

**Handbuch der
thermischen Behaglichkeit
- Heizperiode -**

Diese Veröffentlichung ist ein Auszug aus dem Abschlussbericht für das Projekt „Erarbeitung eines umfassenden Behaglichkeitsatlas als Werkzeug für Planung und Bewertung von Maßnahmen zur optimalen Gestaltung von umschlossenen Arbeitsräumen aus wärmephysiologischer Sicht“ - Projekt F 1892 - im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Autor: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Richter

Unter Mitarbeit von:

Dr.-Ing. Ralf, Gritzki, Dipl.-Ing. Ingo Müller,
Dr.-Ing. Alf Perschk, Dr.-Ing. Markus Rösler,
Dr.-Ing. Klaus Windisch

Technische Universität Dresden
Institut für Thermodynamik und
Technische Gebäudeausrüstung
D-01062 Dresden
Telefon: (03 51) 46 33 29 01
Telefax: (03 51) 46 33 78 88

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund
Telefon: (02 31) 90 71 - 0
Telefax: (02 31) 90 71 - 24 54
E-Mail: poststelle@buaa.bund.de
Internet: www.buaa.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40-42, D-10317 Berlin
Telefon: (0 30) 5 15 48 - 0
Telefax: (0 30) 5 15 48 - 41 70

Dresden:
Proschhübelstr. 8, D-01099 Dresden
Telefon: (03 51) 56 39 - 50
Telefax: (03 51) 56 39 - 52 10

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Handbuch der thermischen Behaglichkeit

- Zusammenfassung -

Heiz- und raumluftechnische Anlagen werden installiert, um die thermische Behaglichkeit der Raumnutzer innerhalb der Heizperiode zu sichern. Es ist daher nicht verwunderlich, dass man bereits sehr frühzeitig Überlegungen dahingehend angestellt hat, wie dieses Komfortkriterium quantifiziert werden könnte. Über viele Jahre hinweg galt die

operative Temperatur (Empfindungstemperatur)

als ausreichender Maßstab, der allerdings den Einfluss der Raumluftströmung nur unzureichend berücksichtigt. Erst mit den Untersuchungen von FANGER liegen uns umfassende Berechnungsgleichungen zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit vor, die mittlerweile in die relevanten derzeit gültigen Normen

DIN EN ISO 7730 und DIN 1946

eingeflossen sind.

Für den Anwender besteht allerdings das Problem, dass er mit Hilfe der üblichen Planungsunterlagen und -werkzeuge keine Möglichkeit hat, für den von ihm bearbeiteten Fall die jeweils zu erwartenden Behaglichkeitsverhältnisse zu prüfen, um gegebenenfalls Änderungen an der Bau- und Anlagentechnik vornehmen zu können. Insbesondere eine Einschätzung der sich einstellenden Raumluftströmung als wesentlichster Einflussgröße für das Behaglichkeitskriterium „Zugluftrisiko“ bleibt somit auf wenige wissenschaftliche Institutionen beschränkt.

Diese unbefriedigende Situation hat sich mit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung 2002 - das heißt, mit der umfassenden Einführung des Niedrigenergiehauses - nicht verbessert. Erhöht oder verringert sich die thermische Behaglichkeit mit zunehmendem Wärmeschutz? Besitzen wir nunmehr einen „Freiheitsgrad“ bei der Auswahl oder Anordnung heiz- und lüftungstechnischer Komponenten? Diese und andere in der Fachwelt strittigen Fragen bedürfen einer eindeutigen Klärung, da zu-

¹ Richter, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Heizperiode, Fb 991, Wirtschaftsverlag NW, Dortmund/Berlin/Dresden 2003

nehmend auch Gebäude mit nochmals verstärktem Wärmeschutz errichtet werden. Genau dies wird mit dem Handbuch der thermischen Behaglichkeit angestrebt. Allen an den Fragen der thermischen Behaglichkeit interessierten Anwendern, also Bauherren, Architekten, Fachplaner der Technischen Gebäudeausrüstung, Bauphysiker, Hygieniker, Arbeitsschutzexperten, Vermieter und Mieter, aber auch an diesem Problemkreis arbeitenden Wissenschaftlern werden umfassende Angaben zu den entscheidenden Größen

- PMV (predicted mean vote),
- PPD (predicted percentage of dissatisfied),
- Lufttemperaturverlauf über der Höhe,
- Strahlungsasymmetrie,
- Zugluftrisiko,
- Oberflächentemperatur

sowie weitere Angaben zu Luftgeschwindigkeitsverläufen und zu der bereits erwähnten operativen Temperatur zur Verfügung gestellt. Als wichtige Parameter finden Verwendung:

- Bautechnische Größen
 - Wärmeschutzniveau (Altbauten ohne/mit Sanierung, Niedrigenergiehaus, 3-Literhaus/Passivhaus)
 - Anzahl der Außenwände
 - Glasflächenanteil der Außenwand
- Anlagentechnische Größen
 - Heizungsanlage
(Anlagen mit Heizkörper, Flächenheizungen, Luftheizungen)
 - Lüftungsanlage
(Freie Lüftung, mechanische Lüftungsanlagen)
 - Luftwechsel
 - Auswahl bzw. Anordnung anlagentechnischer Komponenten
 - Heizkörperanordnung im Raum
 - Fußbodenheizung ohne/mit verstärkter Randzone
 - Querschnitt/Ausblasrichtung von Außenluftdurchlässen
 - Anordnung von Außenluftdurchlässen
(oberhalb/unterhalb des Fensters, hinter dem Heizkörper usw.)
 - Anordnung von Luftauslässen (Luftheizung).

Das Handbuch enthält innerhalb der einführenden Abschnitte neben den notwendigen Erläuterungen zur thermischen Behaglichkeit auch alle Angaben

- zum Berechnungsmodell,
- zur Auswahl der wichtigsten Randbedingungen und
- zur Aufbereitung der Ergebnisse.

Im Interesse mehr praktisch orientierter Leser wird auf die Darstellung mathematischer Zusammenhänge weitestgehend verzichtet. Eine Ausnahme bildet der Abschnitt „Thermische Behaglichkeit“, um Verständnis für die dem Handbuch zu Grunde liegenden Kenngrößen zu wecken. Stärker interessierte Leser werden auf die angegebene Literatur verwiesen.

Die Ergebnisse der etwa 75 untersuchten Varianten werden auf über 250 Seiten mit Farbdarstellungen der wichtigsten Behaglichkeits-Kriterien präsentiert. Anschließend erfolgt eine sehr ausführliche Analyse und Bewertung der wichtigsten Effekte aus praktischer Sicht. Die nachstehend angeführten Aussagen sollen beispielhaft die erzielten Ergebnisse demonstrieren.

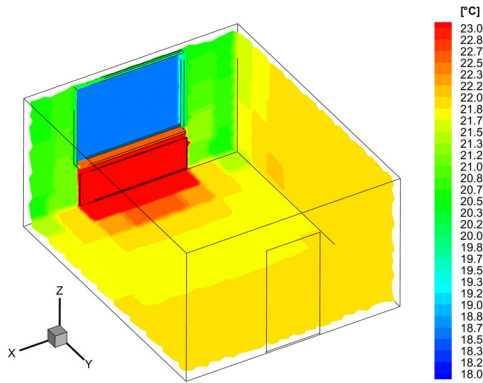
- Beim Niedrigenergiehaus besteht die eigentliche Herausforderung in Hinblick auf die thermische Behaglichkeit nicht in der Strahlungsasymmetrie oder in der fensterbedingten Fallströmung, sondern in der Vermeidung des Zugluftrisikos durch die Außenlufteinströmung. (Abb. 1)
- Die Notwendigkeit zur Aufheizung kalter Außenluft besteht völlig unabhängig vom Wärmeschutzniveau („Entkopplung“ der Lüftung vom Wärmeschutz). Bei älteren Gebäuden bedingt jedoch die wesentlich stärkere Leistung der Heizflächen eine problemlosere thermische Kompensation. (Abb. 2)
- Daraus folgt letztlich, dass Heizkörper stets unter dem Fenster anzuordnen sind, wenn die Außenluftzuführung im Außenwandbereich erfolgt (man bedenke auch mögliche Nachrüstungen). Damit wird der viel zitierte „Freiheitsgrad“ bei der Auswahl und Anordnung heiztechnischer Komponenten im Niedrigenergiehaus deutlich eingeschränkt. Dementsprechend

sollte auch die Heizkörperlänge die Abmessung von Außenluftdurchlässen möglichst überschreiten. (Abb. 3)

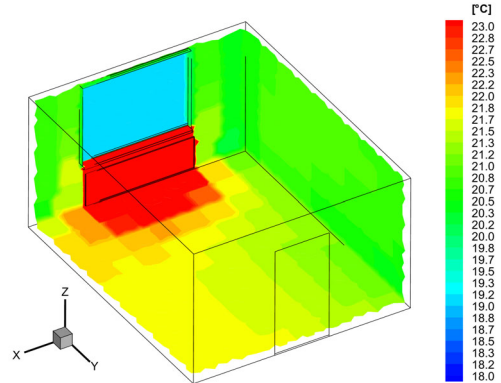
- Die verschiedenen Varianten der Flächenheizungen weisen beim Niedrigenergiehaus nur noch geringfügige thermische Behaglichkeitsdifferenzen untereinander auf. Auch die Deckenheizung ist in üblichen Räumen problemlos einsetzbar. (Abb. 4)
- Flächenheizungen und damit auch Fußbodenheizungen bedürfen allerdings spezieller Überlegungen zur Kaltluftkompensation, die Anordnung einer verstärkten Randzone ist nicht ausreichend. (Abb. 5)

Niedrigenergiehaus

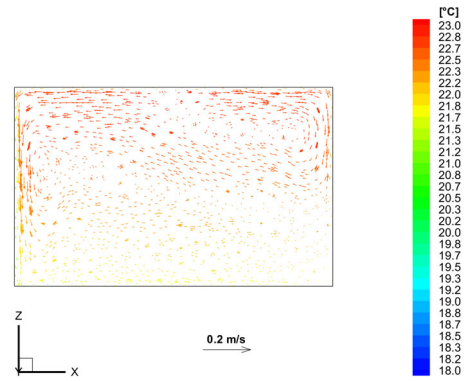
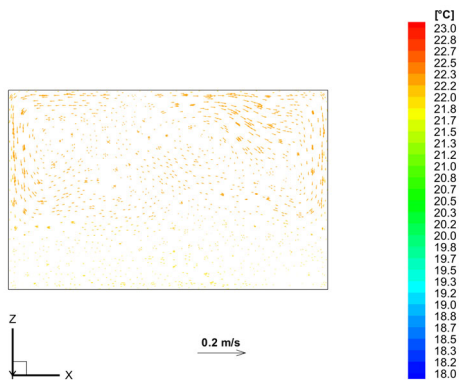
1 AW (Var. 9)



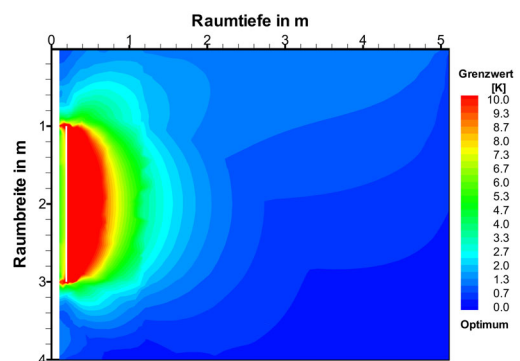
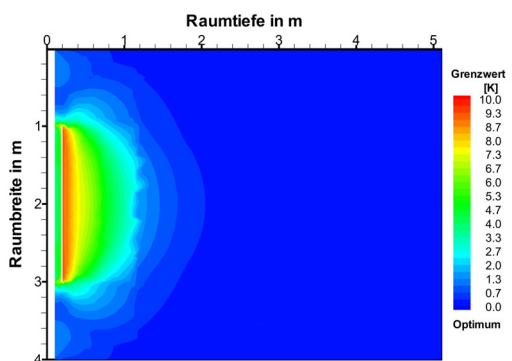
2 AW (Var. 14)



Oberflächentemperaturen ϑ_s für Außenwand, Fußboden und eine Innenwand



Strömungsverlauf für eine vertikale Ebene in Raummitte parallel zur Außenwand

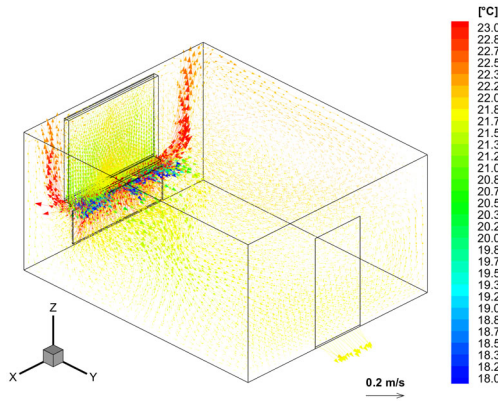


Maximale Strahlungsasymmetrie $\Delta\vartheta_s$ für eine horizontale Ebene in 0,6 m Höhe

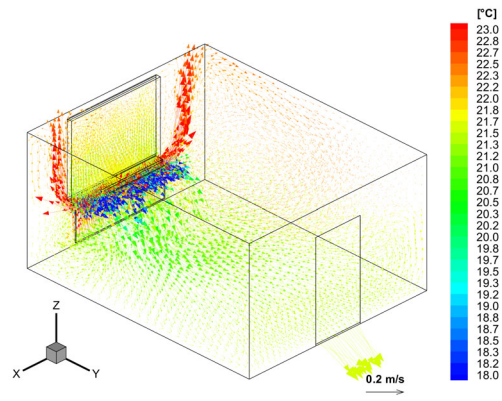
Abb. 1 Einfluss der Außenwandanzahl – Heizkörper; Fensterlüftung – Lüftungspause; Luftwechsel $n = 0 \text{ h}^{-1}$

Luftwechsel

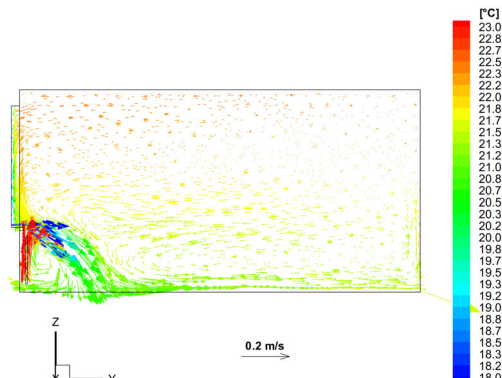
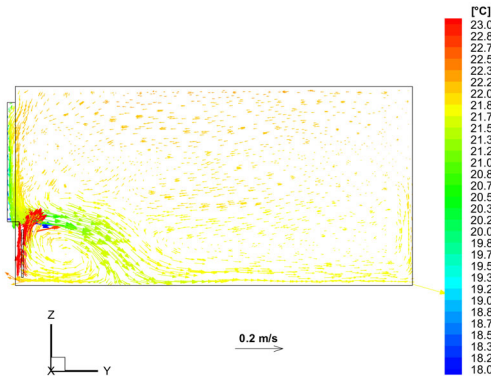
$n = 0,25 \text{ h}^{-1}$ (Var. 25)



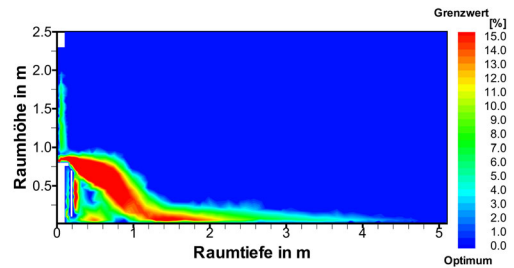
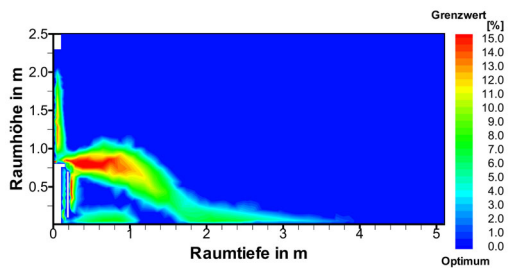
$n = 0,50 \text{ h}^{-1}$ (Var. 34)



Räumlicher Strömungsverlauf



Strömungsverlauf für eine vertikale Ebene in Raummitte

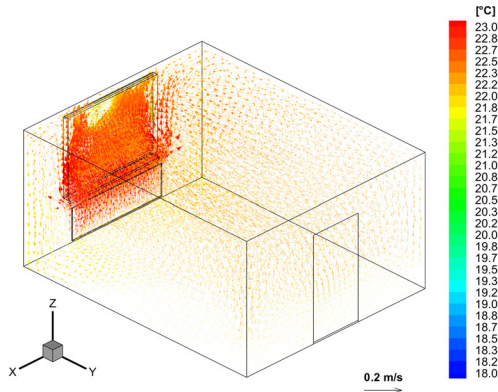


Zugluftrisiko DR für eine vertikale Ebene in Raummitte

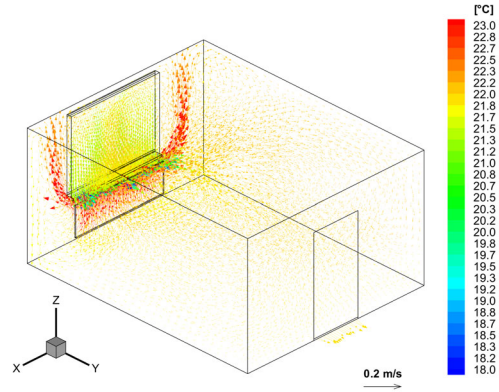
Abb. 2 Einfluss des Luftwechsels – Niedrigenergiehaus; Heizkörper; Schlitz - ALD unterhalb Fenster; waagrecht ausblasend

Luftwechsel

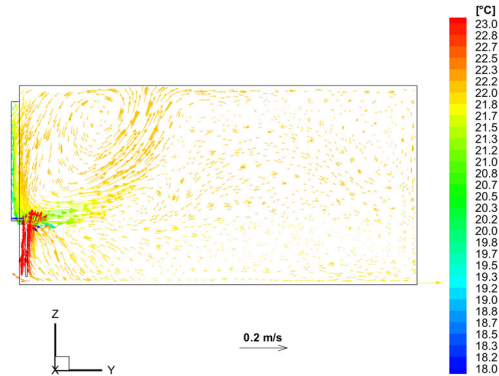
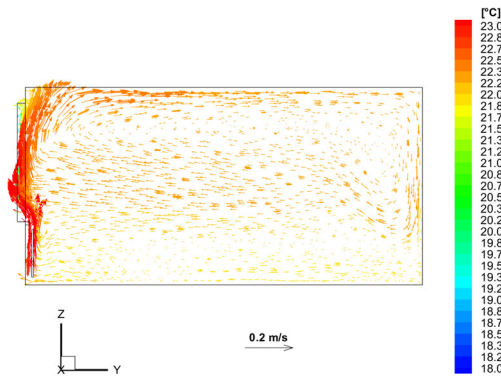
$n = 0 \text{ h}^{-1}$ (Var. 9)



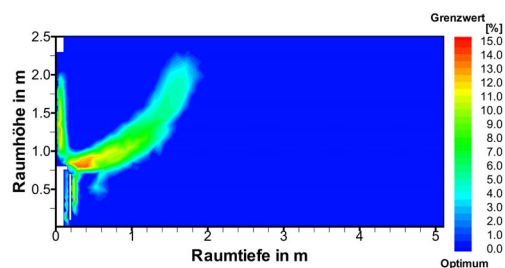
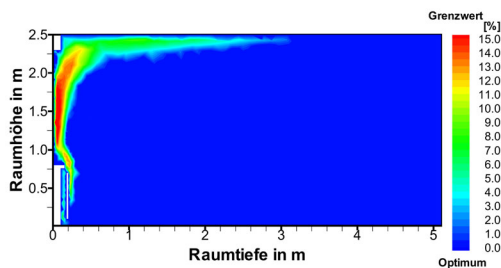
$n = 0,10 \text{ h}^{-1}$



Räumlicher Strömungsverlauf



Strömungsverlauf für eine vertikale Ebene in Raummitte



Zugluftrisiko DR für eine vertikale Ebene in Raummitte

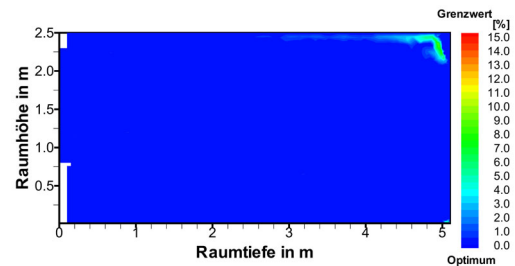
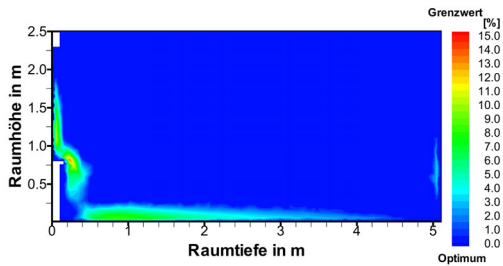
Abb. 3

Einfluss des Luftwechsels – Niedrigenergiehaus; Heizkörper; Schlitz - ALD unterhalb Fenster; waagrecht ausblasend (Die Ergebnisse zum Luftwechsel $n = 0,10 \text{ h}^{-1}$ gelten näherungsweise auch für ein (älteres) Fenster mit Fugenlüftung)

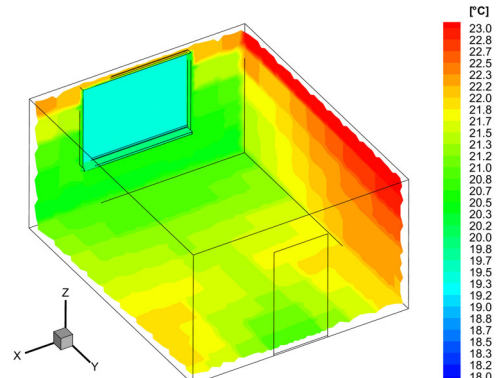
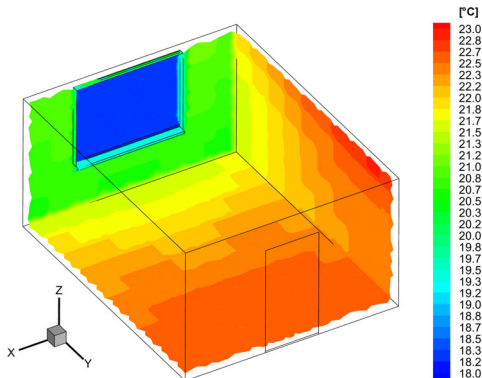
Heizsystem

DH (Var. 56)

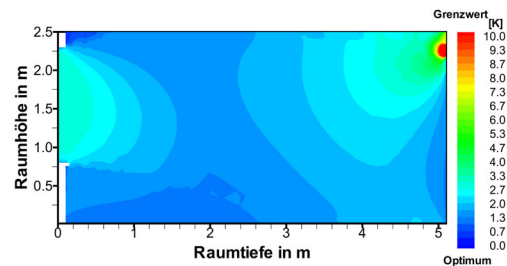
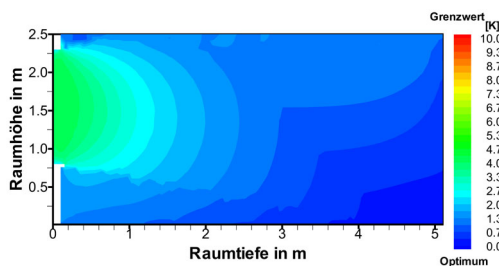
LH (Var. 90)



Zugluftrisiko DR für eine vertikale Ebene in Raummitte



Oberflächentemperaturen ϑ_s für Außenwand, Fußboden und eine Innenwand



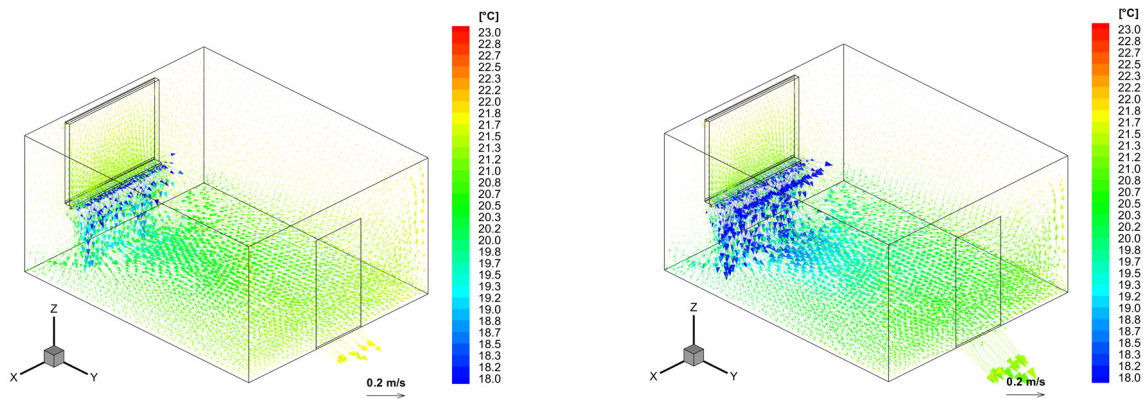
Maximale Strahlungsasymmetrie $\Delta\vartheta_s$ für eine vertikale Ebene in Raummitte

Abb. 4 Vergleich von Heizsystemen – Niedrigenergiehaus;
 DH: Deckenheizung ($n = 0 \text{ h}^{-1}$) LH: Luftheizung ($n = 0,50 \text{ h}^{-1}$)

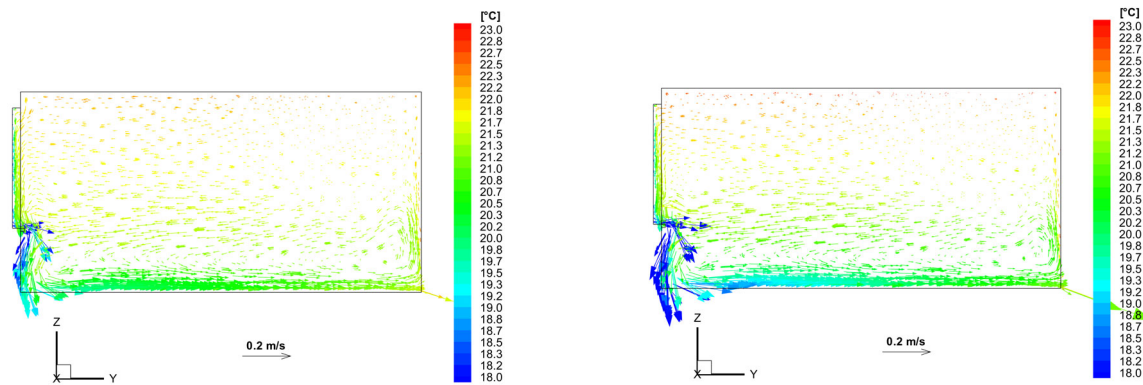
Luftwechsel

$n = 0,25 \text{ h}^{-1}$ (Var. 63)

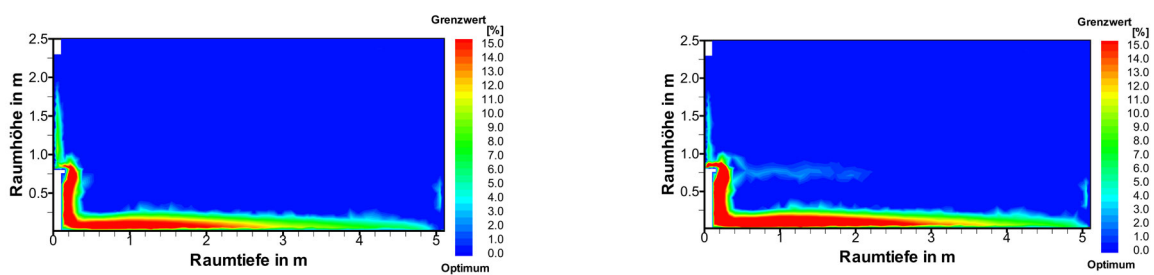
$n = 0,50 \text{ h}^{-1}$ (Var. 68)



Räumlicher Strömungsverlauf



Strömungsverlauf für eine vertikale Ebene in Raummitte



Zugluftrisiko DR für eine vertikale Ebene in Raummitte

Abb. 5 Einfluss des Luftwechsels – Niedrigenergiehaus; Fußbodenheizung; Schlitz - ALD unterhalb Fenster; waagrecht ausblasend