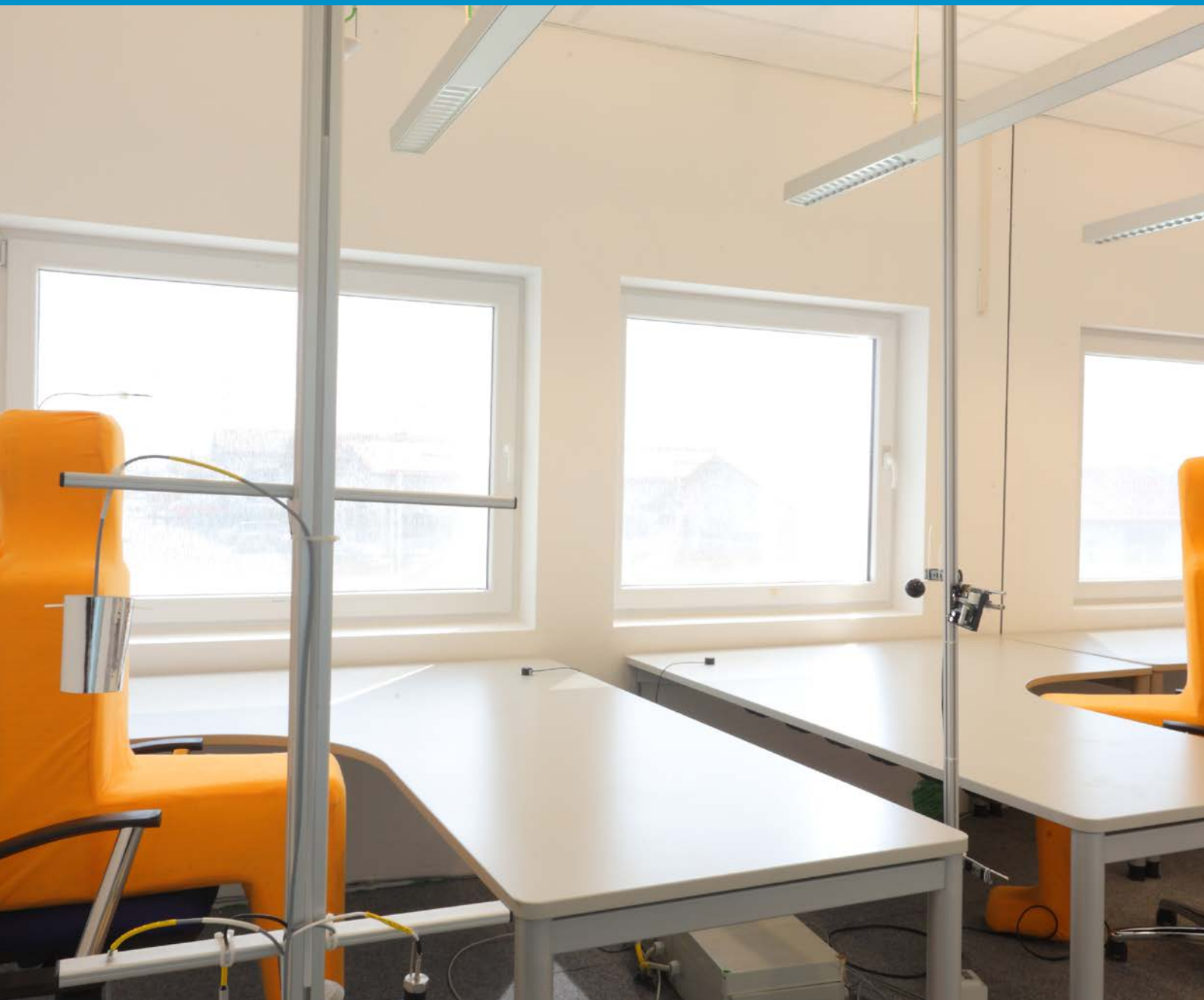
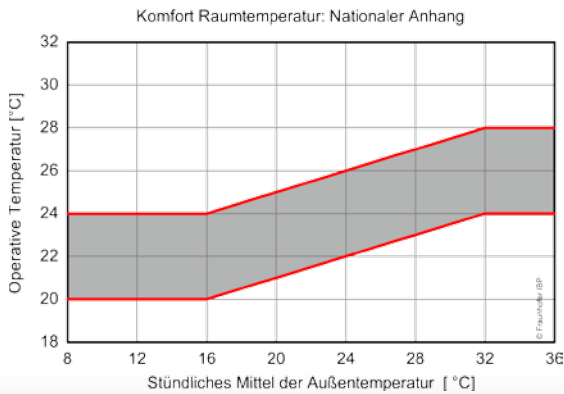


THERMISCHER KOMFORT IM BÜRO FÜR DIE PLANUNGSPRAXIS

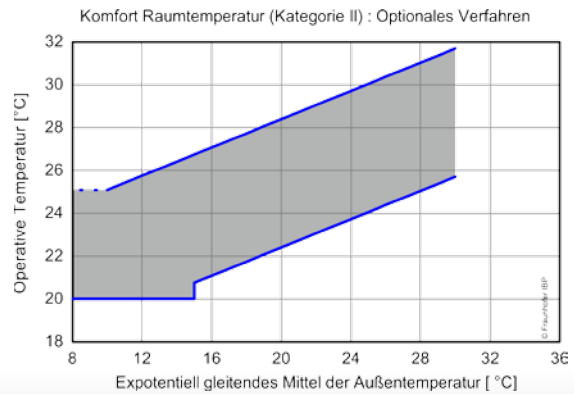


DAS BNB-TOOL THERMISCHER KOMFORT WURDE IM RAHMEN DES VON DER FORSCHUNGSINITIATIVE »ZUKUNFT BAU« GEFÖRDERTEN PROJEKTS »KRITERIEN DES NACHHALTIGEN BAUENS ZUR BEWERTUNG DES THERMISCHEN RAUMKLIMAS – WEITERENTWICKLUNG DES BEWERTUNGSWERKZEUGS UND UMSETZUNG IN DIE PRAXIS« ENTWICKELT.





1



2

THERMISCHER KOMFORT IM SOMMER

Fragestellung: Thermischer Komfort versus Energieeffizienz

»Neu-, Um- und Erweiterungsbauten sind so zu planen und auszuführen, dass gesundheitlich zuträgliche Raumtemperaturen in normalen Büroräumen im Sommer generell ohne Einsatz maschineller Kühlung eingehalten werden können. Soweit maschinelle Kühlung unumgänglich ist, sind die dafür erforderlichen Anlagen so zu planen und auszuführen, dass sie mit möglichst wenig fossiler Energie betrieben werden können.« (Klimarichtlinie 2008)

Dabei ist in der Forschung noch umstritten, welche Temperatur für ein Gebäude im Sommer als komfortabel zu erachten ist. Laut DIN EN 15251 sind bei einem Gebäude mit maschineller Kühlung bis zu 26 °C und bei einem Gebäude ohne maschinelle Kühlung höhere Temperaturen, abhängig von der gleitenden Außentemperatur, noch zulässig (optionales Verfahren). Der neue nationale Anhang in DIN EN 15251 unterscheidet nicht mehr zwischen den Betriebsarten mit und ohne maschinelle Kühlung, sondern die hier verwendete einheitliche Komforttemperaturkurve ist anhängig von der stündlichen Außentemperatur. Die maximal erlaubte Raumtemperatur liegt im Sommer bei 28 °C, bei Außentemperaturen über 32 °C.

Bei der Entscheidung für eine aktive Kühlung sowie bei der Ermittlung des Kälteleistungsbedarfs ist die maximale Komforttemperatur unter Berücksichtigung des oben genannten Zieles des Bundes, formuliert in der Klimarichtlinie, zu bestimmen. Der Entwurf des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP zur Überarbeitung des BNB-Steckbriefs 3.1.1/2 bewertet Räume ohne maschinelle Kühlung anhand des optionalen Verfahrens aus DIN EN 15251 und mit maschineller Kühlung nach dem Nationalen Anhang der DIN EN 15251.

Vorgehensweise für thermischen Komfort und Energieeffizienz

I. Feststellung des Komfort-Qualitätsniveaus

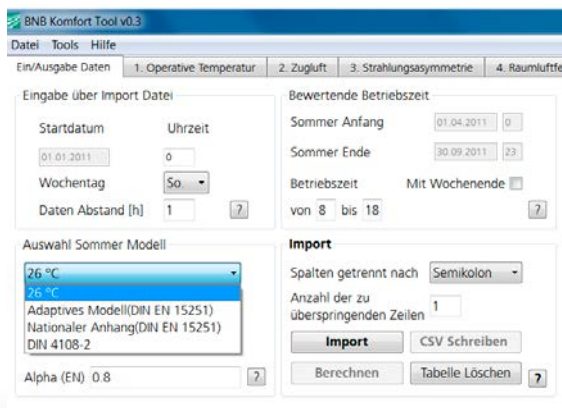
Zuerst sollten die Bauherren das gewünschte Komfort-Qualitätsniveau feststellen. Im oben genannten Entwurf werden dazu Qualitätsniveaus beschrieben, die als Orientierungswerte für die Bestimmung des Komfortniveaus dienen.

II. Variantenvergleiche ohne maschinelle Kühlung

Mittels thermischer Gebäudesimulation kann geprüft werden, ob eine maschinelle Kühlung erforderlich ist, oder ob andere passive oder unterstützende Maßnahmen wie Sonnenschutz, Sonnenschutzverglasung und Nachtlüftung kostengünstiger durchgeführt werden können. Die Simulation muss nicht das gesamte Gebäude, sondern nur kritische Räume abbilden, z. B. das Dachgeschoss, repräsentative Süd-, Ost- und West-, Eck- sowie Besprechungs- und Empfangsräume mit großer Fensterfläche. Dabei ist die Bestimmung der Randbedingungen wichtig. Sie sollten möglichst die reale Betriebsituation nachbilden, z. B. hinsichtlich Belegungsdichte, interne Wärmelast, Luftwechselzahl, Baukonstruktion sowie Sonnenschutz. Der thermische Komfort im Gebäude ohne maschinelle Kühlung (für eine genaue Definition: siehe Entwurf des Fraunhofer IBP für die BNB-Steckbriefe 3.1.1/2) und mit direktem Zugang zu offenbaren Fenstern sollte mittels des optionalen Verfahrens in DIN EN 15251 bewertet werden. Nach diesem Verfahren ist an sehr heißen Tagen in Deutschland eine Raumtemperatur bis zu 30 °C zulässig, sodass eine aktive Kühlung in der Regel nicht notwendig wird.

III. Betrachtung einer maschinellen Kühlung

Falls die Komfortanalyse ohne maschinelle Kühlung zeigt, dass trotz Betrachtung eines wirtschaftlichen sommerlichen Wärmeschutzes sowie passiven Maßnahmen die operative Temperatur im Sommer das gewünschte Qualitätsniveau nicht erfüllt, dann sollte eine maschinelle Kühlung betrachtet



3



4

- 1 *Komfortbereich der operativen Temperatur in Abhängigkeit vom stündlichen Mittel der Außentemperatur nach nationalem Anhang in DIN EN 15251.*
- 2 *Komfortbereich der operativen Temperatur (Kategorie II) in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittel der Außentemperatur nach Optionalem Verfahren in DIN EN 15251.*
- 3 *Bewertung des Sommerlichen Komforts im BNB-Tool Thermischer Komfort.*
- 4 *Der am Fraunhofer IBP entwickelte Sensor des DressMAN 2.0.*
- 5 *Luftströmung bei einer mechanischen Lüftung.*
- 6 *Bewertung der Raumlufffeuchte im BNB-Tool Thermischer Komfort.*

werden. Die eingegebene Kühlleistung in der thermischen Gebäudesimulation sollte mit dem berechneten Leistungsbedarf gemäß VDI 2078 übereinstimmen. Trotz der Entscheidung für eine maschinelle Kühlung, sollte der bauliche sommerliche Wärmeschutz die Mindestanforderung der DIN 4108-2 erfüllen.

Nachweise

I. Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz – DIN 4108-2 (Ausgabe Feb. 2013)

Dieser Nachweis kann entweder anhand der Berechnung des Sonneneintragskennwerts oder anhand dynamischer thermischer Simulation durchgeführt werden.

II. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) - Thermischer Komfort im Sommer (3.1.2)

Falls keine maschinelle Kühlung geplant ist, wird die Verteilung der operativen Temperatur anhand dynamischer thermischer Simulation bewertet. Bei einer maschinellen Kühlung können auch Auslegungswerte bei Kühllastberechnung gemäß VDI 2078 und stationäre Strahlungstemperaturberechnungen als Nachweis verwendet werden.

Praxishilfe

Anhand des BNB-Tools Thermischer Komfort (Operative Temperatur-Analyse) können die Ergebnisse einer thermischen Gebäudesimulation analysiert werden. Das Tool bietet Komfortbewertungen nach unterschiedlichen Verfahren in DIN EN 15251, wenn Werte der Innenraum- sowie der Außentemperatur vorhanden sind.

LÜFTUNG: LUFTQUALITÄT, RAUMLUFFFEUCHTE UND ZUGLUFT

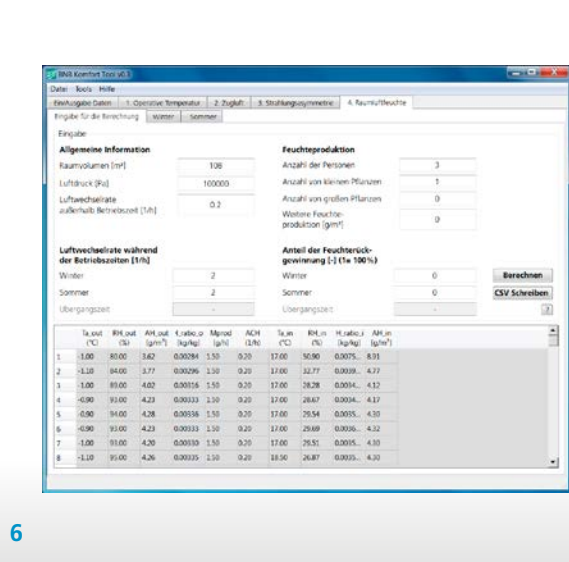
Die Wahl des Lüftungskonzepts und des Außenluftvolumenstroms entscheidet über Luftqualität, Raumlufffeuchte und Zugluftisiko im späteren Betrieb.

Eine freie Lüftung ist in Büroräumen in der Regel ausreichend. Wenn Wärmerückgewinnung wirtschaftliche Vorteile bietet oder besondere bauliche Gründe gelten, die ein Öffnen der Fenster verhindern, z. B. zu hohe Außenlärmpegel, werden maschinelle Lüftungsanlagen eingesetzt (AMEV 2011).

Fragestellung bei maschineller Lüftung

I. Gute Luftqualität versus trockene Luft im Winter?

Eine maschinelle Lüftung wird die Luftqualität eines Raumes und den thermischen Komfort im Winter in höherem Maße sicherstellen als eine Fensterlüftung. Allerdings sollte bei der Bestimmung des Frischluft-Volumenstroms nicht nur die erforderliche Luftqualität, sondern auch die Raumlufffeuchte beachtet werden. Je höher die Außenluftvolumenströme, desto niedriger die CO₂-Konzentration aber auch die Raumlufffeuchte. Im Winter kann niedrige Raumlufffeuchte Beschwerden über Trockenheit, wie Reizungen der Schleimhäute und der Augen in Büroräumen, verursachen. Daher sollte die Raumlufffeuchte unter Berücksichtigung des geplanten Außenluftvolumens und der tatsächlichen Belegungsdichte detailliert untersucht werden. Besonders wichtig



dabei ist, die Schätzung der tatsächlichen Belegungsdichte im Betrieb. Falls das Luftvolumen für hohe Belegungsdichte (100 Prozent Belegung) definiert wurde und entsprechend zugeführt wird, im Betrieb jedoch tatsächlich nur die Hälfte belegt ist, dann wird die Raumlufte sehr trocken sein. Trotz dieses Problems ist die Notwendigkeit von Luftbefeuchtern aufgrund energetischer, hygienischer und wirtschaftlicher Aspekte kritisch zu überprüfen.

II. Gute Luftqualität, komfortable Raumtemperatur versus Zugluft?

Bei einer maschinellen Kühlung und Lüftung kann ein erhöhter Luftvolumenstrom Zugluftbeschwerden verursachen. Um dieses Zugluftrisiko zu vermeiden, sollte die Sollraumlufttemperatur während der Kühlung nicht zu niedrig sein. Zusätzlich ist eine Reduzierung des Luftvolumenstroms auf das hygienisch notwendige Minimum anzustreben, sodass die Nutzer die Luftströmung möglichst wenig wahrnehmen. Für solche Fälle ist die Bewertung der Zugluft nach BNB-Steckbrief 3.1.2. besonders zu beachten.

III. Optimaler Außenluftvolumenstrom?

Die Obergrenze der Luftwechselzahl für eine komfortable Raumluftfeuchte ändert sich je nach der Belegungsdichte, der Raumhöhe, der zusätzlichen Feuchteproduktion im Raum (z.B. durch Pflanzen), sowie nach der Außenluftfeuchte. Daher ist die Analyse der Raumluftfeuchte mit TRY-Wetterdaten und Innenraumlufttemperaturen dynamisch durchzuführen. Die Untergrenze der Luftwechselzahl für bestimmte CO₂-Konzentrationen kann anhand der Belegungsdichte und der Raumhöhe stationär gerechnet werden. Das folgende Beispiel zeigt die Notwendigkeit einer sorgfältigen Bestimmung der Luftwechselzahl und einer Analyse in der Planungsphase:

Nach AMEV ist eine CO₂-Konzentration der Raumlufte zwischen 800 und 1400 ppm anzustreben. Diese Anforderung entspricht bei einer CO₂-Konzentration der Außenluft von 380 ppm einem stündlichen Außenluftstromvolumen

zwischen 48 m³ und 20 m³ pro Person. Wenn die gebäudebezogenen Emissionen für die Bestimmung des Außenluftvolumenstroms additiv berücksichtigt werden, beträgt dieser bei einer Belegungsdichte von 15 m² pro Person nach DIN EN 15251 für »schadstoffarme« Gebäude zwischen 58 m³ und 86 m³ pro Person und für »sehr schadstoffarme« Gebäude zwischen 39 m³ und 67 m³ pro Person für Einhaltung der Kategorie II.

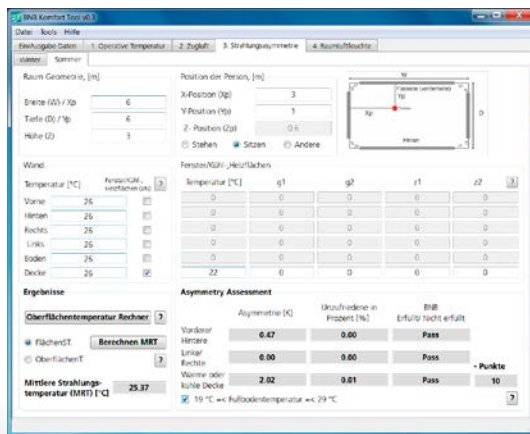
Im Winter – z. B. bei 0 °C Außenlufttemperatur mit 70 Prozent relativer Feuchte – unterschreitet die Raumluftfeuchte ohne zusätzliche Feuchteproduktion den Grenzwert von 25 Prozent schon ab eines Außenluftvolumenstroms von 54 m³ pro Person. Daher sollte eine dynamische Berechnung der Raumluftfeuchte mit dem Außenklima durchgeführt und gleichzeitig bei der Bestimmung des Außenluftstroms berücksichtigt werden.

Fragestellung bei Fensterlüftung

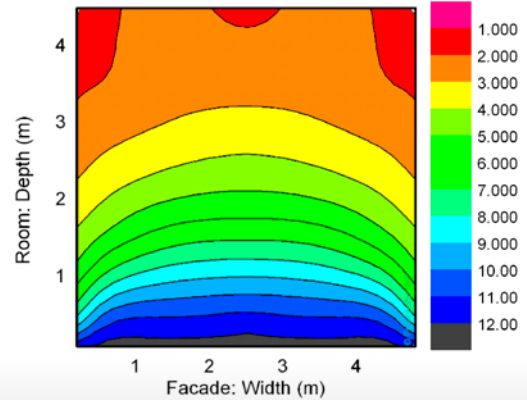
Gegenüber maschineller Lüftung ist schlechte Luftqualität bei Fensterlüftung im Winter ein größeres Problem als trockene Raumlufte. In der Praxis werden die Fenster zu dieser Jahreszeit eher selten geöffnet. Das bedeutet meist eine schlechtere Luftqualität und angenehmere Raumluftfeuchte ohne Reduzierung des thermischen Komforts.

Um den aus hygienischen Gründen notwendigen Außenluftvolumenstrom im Betrieb zu gewährleisten, sind Maßnahmen, wie z. B. eine visuelle Anzeige der CO₂-Konzentration, CO₂-Ampel oder stufenlose Kippstellung der Fenster, in der Planungsphase zu berücksichtigen.

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (ASR) schlägt als Orientierungswert für die Fensterlüftung in Büroräumen im Winter vor, eine Stoßlüftung jede Stunde für drei Minuten durchzuführen.



7



8

Vorgehensweise

- I. Festlegung der realistischen Belegungsdichte im Betrieb und Qualitätsniveau der Luftqualität nach BNB-Steckbrief 3.1.3 sowie der Raumlufftfeuchte nach dem Entwurf des Fraunhofer IBP für den BNB-Steckbrief 3.1.1
- II. Untersuchung der Raumlufftfeuchte (Relative Feuchte im Winter) je nach Außenluftvolumenströmen (BNB-Steckbrief 3.1.3) mit Außenklimadaten
Schritt II kann entweder anhand dynamischer Gebäudesimulation oder vereinfachter dynamischer Feuchtebilanzierung oder CO₂-Konzentrationsbilanzierung durchgeführt werden. Die Ergebnisse liefern einen ersten Schätzwert in der Planungsphase. Die tatsächliche Raumlufftfeuchte wird wegen der Feuchtepufferung der Materialien vom vorhergesagten Wert abweichen.
- III. Untersuchung der Zugluft je nach (Außen-) Luftvolumenströmen und operativer Raumtemperatur im Sommer
- IV. Bestimmung der Außenluftvolumenströme bei mechanischer Lüftung unter der Berücksichtigung der Raumlufftfeuchte und Luftqualität, und ggf. Maßnahmen für Raumlufftfeuchte. Bestimmung der Maßnahmen zur Erhaltung der Luftqualität bei Fensterlüftung

Praxishilfe

Das BNB-Tool Thermischer Komfort bietet eine dynamische Berechnung der Feuchtebilanzierung anhand der Außenlufttemperatur, der relativen Außenluftfeuchte sowie der Raumluffttemperatur und einer stationären Eingabe zur Feuchteproduktion (Zahl der Pflanzen und Belegungsdichte). Darauf basierend wird eine Analyse von Überschreitungszeiten sowie der Unterschreitungshäufigkeit der Grenzwerte der Raumlufftfeuchte durchgeführt. Zudem bietet das BNB-Tool eine Zugluftberechnung anhand der Lufttemperatur, der Luftgeschwindigkeit und des Turbulenzgrades für mechanische Lüftung.

6

STRAHLUNGSTEMPERATUR

Der thermische Komfort wird nach allen Normen sowie nach BNB mittels der operativen Temperatur bewertet. Die Systeme zur Kühlung und Heizung werden in der Praxis jedoch üblicherweise anhand der Lufttemperatur geregelt. Falls die operative Temperatur in einem Raum sich von der Lufttemperatur unterscheidet, kann dies im Betrieb ungewollt zu hohem Energieverbrauch oder zu Unbehaglichkeit führen. Um dieses Risiko zu vermeiden, sollten die Planer sich in den im Folgenden beschriebenen Situationen bewusst mit der Luft-, Strahlungs- sowie der operative Temperatur auseinandersetzen und diese für eine Entscheidung analysieren.

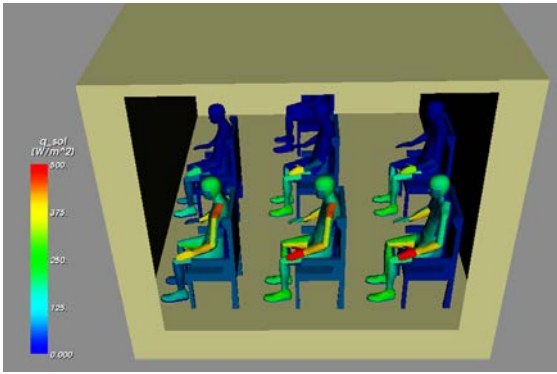
Kalte Fensterfläche

Bei einer sehr kalten Außentemperatur (z.B. -10°C) können die inneren Oberflächen von Fenstern trotz eines guten U-Werts bis auf 16 °C auskühlen. Um einen gleichbleibenden thermischen Komfort bei einer operativen Temperatur von 20 °C am fensternahen Arbeitsplatz zu gewährleisten, sollte bei einem Raum mit einseitiger Vollverglasung die Lufttemperatur entsprechend 21,6 °C betragen. In einer solchen Situation (kalte Außentemperatur bei großer Fensterfläche an fensternahem Arbeitsplatz) ist die Solllufttemperatur für eine Heizung ein bis zwei Kelvin höher zu regeln.

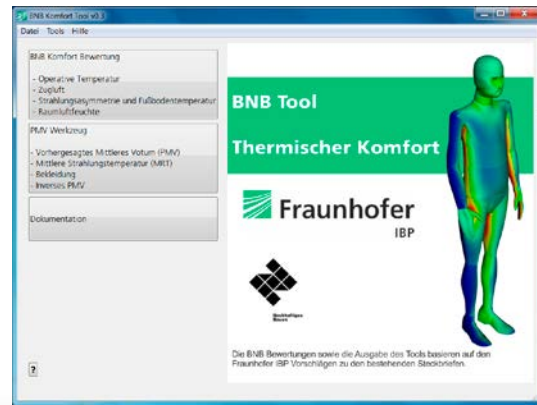
Strahlungsheizung / -kühlung

Wird ein Raum mit Strahlungsheizung geheizt, z. B. Fußbodenheizung oder Betonkernaktivierung, kann die Solllufttemperatur etwas niedriger sein als 20 °C. Beispielsweise kann bei einer Fußbodenheizung mit 26 °C Oberflächentemperatur die Lufttemperatur um 2 K niedriger eingestellt werden. Im Betrieb kann die Strahlungsheizung nach dieser Lufttemperatur geregelt werden. Dagegen kann die Lufttemperatur bei einer Strahlungskühlung, z. B. bei einer Kühldecke, höher sein als die operative Solltemperatur.

Die Höhe der Abweichung der Lufttemperatur von der operativen Solltemperatur kann anhand einer stationären Strahlungs-



9



10

berechnung festgestellt werden. Bei einer energetischen und wirtschaftlichen Variantenuntersuchung sind die Varianten immer anhand der operativen Temperatur zu vergleichen.

Strahlungstemperaturasymmetrie

Einseitige Strahlung von kalten oder warmen Flächen kann als unangenehm empfunden werden. Ein kaltes Fenster oder eine warme Decke mit höherer Oberflächentemperatur können einseitig und lokal wirksam Körperteile auskühlen oder erwärmen. Diese Strahlungstemperaturasymmetrie wird anhand des Unterschieds der Flächenstrahlungstemperatur zwischen linkem und rechtem, vorderem und hinterem bzw. oberem und unterem Halbraum nach ISO 7726 gerechnet und bewertet.

Solare Strahlung

Die oben genannte Berechnung der Strahlungstemperatur oder -asymmetrie bezieht sich nur auf langwellige Strahlung. Der solare, kurzwellige Strahlungseinfluss auf die thermische Behaglichkeit wird leider noch nicht in aktuellen Normen betrachtet. Die solare Strahlung entscheidet jedoch maßgeblich über die operative Temperatur und thermische Behaglichkeit, sobald eine Person dieser direkt ausgesetzt ist. Eine geeignete Berechnungsmethode wird momentan nur in der Forschung angewendet.

Vorgehensweise

I. Einfluss eines kalten Fensters

- Berechnung der Strahlungstemperatur an fensternahem Platz unter Winter-Randbedingungen
- Bestimmung der Lufttemperatur für die geplante operative Temperatur

II. Einfluss einer Strahlungsheizung oder -kühlung

- Berechnung der Strahlungstemperatur in der Raummitte bei einer Decken-/Bodenheizung oder -kühlung
- Berechnung der Strahlungstemperatur in 0,5 m Entfernung von einer Wandheizung oder -kühlung
- Berechnung der Strahlungstemperaturasymmetrie. Falls diese zu hoch ist, sollte die Oberflächentemperatur der Strahlungsheizung oder -kühlung entsprechend angepasst werden
- Bestimmung der Lufttemperatur für die geplante operative Temperatur

III. Berücksichtigung der solaren Strahlung

Falls der untersuchte Raum direkter solarer Strahlung ausgesetzt ist – für solche Fälle sollte die Lufttemperatur deutlich niedriger gewählt werden.

Praxishilfe

Das BNB-Tool Thermischer Komfort bietet mit der Mean Radiant Temperature (MRT) eine stationäre Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur je nach der Position und der Raumgeometrie sowie eine Auswertung der Strahlungstemperaturasymmetrie von vorne/hinten, links/rechts und oben/unten. Mit diesem Tool kann der kritische oder positive Effekt des Strahlungseinflusses in der Planungsphase festgestellt werden. Anhand dieses Tools kann die Strahlungstemperaturasymmetrie bei der BNB-Bewertung nachgewiesen werden.

7 Berechnung der Strahlungstemperaturasymmetrie im BNB-Tool Thermischer Komfort.

8 Strahlungstemperaturasymmetrie in Kelvin vor einer Fassade (U-Wert: 3,3 W/m²K).

9 Solarer Eintrag an unterschiedlichen Raumpositionen.

10 Screenshot des Hauptmenüs des BNB-Tools Thermischer Komfort.

STANDORT

HOLZKIRCHEN

Postfach 11 52
83601 Holzkirchen
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley
Telefon +49 8024 643-0
Fax +49 8024 643-366
info@ibp.fraunhofer.de

© Fraunhofer IBP 2014

INSTITUT STUTTGART

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-00
Fax +49 711 970-3395

STANDORT KASSEL

Gottschalkstraße 28a
34127 Kassel
Telefon +49 561 804-1870
Fax +49 561 804-3187

STANDORT NÜRNBERG

c/o Energie Campus
Nürnberg
Fürther Str. 250
Auf AEG, Bau 16
90429 Nürnberg
Telefon +49 911 56854-9144

STANDORT ROSENHEIM

Fraunhofer-Zentrum
Bautechnik
c/o Hochschule Rosenheim
Hochschulstraße 1
83024 Rosenheim
Telefon +49 8031 805-2684