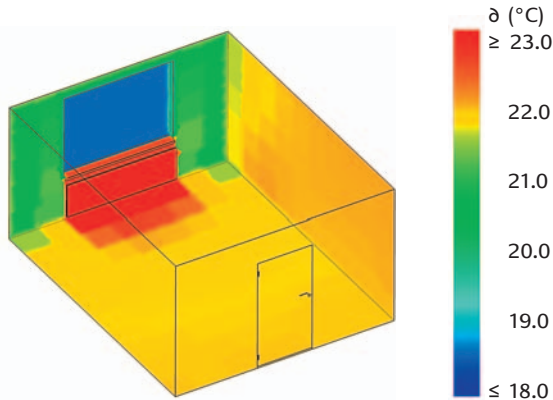
B

Der Einfluss der Außenflächen

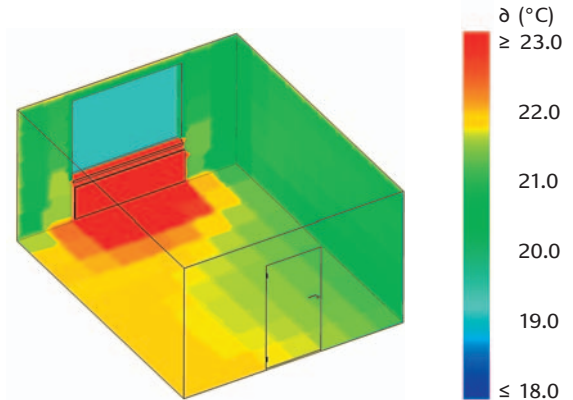
Es ist bekannt, dass insbesondere Eck- und Giebelräume in Altbauten, d. h. Räume mit mehreren Außenflächen, gravierende Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit aufweisen können. Auch Räume, deren Fußboden oder Raumdecke sehr niedrigen Umgebungstemperaturen ausgesetzt ist, verdienen in dieser Hinsicht besondere Beachtung, 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 unterschiedlichen thermischen Verhältnisse lassen sich gut anhand der **Oberflächentemperaturen** der Außenwände demonstrieren.

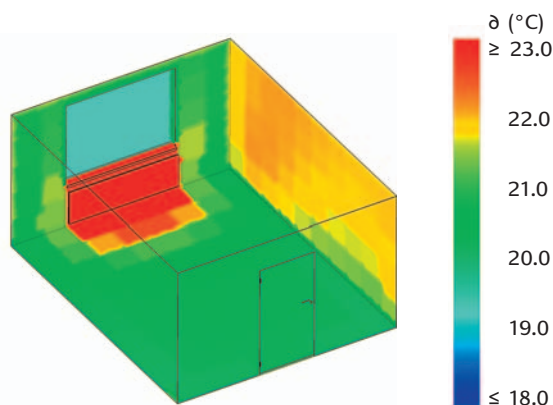
Oberflächentemperaturen verschiedener Raumumschließungsflächen bei einem Niedrigenergiehaus, mit seitlich angeordnetem Temperaturmaßstab



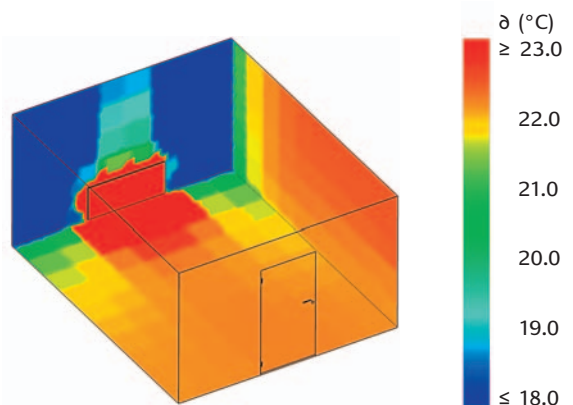
Raum mit einer Außenwand



Raum mit zwei Außenwänden



Raum über ungeheiztem, gelüftetem Keller





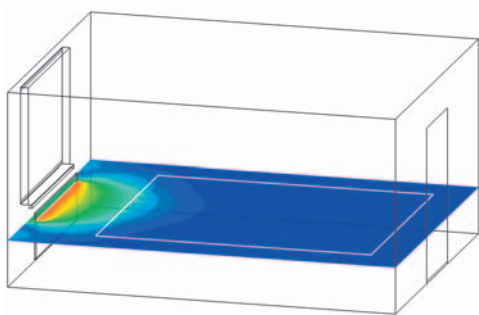
Raum mit 100 % Fensterflächenanteil

Räume mit mehreren Außenwänden

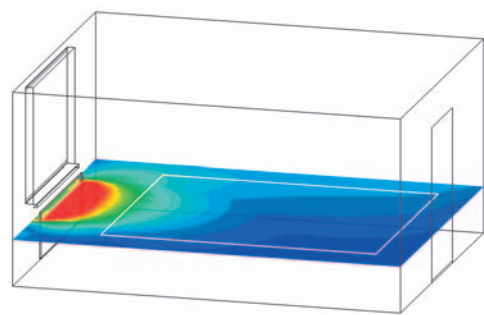
Um den Einfluss mehrerer Außenwände im Detail erläutern zu können, wird die Strahlungsasymmetrie in einer horizontalen Ebene dargestellt. Für das Niedrigenergiehaus gilt grundsätzlich, dass mehrere Außenwände keinen kritischen Wert der **Strahlungsasymmetrie** innerhalb der Aufenthaltszone verursachen.

Maximale Strahlungsasymmetrie in 0,6 m Höhe

 Kritischer Bereich
 Unkritischer, angenehmer Bereich



Raum mit einer Außenwand,
Anlage mit Heizkörper





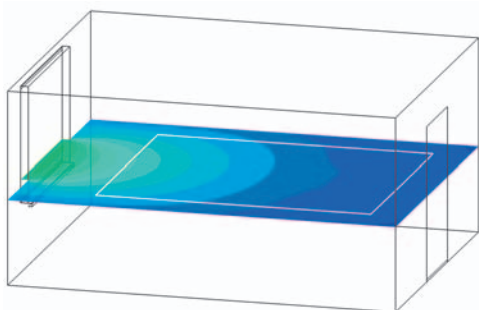
Raum mit zwei Außenwänden,
Anlage mit Heizkörper

Die für Anlagen mit Heizkörpern getroffenen Aussagen lassen sich in Niedrigenergiehäusern auch auf mit Fußbodenheizungen ausgestattete Gebäude übertragen. Für die nachfolgende Darstellung wurde die Höhe des Fensters – also der Bereich mit der größten **Strahlungsasymmetrie** – gewählt. Analog zu Anlagen mit Heizkörpern gilt auch hier, dass unter den Bedingungen des Niedrigenergiehauses keinerlei Beein-

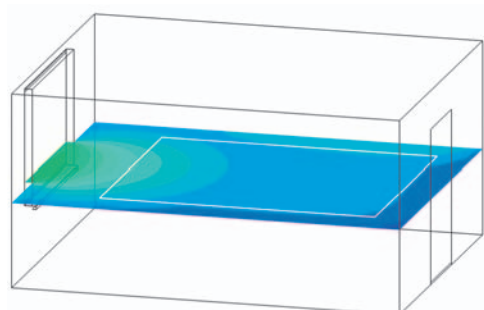
trächtigungen der thermischen Behaglichkeit durch kritische Strahlungsasymmetrie festzustellen sind.

Maximale Strahlungsasymmetrie in 1,1 m Höhe

 Kritischer Bereich
 Unkritischer, angenehmer Bereich



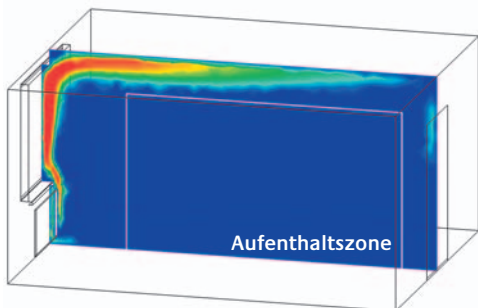
Raum mit einer Außenwand,
Fußbodenheizung



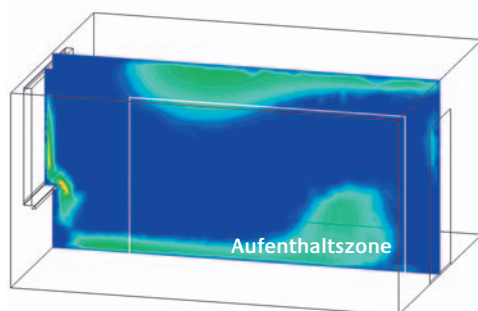
Raum mit zwei Außenwänden,
Fußbodenheizung

Räume mit mehreren Außenwänden

Beim Vergleich von Räumen mit mehreren Außenwänden geht es in erster Linie um die Kompensation der kalten Fallströmungen im Bereich der Außenwände. Für das Niedrigenergiehaus gilt hier: Unabhängig von der Zahl der Außenwände zeigen Anlagen mit Heizkörpern oder Fußbodenheizungen keine Gefahr von Zugluft innerhalb der Aufenthaltszone.



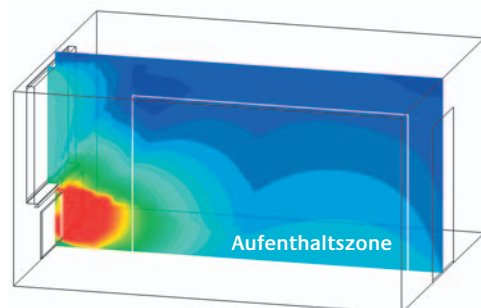
Raum mit zwei Außenwänden, Anlage mit Heizkörper



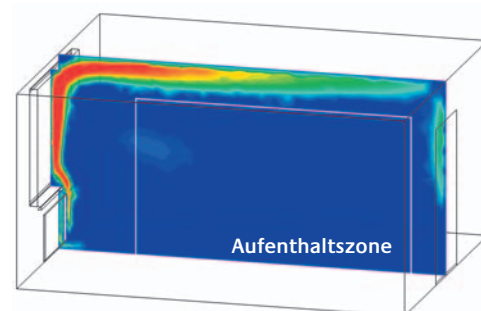
Raum mit zwei Außenwänden, Fußbodenheizung

Raumdecke und Fußboden als Außenbauteile

Wenn Raumdecken Außenbauteile bilden, also z. B. unmittelbar an Kaldächer grenzen, haben sie eine vergleichbare Wirkung auf die thermische Behaglichkeit wie Außenwände. Analoge Verhältnisse können auftreten, wenn Räume über Durchfahrten, gut gelüfteten Kellern o. Ä. angeordnet sind. In Niedrigenergiehäusern weisen Räume mit kalten Raumdecken bzw. Fußböden nahezu übereinstimmende Werte für die **Strahlungsasymmetrie** und das **Zugluftisiko** auf.

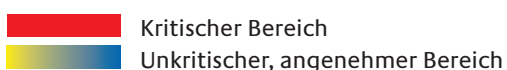


Fußboden als Außenbauteil, Anlage mit Heizkörper, maximale Strahlungsasymmetrie

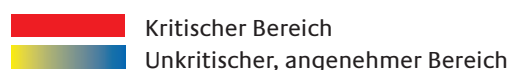


Raumdecke als Außenbauteil, Anlage mit Heizkörper, Zugluftisiko

Zugluftisiko



Maximale Strahlungsasymmetrie, Zugluftisiko

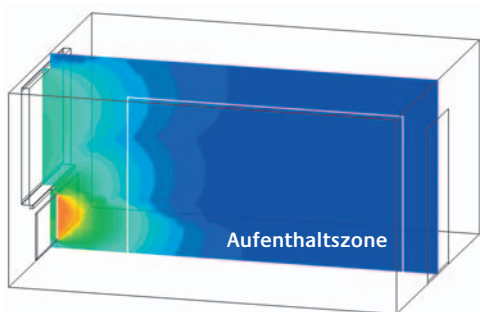


Außenwand mit hohem Fensterflächenanteil

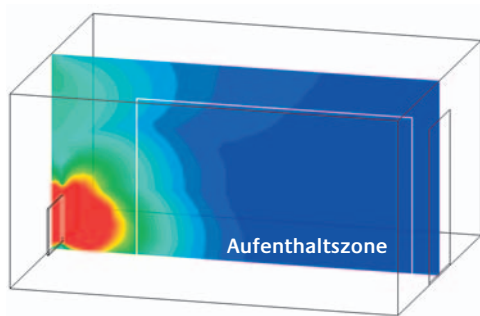
Mit zunehmendem Fensterflächenanteil erhöhen sich zwar die Werte für die **Strahlungsasymmetrie**. Aber im Niedrigenergiehaus ergeben sich selbst bei 100 % Fensterflächenanteil bei den hier vorgestellten anlagentechnischen Lösungen keine Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit. Diese Aussage gilt auch für den Einsatz von Unterflurkonvektoren.

Dagegen erreicht das **Zugluftrisiko** kritische Werte, wenn eine Luftheizung mit Luftauslass an der Kante von Außenwand und Fußboden eingesetzt wird.

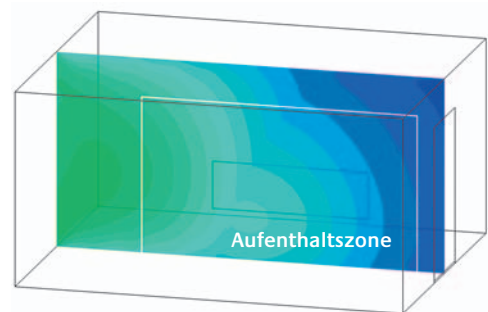
Im Unterschied zu anderen Definitionen wird hier der Fensterflächenanteil auf die Außenwand bezogen.



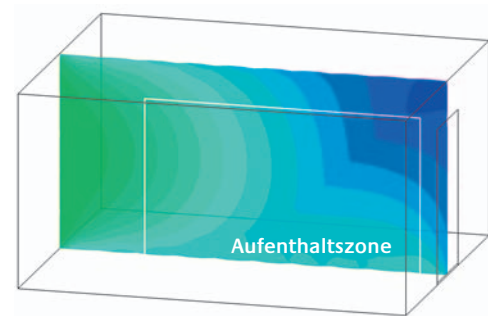
30 % Fensterflächenanteil,
Heizkörper an Außenwand



100 % Fensterflächenanteil,
Heizkörper an Außenwand



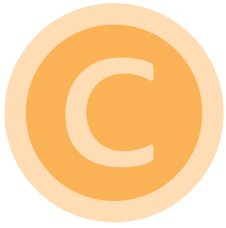
100 % Fensterflächenanteil,
Heizkörper an Seitenwand



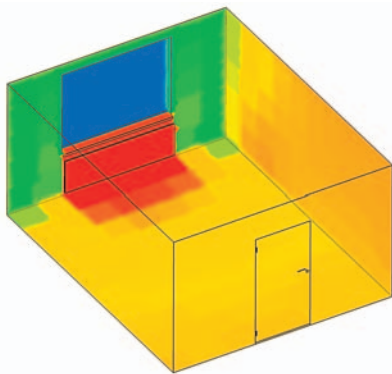
100 % Fensterflächenanteil,
Fußbodenheizung

Maximale Strahlungsasymmetrie

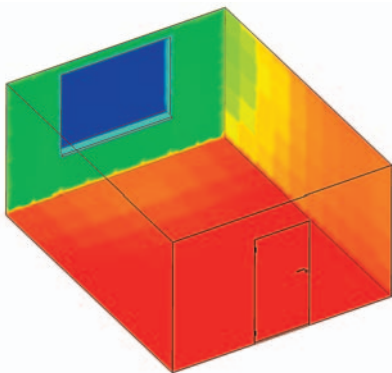
- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



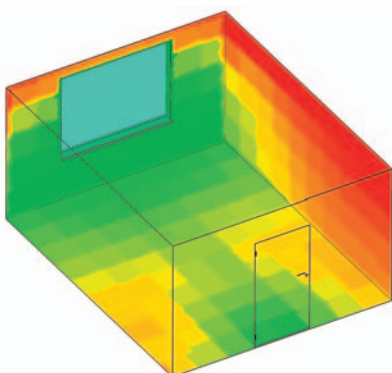
Der Einfluss des Heizsystems



Anlage mit Heizkörper



Fußbodenheizung,
ohne verstärkte Randzone



Luftheizung,
Luftauslass oberhalb der Tür

Bei den Heizsystemen wird zwischen Anlagen mit Heizkörpern, 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.

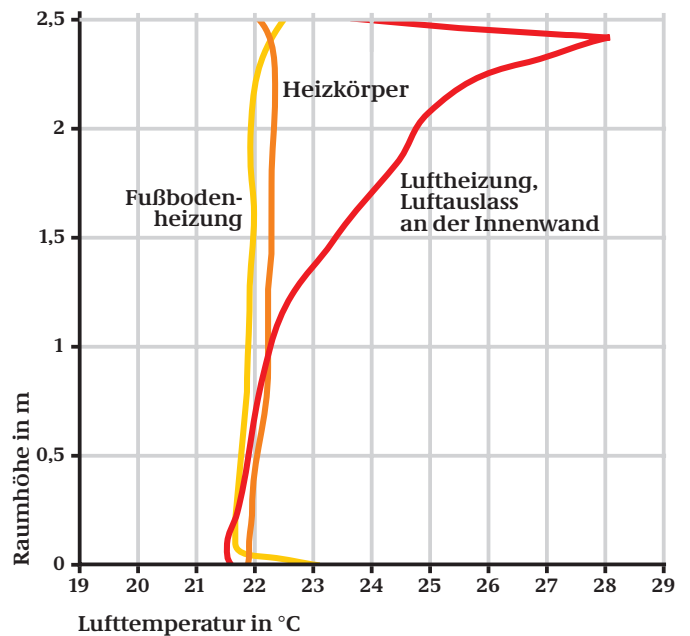
Oberflächentemperaturen verschiedener Raumumschließungsflächen bei einem Niedrigenergiehaus, mit seitlich angeordnetem Temperaturmaßstab

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

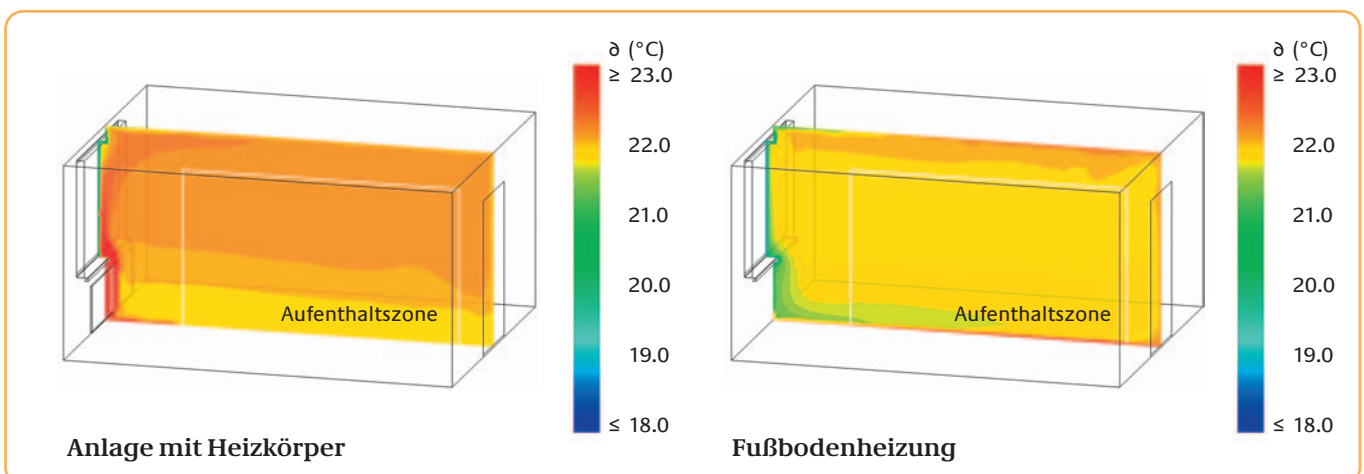
- Zulufttemperatur und Luftvolumenstrom sowie
- Anordnung des Luftauslasses im Raum zu beachten.

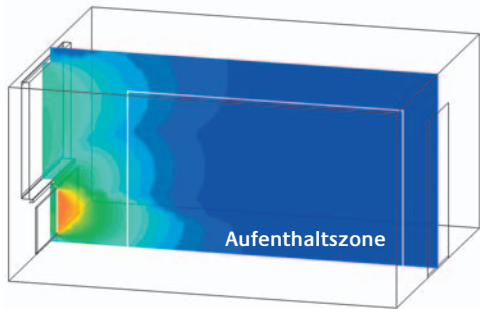


Vertikaler Lufttemperaturverlauf in der Aufenthaltszone für verschiedene Heizsysteme (Niedrigenergiehaus)

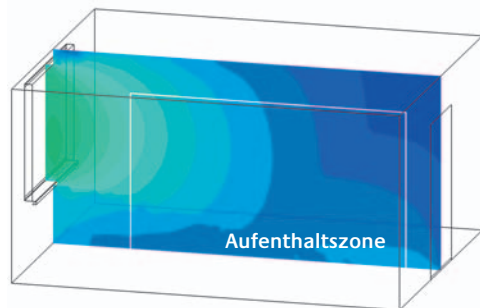
Wie in den nachfolgenden Abbildungen erkennbar unterscheiden sich beim Niedrigenergiehaus die **vertikalen Lufttemperaturverläufe** der Wasserheizsysteme nur geringfügig. Innerhalb der Aufenthaltszone lassen sich kaum Differenzen im vertikalen Lufttemperaturverlauf feststellen. Nur in unmittelbarer Nähe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

Lufttemperaturverteilung im Raum bei einem Niedrigenergiehaus

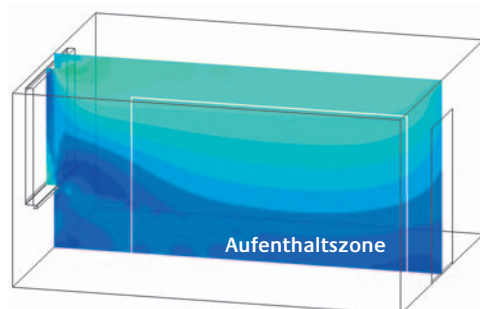




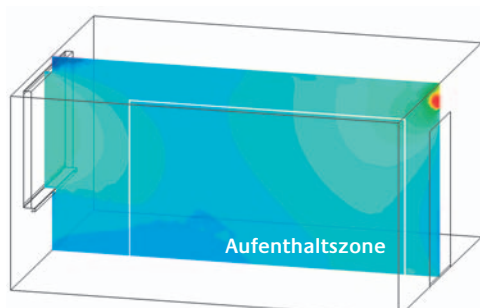
Anlage mit Heizkörper



Fußbodenheizung



Deckenheizung



Luftheizung

Anlagen mit Heizkörpern und Fußbodenheizungen

Hinsichtlich der Strahlungsasymmetrie sind Heizkörper im Niedrigenergiehaus trotz ihrer spezifischen Auslegung (vergleichsweise geringe Fläche, relativ niedrige Temperaturen) sehr gut geeignet, den kalten „Strahlungszug“ des Fensters zu kompensieren.

Auch Fußbodenheizungen überschreiten im Niedrigenergiehaus den Grenzwert der Strahlungsasymmetrie nicht.

Decken- und Luftheizungen

Der Einsatzbereich von Deckenheizungen ist eher begrenzt, da – im Gegensatz zu anderen Heizsystemen – ein verschärfter Maßstab für die maximal zulässige **Strahlungsasymmetrie** gilt. Die erforderliche Heizleistung beim Niedrigenergiehaus ist jedoch so gering, dass die Deckenheizung bei niedrigen Betriebstemperaturen problemlos einsetzbar ist.



Auf Grund der für das Niedrigenergiehaus typischen sehr guten Fensterqualität und hoher Innentemperaturen der Außenwand weisen auch Luftheizungen – ohne systembedingte Wärmestrahlung – keine kritischen Grenzwerte der Strahlungsasymmetrie auf.

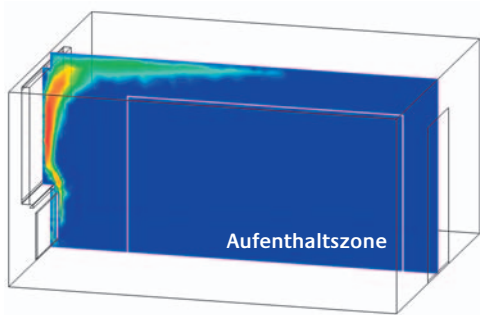
Maximale Strahlungsasymmetrie

- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich

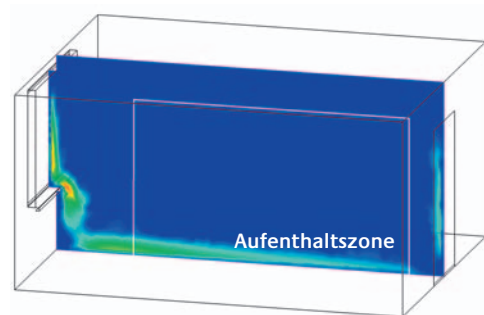
Räume ohne Lüftungseinrichtung

Zugluftrisiko

 Kritischer Bereich
 Unkritischer, angenehmer Bereich



Anlage mit Heizkörper

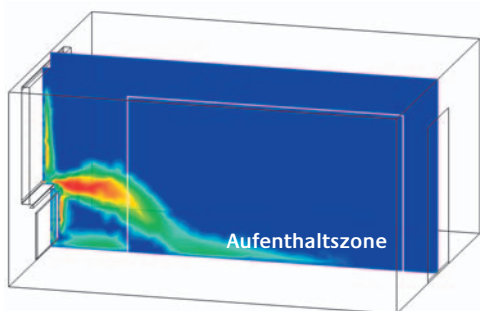


Fußbodenheizung

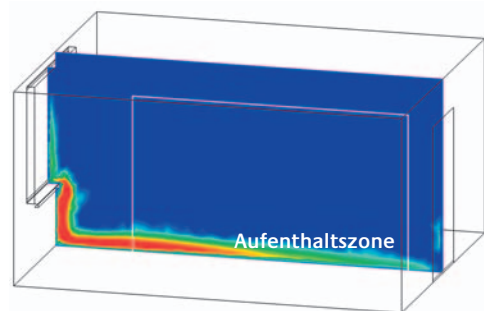
Hoher Wärmeschutz und fugendichte Fenster verringern beim Niedrigenergiehaus die kalten, unangenehmen Fallströmungen an der Außenwand und damit das **Risiko von Zugluft**.

Bei Anlagen mit Heizkörpern treten derartige Fallströme nicht oder nur geringfügig an den Flächen neben dem Heizkörper auf. Bei Fußbodenheizungen weisen die Fallströmungen eine Größenordnung auf, die vom Nutzer nicht als störend empfunden wird.

Räume mit Lüftungseinrichtung



Anlage mit Heizkörper,
einfacher Außenluftdurchlass unterhalb
des Fensters; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Fußbodenheizung,
einfacher Außenluftdurchlass unterhalb
des Fensters; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$

Hygienisch erforderliche Außenluft, die über die Außenwand in den Raum einströmt, muss zur Verhinderung von Zugluft möglichst rasch und noch außerhalb der Aufenthaltszone aufgeheizt werden. Dies gilt gleichermaßen für ältere Gebäude wie für das Niedrigenergiehaus.

Grundsätzlich sind Anlagen mit Heizkörpern am besten geeignet, das **Zugluftrisiko** in Räumen mit Lüftungseinrichtungen zu begrenzen. Bei Fußbodenheizungen kann sich dagegen ein problematischer „Kaltluftsee“ bilden.

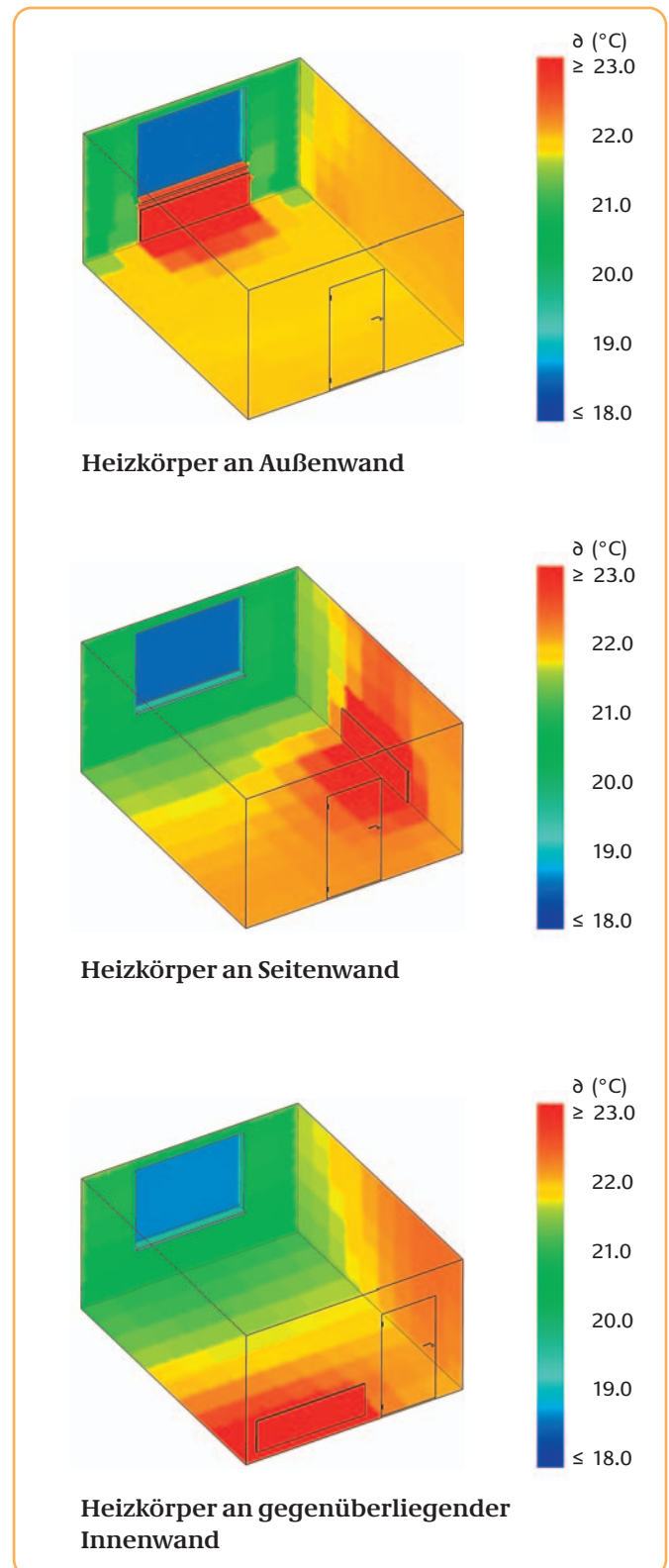


Einfluss der Heizkörperanordnung

Die bislang übliche Anordnung des Heizkörpers unter dem Fenster 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.

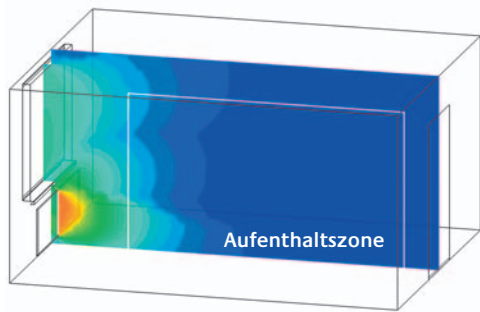
Die abgebildeten **Oberflächentemperaturen** vermitteln – unter Annahme eines vernachlässigbaren Luftwechsels im Raum – einen Eindruck von den jeweiligen thermischen Verhältnissen. Erkennbar sind die weitgehend ähnlichen Temperaturen im kritischen Außenwandbereich bei verschiedenen Positionen des Heizkörpers.

Von Bedeutung für die Entscheidung über die Anordnung des Heizkörpers sind jedoch die Strahlungsasymmetrie und das Zugluftrisiko.

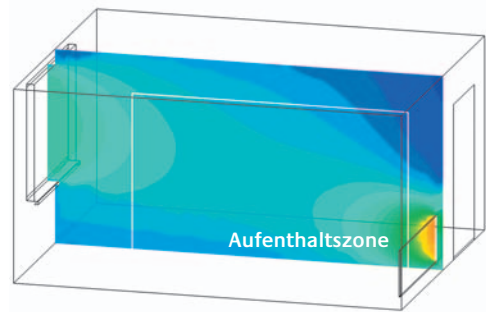


Oberflächentemperaturen verschiedener Raumschließungsflächen bei einem Niedrigenergiehaus

Hinsichtlich der **Strahlungsasymmetrie** zeigt sich bei Annahme durchschnittlicher winterlicher Verhältnisse (Außentemperatur minus 5 °C) ein vernachlässigbarer Einfluss der Heizkörperanordnung. Geht man demgegenüber von einer deutlich niedrigeren Außentemperatur (z. B. minus 15 °C) aus, so wird empfohlen, den Heizkörper an der Außenwand anzuordnen.



Heizkörper an Außenwand

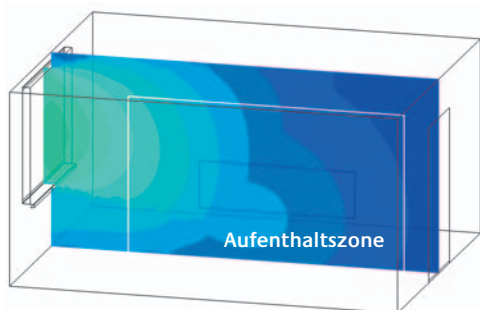


Heizkörper an gegenüberliegender Innenwand

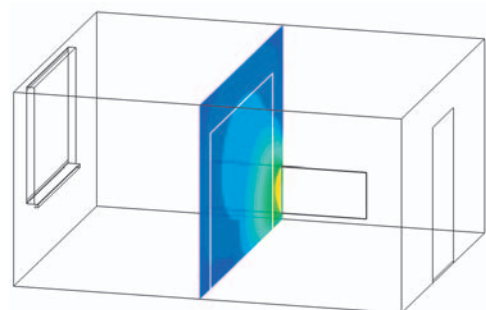
Bei der Anordnung des Heizkörpers an der Seitenwand muss die Strahlungsasymmetrie zusätzlich sowohl in Fensternähe als auch im Bereich des Heizkörpers überprüft werden. Deshalb erfolgt eine weitere Darstellung in einer vertikalen Ebene parallel zur Außenwand. Auch hier zeigt sich der geringe Einfluss der Strahlungsasymmetrie.

Maximale Strahlungsasymmetrie

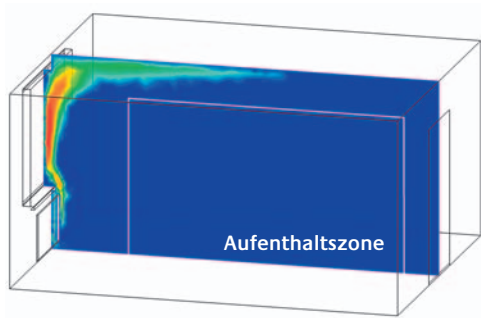
- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



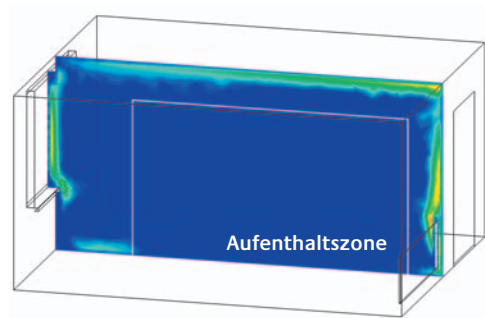
Heizkörper an Seitenwand



Heizkörper an Seitenwand



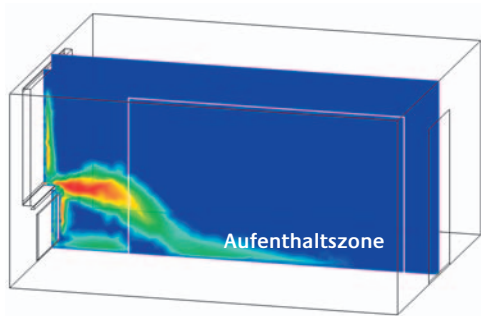
Heizkörper an Außenwand



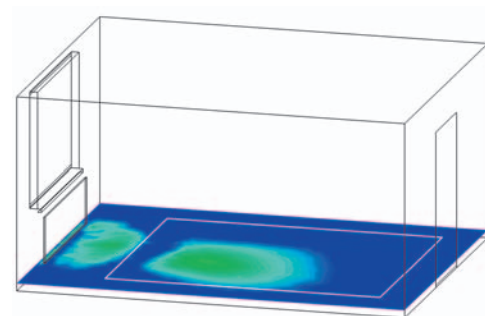
Heizkörper an gegenüberliegender Innenwand

Das **Zugluftrisiko** zeigt unabhängig vom Installationsort des Heizkörpers ebenfalls keine kritischen Werte. Diese Aussage gilt allerdings nur bei vernachlässigbarem Luftwechsel (z. B. Fugenlüftung bei geschlossenem Fenster).

Abluftanlagen mit Außenluftdurchlass



Heizkörper an Außenwand, vertikale Ebene, einfacher Außenluftdurchlass; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Heizkörper an Außenwand, horizontale Ebene in 0,1 m Höhe, einfacher Außenluftdurchlass; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$

Sichert eine Abluftanlage mit Außenluftdurchlass den hygienisch erforderlichen Luftwechsel, ergeben sich bei Anordnung des Heizkörpers unterhalb des Fensters keine Probleme. Dies ist besonders gut bei der Darstellung des Zugluftrisikos in einer horizontalen Ebene unmittelbar über dem Fußboden erkennbar (empfindliches Fußgelenk beim bekleideten Menschen).

Zugluftrisiko

- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich

Befindet sich der Heizkörper an den Innenwänden des Raumes, ergeben sich – unter Voraussetzung des notwendigen Luftwechsels – gravierende Werte für das Zugluftrisiko. Vergleichbar mit der Fußbodenheizung fehlt im kritischen Außenwandbereich eine ausreichende Heizleistung zur Vorwärmung der kalten Außenluft.

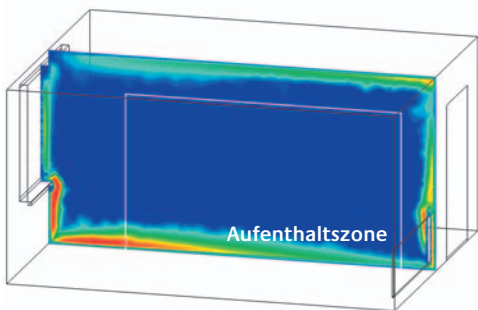
Die Darstellung des **Zugluftrisikos** in einer bodennahen, horizontalen Ebene verdeutlicht nochmals die problematischen Verhältnisse.

Selbst bei Annahme konstruktiv sehr günstig gelöster (optimierter) Außenluftdurchlässe ändern sich diese Ergebnisse nicht grundsätzlich.

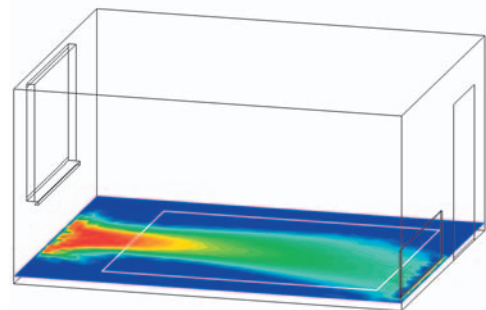
Damit gilt: Heizkörper sollten generell an der Außenwand unterhalb des Fensters angeordnet werden. Dies trifft auch auf den Fall der üblichen Fensterlüftung zu, da die eventuelle Nachrüstung von Außenluftdurchlässen berücksichtigt werden sollte.

Zugluftrisiko

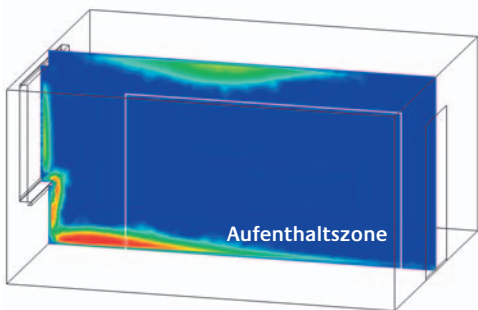
- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



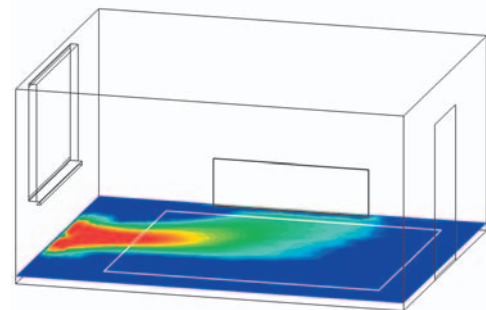
Heizkörper an gegenüberliegender Innenwand, vertikale Ebene, einfacher Außenluftdurchlass; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Heizkörper an gegenüberliegender Innenwand, horizontale Ebene in 0,1 m Höhe, einfacher Außenluftdurchlass; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Heizkörper an Seitenwand, vertikale Ebene, einfacher Außenluftdurchlass; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Heizkörper an Seitenwand, horizontale Ebene in 0,1 m Höhe, einfacher Außenluftdurchlass; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Abluftanlagen mit Außenluftdurchlässen

Bei Abluftanlagen wird Luft aus stark belasteten Bereichen, z. B. Küche, Bad und WC, mit einem Ventilator abgesaugt und meist über das Dach nach außen gefördert.

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

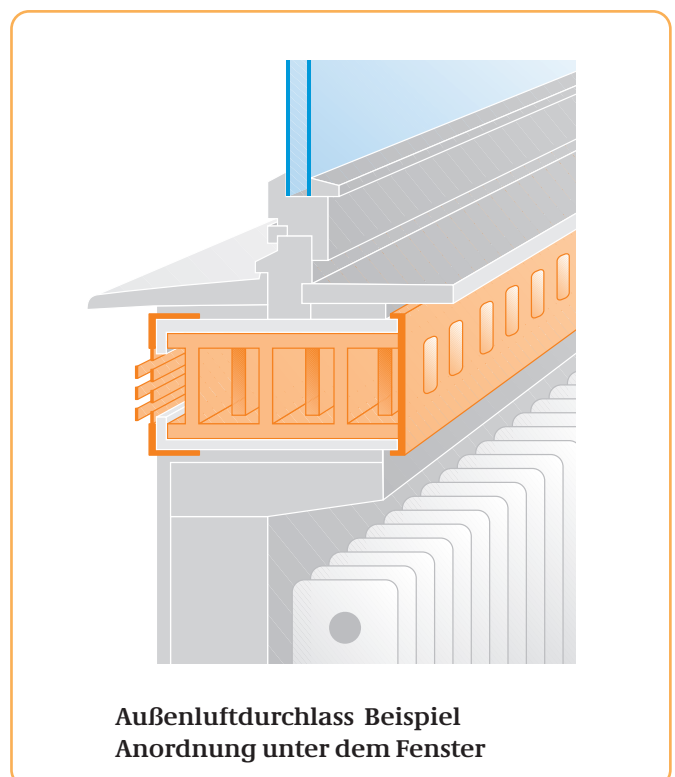
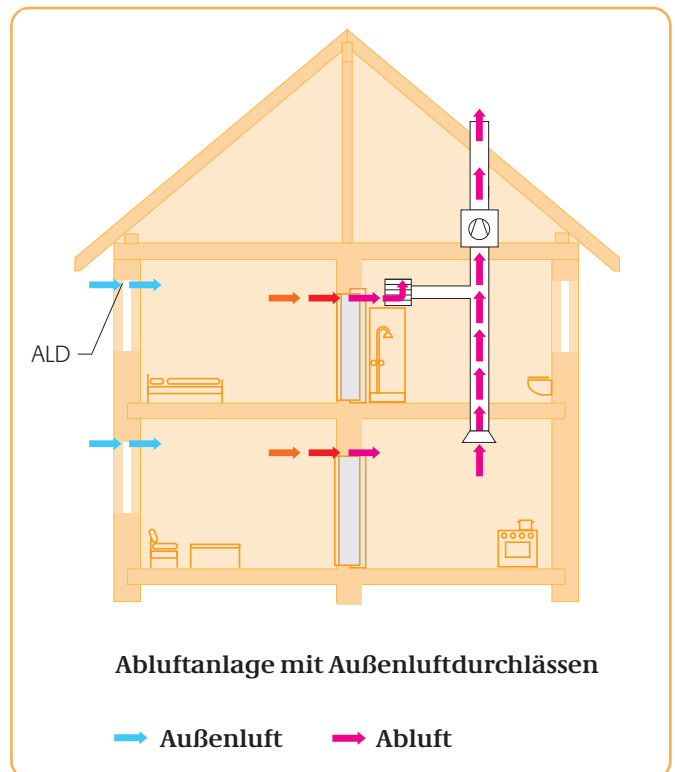
Aus Sicht der thermischen Behaglichkeit ist bei der punktuell durch Außenluftdurchlässe einströmenden Außenluft vor allem das **Zugluftrisiko** zu beachten. Die weiteren Behaglichkeitskriterien werden meist eingehalten.

Die Vermeidung von Zugluft wird maßgeblich von der Anordnung und dem Funktionsprinzip des Außenluftdurchlasses sowie vom Luftwechsel und dem Heizsystem des Raumes beeinflusst.

Orientiert am Zugluftrisiko werden nachfolgend konstruktiv einfache und optimierte Außenluftdurchlässe 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 so genannten 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.

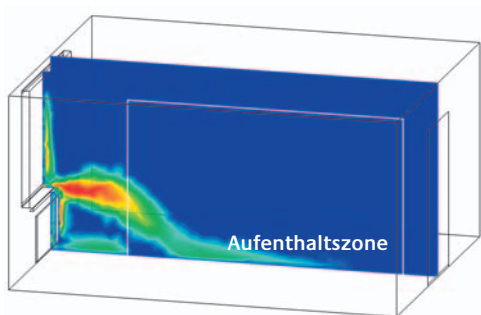
Die nachfolgend angeführten Luftwechselzahlen basieren auf den Abmessungen des verwendeten Modellraumes ($4 \times 5 \times 2,5 \text{ m}$).



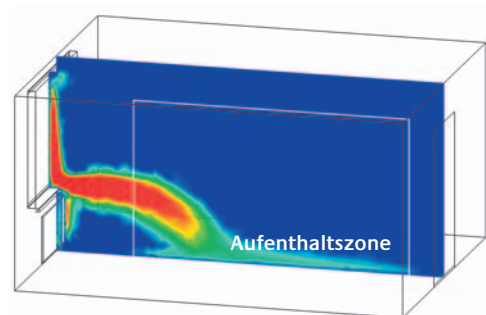
Anordnung des Außenluftdurchlasses bei Anlagen mit Heizkörper

Grundsätzlich wird der Außenluftdurchlass 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.



Einfacher Außenluftdurchlass unter Fenster, Anl. mit Heizkörper; Luftwechsel 0,25 h⁻¹

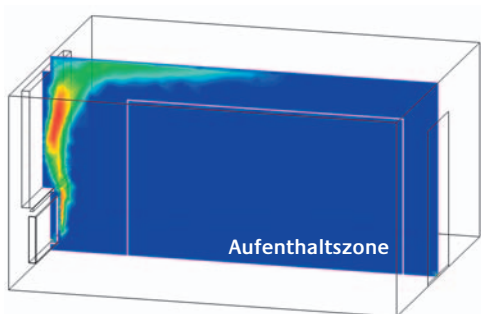


Einfacher Außenluftdurchlass über Fenster, Anl. mit Heizkörper; Luftwechsel 0,25 h⁻¹

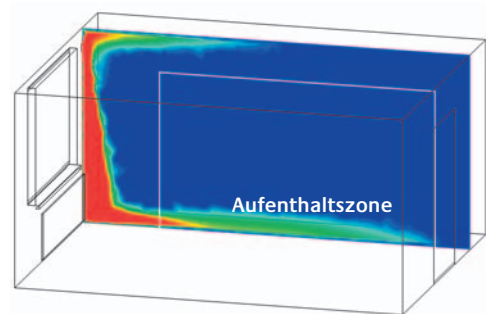
Besonders positiv wirkt sich ein Konzept aus, bei dem z. B. ein Außenluftdurchlass mit gezielter Luftführung hinter dem Heizkörper installiert ist. Bei zunehmender Distanz zwischen Heizkörper und Außenluftdurchlass, insbesondere bei dessen Anordnung neben dem Fenster bzw. Heizkörper, erhöht sich das Zugluftisiko.

Zugluftisiko

- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



Außenluftdurchlass hinter Heizkörper, Luftwechsel 0,25 h⁻¹



Optimierter Außenluftdurchlass neben Fenster / Heizkörper, Luftwechsel 0,25 h⁻¹

Anordnung des Außenluftdurchlasses bei Fußbodenheizungen

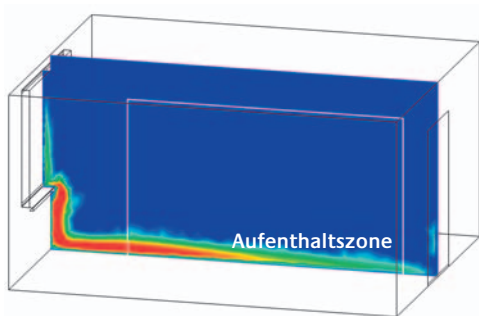
Wird eine Fußbodenheizung verwendet, ist im Aufenthaltsbereich ein höheres **Zugluftrisiko** als bei unter dem Fenster angeordneten Heizkörpern zu erwarten. Verbesserte Verhältnisse lassen sich durch die kombinierte Anordnung von Außenluftdurchlass und Heizfläche (z. B. analog einem Unterflurkonvektor) und den damit möglichen Temperaturanstieg der einströmenden Außenluft erreichen.

Funktionsprinzip des Außenluftdurchlasses

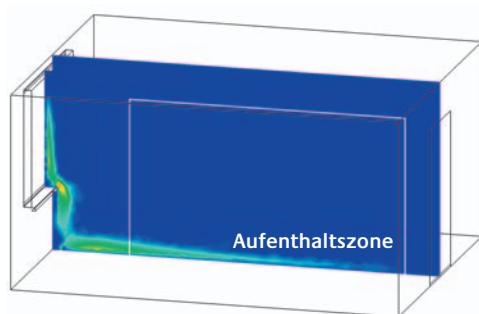
Ist die kombinierte Anordnung von Außenluftdurchlass und Heizfläche nicht möglich, lässt sich das Zugluftrisiko deutlich verringern, wenn das Funktionsprinzip der Außenluftdurchlässe optimiert wird.

Zugluftrisiko

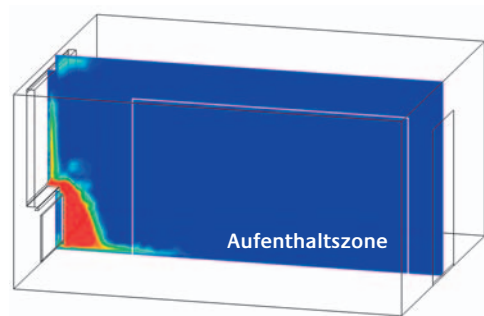
- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



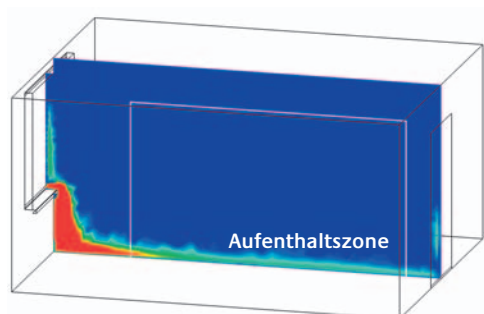
Einfacher Außenluftdurchlass unter Fenster
Fußbodenheizung; Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$



Außenluftdurchlass an Kante Fußboden/ Außenwand, Fußbodenheizung;
Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$; Zulufttemperatur 17 °C



Optimierter Außenluftdurchlass unter Fenster, Anl. mit Heizkörper;
Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$

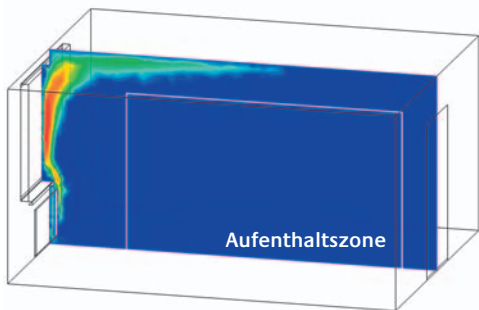


Optimierter Außenluftdurchlass unter Fenster, Fußbodenheizung;
Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$

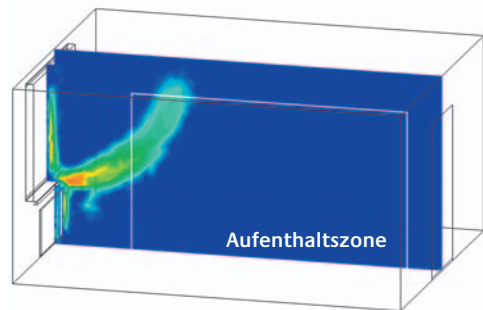
Einfluss des Luftwechsels

Sind keine Außenluftdurchlässe installiert oder werden vorhandene Komponenten vom Nutzer verschlossen, gibt es im Aufenthaltsbereich praktisch kein Zugluftisiko. Dies geht allerdings mit der Gefahr von Schimmelpilzbildung einher. Ähnliche Verhältnisse hinsichtlich des Zuglufttrisikos stellen sich bei kleinem Luftwechsel ein, wie er für ältere Fenster oder die so genannte Fensterspaltlüftung typisch ist (Variante mit Luftwechsel $0,10\text{ h}^{-1}$).

Bei der Festlegung des Außenluftwechsels ist die Vermeidung des Zuglufttrisikos selbstverständlich nur einer der zu beachtenden Aspekte. Bezieht man in die Überlegungen raumluftqualitative Anforderungen mit ein (mindestens Vermeidung von Schimmelpilzbefall), so erweist sich ein Luftwechsel in der Größenordnung von $0,25\text{ h}^{-1}$ als sinnvoll.



**Kein Luftwechsel,
Anl. mit Heizkörper; Luftwechsel 0 h^{-1}**

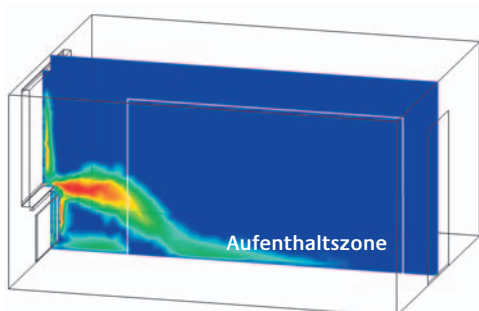


**Geringer Luftwechsel durch Spaltlüftung / Fugen, Anl. mit Heizkörper;
Luftwechsel $0,10\text{ h}^{-1}$**

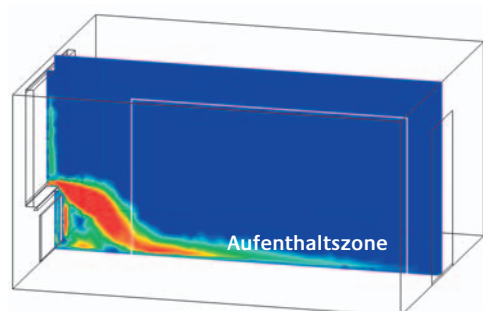
Mit erhöhtem Luftwechsel steigt das Zugluftisiko deutlich an. Die Verhältnisse im Aufenthaltsbereich lassen sich aber durch Veränderung der Anordnung (z. B. hinter dem Heizkörper) oder des Funktionsprinzips (optimierter Außenluftdurchlass) deutlich verbessern.

Zugluftisiko

- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



**Einfacher Außenluftdurchlass unter Fenster
Anl. mit Heizkörper; Luftwechsel $0,25\text{ h}^{-1}$**



**Einfacher Außenluftdurchlass unter Fenster
Anl. mit Heizkörper; Luftwechsel $0,50\text{ h}^{-1}$**



Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung

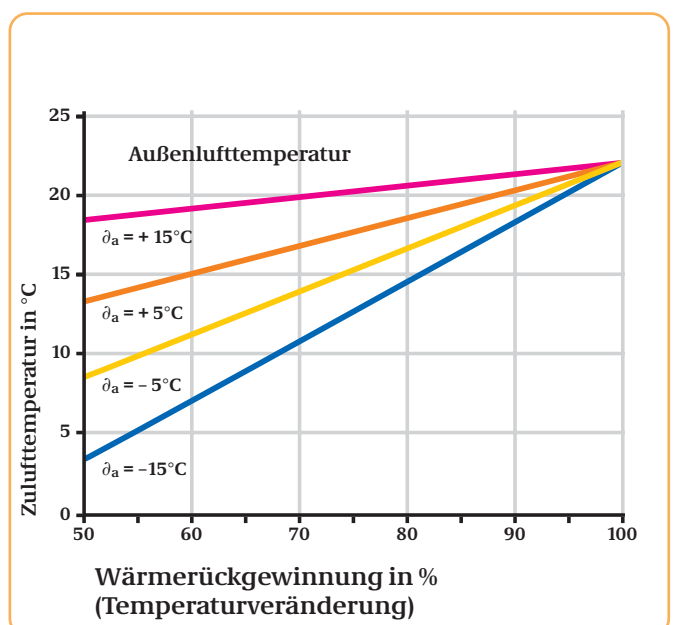
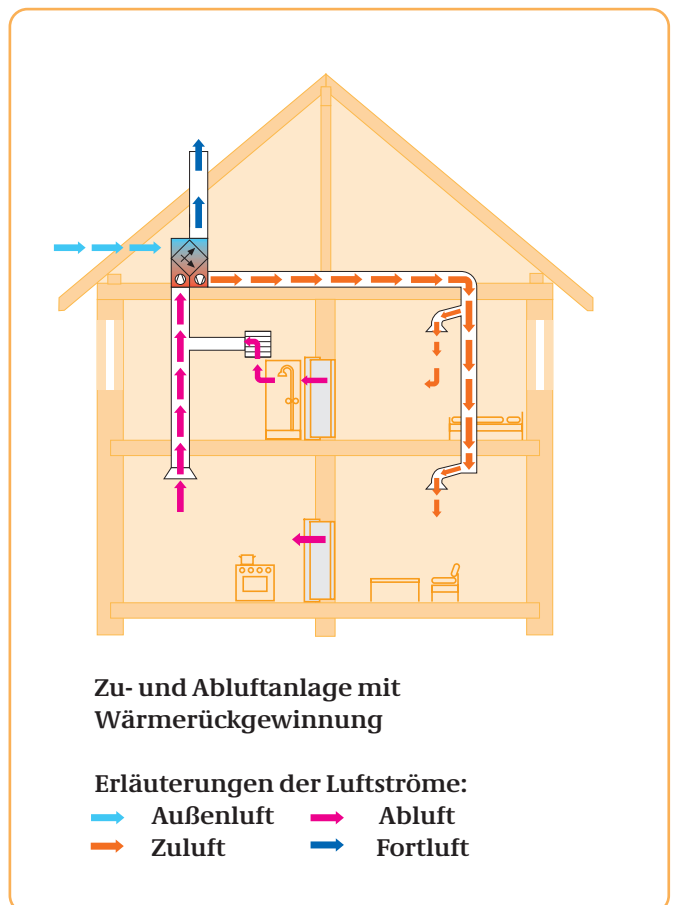
Bei Zu- und Abluftanlagen bzw. entsprechenden Geräten wird auch die Außenluft über Luftleitungen mit einem Ventilator in die Aufenthaltsräume gefördert. Mit diesen technischen Lösungen kann die kalte Außenluft durch die Abluft der Räume vorgewärmt und damit ein Wärmerückgewinnungseffekt erzielt werden.

Die Aufheizung der Außenluft ist vom Vorwärmgrad der Lüftungsanlage abhängig. Die Außenluft kann höchstens zwei bis drei Grad unter der Raumlufttemperatur erreichen (siehe Diagramm unten).

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

Die Bilder zum Zugluftrisiko basieren auf unterschiedlichen Zulufttemperaturannahmen (11 / 17 / 20 °C). Diese resultieren aus den jeweiligen technischen Möglichkeiten ohne Berücksichtigung einer zusätzlichen Vorwärmung.

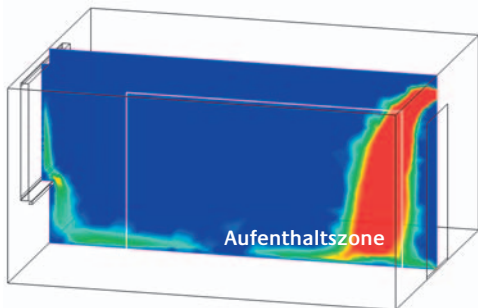
Die nachfolgend angeführten Luftwechselzahlen beziehen sich auf die Abmessungen des verwendeten Modellraumes (4 x 5 x 2,5 m).



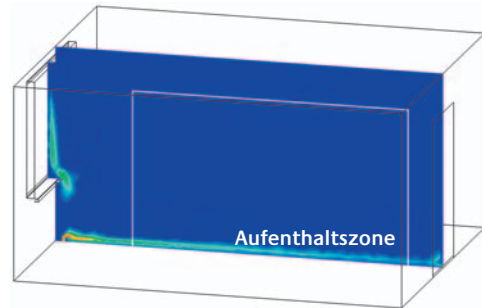
Anordnung des Luftauslasses

Grundsätzlich ist die Anordnung des Luftauslasses an der Innenwand (häufig oberhalb der Raamtür) und an der Kante von Außenwand und Fußboden möglich. Ein hohes **Zugluftrisiko** besteht beim Einsatz von innenliegenden Luftauslässen mit geringen Austrittsgeschwindigkeiten.

Hier kann es zu unerwünschten Kurzschlussströmungen zwischen Luftein- und -austrittsöffnung (Türschlitz) kommen. Bei der Außenwandanordnung hingegen bestehen selbst bei niedrigen Zulufttemperaturen deutlich günstigere Verhältnisse.



Luftauslass (Ventil) an Innenwand
Fußbodenheizung; Luftwechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$;
Zulufttemperatur 17°C



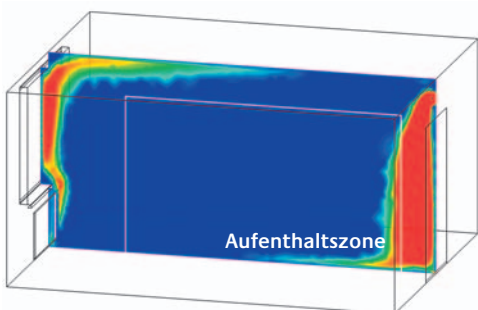
Luftauslass (Schlitz) an Kante Fußboden /
Außenwand; Fußbodenheizung; Luft-
wechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$; Zulufttemperatur 11°C

Funktionsprinzip des Luftauslasses

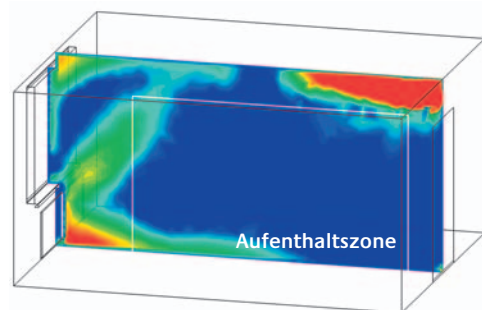
Die geschilderten Probleme der Innenwandanordnung und damit eines Zugluftrisikos lassen sich vermeiden, wenn Luftauslässe mit hohen Austrittsgeschwindigkeiten – so genannte Weitwurfdüsen – Verwendung finden.

Zugluftrisiko

- Kritischer Bereich
- Unkritischer, angenehmer Bereich



Luftventil an Innenwand
Anlage mit Heizkörper;
Luftwechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$; Zulufttemperatur 17°C





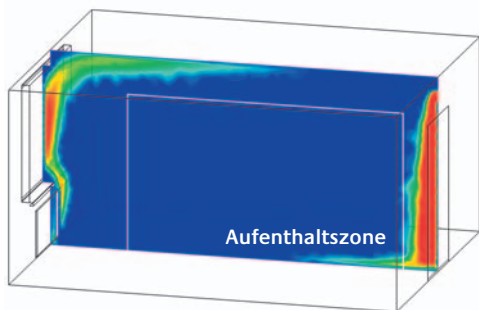
Weitwurfdüse an Innenwand
Anlage mit Heizkörper; Luftwechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$;
Zulufttemperatur 17°C

Einfluss des Luftwechsels

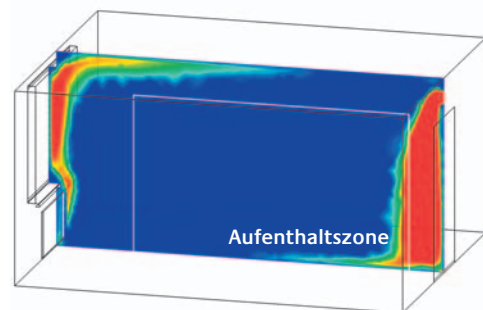
Grundsätzlich gilt: Mit zunehmendem Luftwechsel steigt das Zugluftrisiko. Für den in Wohngebäuden üblichen Wertebereich des Luftwechsels ergeben sich nur geringe Unterschiede beim Zugluftrisiko. Besondere Aufmerksamkeit verdient dieser Aspekt allerdings in Büroräumen.

Zugluftrisiko

 Kritischer Bereich
 Unkritischer, angenehmer Bereich



Luftwechsel $0,25 \text{ h}^{-1}$, Anlage mit Heizkörper; Luftventil an Innenwand; Zulufttemperatur $17 \text{ }^\circ\text{C}$

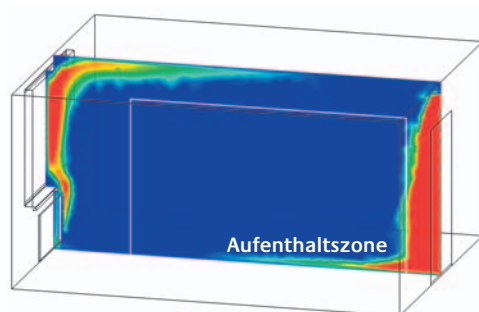


Luftwechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$, Anlage mit Heizkörper; Luftventil an Innenwand; Zulufttemperatur $17 \text{ }^\circ\text{C}$

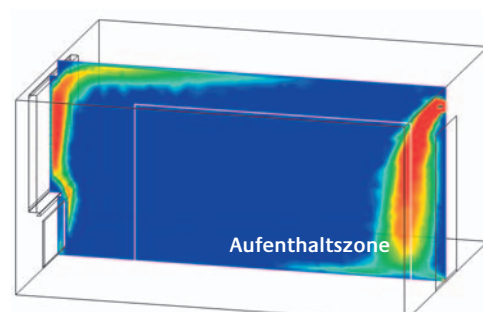
Einfluss der Zulufttemperatur

Bei Zu- und Abluftanlagen besteht grundsätzlich die Tendenz einer abwärts gerichteten Luftströmung. Für den praktisch üblichen Bereich der Zulufttemperaturen ergeben sich jedoch keine gravierenden Differenzen beim Zugluftrisiko.

Obwohl Anlagen mit Heizkörper und Fußbodenheizungen unterschiedliche Raumluftströmungsrichtungen haben, zeigen sich bei der Kopplung mit einer Zu- und Abluftanlage keine wesentlichen Unterschiede beim Zugluftrisiko.



Zulufttemperatur $11 \text{ }^\circ\text{C}$
 Anlage mit Heizkörper; Luftventil an Innenwand; Luftwechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$



Zulufttemperatur $20 \text{ }^\circ\text{C}$,
 Anlage mit Heizkörper; Luftventil an Innenwand; Luftwechsel $0,50 \text{ h}^{-1}$



Methodische Anmerkungen

Umfassende Kriterien der thermischen Behaglichkeit

In Versuchen mit einer großen Anzahl von 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 – so genannter PMV-Wert *)

und der daraus abgeleitete (zu erwartende) Prozentsatz der Unzufriedenen – so genannter PPD-Wert *)

Auf Grund des unterschiedlichen Empfindens der Menschen geht man beispielsweise davon aus, dass sehr gute thermische Verhältnisse im Raum vorliegen, wenn nicht mehr als 10% der Raumnutzer Akzeptanzprobleme haben.

Ein seit Jahrzehnten bekannter und sehr 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. In gelüfteten Räumen ergeben sich dagegen örtlich gravierende Fehleinschätzungen.

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

*) PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied
PMV – Predicted Mean Vote

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 maximale Zugluftgeschwindigkeit von 0,2 m/s.

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.

Eine weitere Möglichkeit zur vereinfachten Darstellung der thermischen Behaglichkeit bildet die so genannte

Summative Behaglichkeit,

bei der die kritischen Grenzwerte für PMV bzw. PPD, Zugluftisiko, Strahlungsasymmetrie und Oberflächentemperatur in überlagerter Form berücksichtigt werden.

Grenzwert von:

Zugluftisiko

Strahlungsasymmetrie

Oberflächentemperatur

PMV / PPD

Summative Behaglichkeit

Impressum

Herausgeber

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel: +49 (0)30-7261656-0
Fax: +49 (0)30-7261656-99
E-Mail: Info@deutsche-energie-agentur.de
www.deutsche-energie-agentur.de
www.zukunft-haus.info

© 2004 Deutsche Energie-Agentur GmbH

Mit freundlicher Unterstützung
des Bundesministeriums für Verkehr,
Bau- und Wohnungswesen

Konzept, Text, Illustration, Layout

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Richter,
TU Dresden, Institut für Thermodynamik
und Technische Gebäudeausrüstung
Jürgen Pöschk, Energie- und Umwelt-
Managementberatung Pöschk
Dipl.-Ing. Heiko Schwarzburger MA,
Wissenschaftsjournalist
Gudrun Haberkern, F 217 Design

Druck

H+P Druck

Grafiken und Fotos:

TU Dresden, Institut für Thermodynamik,
Gudrun Haberkern, F217 Design
außer folgende (Seite / Urheber):
Cover / Corbis Images Volumen 183,
Christof Sandig, Pro Solar GmbH
24, 28 / Solarparxis AG

Weiterführende Informationen

Wolfgang Richter: Handbuch der thermi-
schen Behaglichkeit, Schriftenreihe der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin (Fb 991), Dortmund 2003

Wichtiger Hinweis

Die Texte und Zeichnungen dieser Bro-
schüre wurden mit größtmöglicher Sorg-
falt und nach bestem Wissen erstellt. Da
Fehler jedoch nie auszuschließen sind und
die Texte sowie Zeichnungen Änderungen
unterliegen können, weisen wir auf
Folgendes hin: Die dena übernimmt keine
Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Voll-
ständigkeit oder Qualität der in dieser
Broschüre bereitgestellten Informationen.
Für Schäden materieller oder immaterieller
Art, die durch die Nutzung oder Nichtnut-
zung 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.