

Gunnar Grün, Sumeer Park

**Kriterien des nachhaltigen Bauens
zur Bewertung des thermischen
Raumklimas - Weiterentwicklung
des Bewertungswerkzeuges und
Umsetzung in die Praxis**

F 2870

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht RK 023/2013/296

Kriterien des nachhaltigen Bauens zur Bewertung des thermischen Raumklimas - Weiterentwicklung des Bewertungswerkzeugs und Umsetzung in die Praxis

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn, gefördert (AZ: II3-F20-11-057).

Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Der Bericht umfasst

100 Seiten Text

25 Tabellen

13 Abbildungen

Valley, 25. Juni 2013

Abteilungsleiter

Bearbeiter

Dr.-Ing.
Gunnar Grün

Dipl.-Ing.
Sumeer Park

1	Einleitung	5
2	Kenngößen der thermischen Behaglichkeit	6
2.1	Raumklimatische Parameter	7
2.2	Kenngöße für die Beurteilung des gesamten thermischen Komforts	9
2.3	Kenngößen für die Beurteilung des lokalen thermischen Komforts	10
3	Festlegung von Komfortbereichen	12
3.1	PMV Bewertung	13
3.2	Operative Temperatur	13
3.2.1	PMV und Operative Temperatur	13
3.2.2	Abweichende Anforderungen im Sommer	14
3.2.3	Diskussion	17
3.2.4	Fazit	22
3.3	Luftfeuchte	23
3.3.1	Einfluss der Luftfeuchte auf das thermische Empfinden	23
3.3.2	Einfluss der Luftfeuchte auf Trockenheit	25
3.3.3	Diskussion	26
3.3.4	Fazit	27
3.4	Zugluftrisiko	27
3.5	Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur	27
3.6	Vertikaler Temperaturunterschied	30
3.7	Bewertung des thermischen Komforts	30
3.7.1	Langzeitbewertungsmethode der allgemeinen thermischen Behaglichkeit	31
3.7.2	Zulässige Abweichungen	33
4	Weiterentwicklung der BNB-Steckbriefe	35
4.1	Gesamtbewertung und Gewichtung der Kriterien	36
4.2	Operative Temperatur	37
4.2.1	Probleme bei der praktischen Umsetzung der Bewertung	37
4.2.2	Bestimmung der Qualitätsniveaus	40
4.2.3	Nachweisverfahren	40
4.3	Zugluft	45
4.4	Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur	45
4.5	Raumluftfeuchte	47
4.6	Zusammenfassung der wichtigen Änderung in neuen Steckbriefen	47

5	Umsetzung eines BNB-Bewertungswerkzeugs in die Praxis	49
5.1	Entwicklung des Bewertungswerkzeugs „BNB-Tool Thermischer Komfort“	49
5.2	Beispiel-Zertifizierung in der Praxis	51
6	Broschüre: Thermischer Komfort für die Planungspraxis	52
7	Diskussion und weiterer Forschungsbedarf	52
7.1	Unstimmigkeit der BNB Steckbriefe mit anderen Richtlinien oder anderen BNB Steckbriefen	52
7.2	Weitere Toolentwicklung: Bewertung der Raumluftfeuchte	53
7.3	Werkzeug für die Variantenuntersuchung im Planungsprozess	54
7.4	Weitere Fragestellungen	56
8	Literaturverzeichnis	58
A.1	Anhang 1: Steckbrief	61
A.2	Anhang 2: Broschüre „Thermischer Komfort für die Planungspraxis“	61
A.2.1	Thermischer Komfort im Sommer	61
A.2.2	Lüftung: Luftqualität, Raumluftfeuchte und Zugluft	64
A.2.3	Strahlungstemperatur	67
A.3	Hilfe für das BNB-Tool Thermischer Komfort	69
A.3.1	BNB Bewertung	71
A.3.2	PMv Werkzeug	83
A.4	Modellbeschreibungen für das BNB-Tool Thermischer Komfort	87
A.4.1	PMV - Predicted Mean Vote (Vorausgesagtes mittleres Votum)	87
A.4.2	Berechnung des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur	88
A.4.3	Bewertung nach optionalem Verfahren (DIN EN 15251)	88
A.4.4	Mean Radiant Temperature (MRT): Mittlere Strahlungstemperatur	90
A.4.5	Zugluftrisiko: Draft Rate (DR)	96

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau- Stadt-und Raumforschung gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Bearbeiter	Dipl.-Ing. Sumeer Park Dipl.-Inf. Sebastian Stratbücker unter Mitwirkung von Ebert-Ingenieure GmbH
Zuwendungsempfänger	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP Fraunhoferstr.10 83626 Valley
Aktenzeichen	SF-10.08.18.7-11.36/ II 3-F20-09-1-026

1 Einleitung

Das vorhandene „**Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)**“ wurde 2009 zur ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbewertung für Gebäude vom *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)* entwickelt. Es entstand im Rahmen der Zusammenarbeit mit der *Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB)* mit wissenschaftlicher Begleitung durch das *Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)* [1].

Die vorhandenen Steckbriefe 3.1.1. und 3.1.2 im „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude“ (BNB) bieten zwar die erforderliche Kriterien für die Beurteilung des thermische Komforts im Winter und im Sommer, aber bei der Anwendung der Nachweisverfahren in der Praxis bestehen oft Unklarheiten. Dadurch ist die Qualität des Nachweismaterials abhängig von den durchführenden Ingenieuren sehr unterschiedlich. Manches Material enthält keine ausreichende Information für einen aussagekräftigen Nachweis des thermischen Komforts in einem Gebäude.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist, die vorhandenen Steckbriefe - „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)“ - zum thermischen Komfort im Winter und im Sommer, differenzierter und abgestimmter für die praktische Anwendung weiterzuentwickeln.

Dabei wird berücksichtigt, dass diese Forschungsarbeit als Arbeitshilfe für die Planung, die Errichtung, den Betrieb und die Nutzung von Bundesgebäuden angewendet werden soll. Weiterhin wird berücksichtigt, dass die Kriterien derzeit für den Neubau Anwendung finden, aber zukünftig auch auf den Altbau übertragen werden sollen. Im Forschungsvorhaben sollen Bürogebäude untersucht werden.

In dieser Arbeit werden die Steckbriefe als ein Werkzeug für die Verbesserung des Raumklimas in der Praxis betrachtet. Daher ist im Rahmen dieser Forschungsarbeit ein Tool entwickelt worden, welches als Planungs- und Entscheidungswerkzeug der beratenden Ingenieure, Projektleiter und Bauherrn dienen soll. Des Weiteren ist eine Broschüre „Thermischer Komfort für die Planungspraxis“ erstellt worden, um die wichtigen Entscheidungen bezüglich thermischem Komfort im Bauprozess klar zu definieren und eine Vorgehensweise für die Praxis aufzuzeigen.

2 Kenngrößen der thermischen Behaglichkeit

In diesem und im nächsten Arbeitspaket werden verschiedene vorhandene Modelle in Bezug auf thermische Behaglichkeitsbewertung zusammengestellt. Dabei werden die in internationalen und nationalen Normen vorhandenen thermischen Bewertungsmethoden sowie anerkannte Forschungsarbeiten betrachtet.

Das Ziel dieser Literaturzusammenstellung ist nicht die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den vorhandenen Modellen, sondern die Erstellung der Grundlagen für die Entwicklung des Werkzeuges und des Bewertungsmaßstabes für die Praxis. Daher werden zuerst anhand von den folgenden Richtlinien und Normen die Bewertungskriterien, -maßstäbe sowie -methoden zusammengestellt und falls wichtige Parameter in Normen nicht definiert sind, werden weitere Literaturquellen hinzugezogen.

Richtlinien

Arbeitsstättenrichtlinien (ASR)

- ASR A 3.5: Raumtemperatur (Ausgabe Juni 2010) [2]
- ASR A 3.6: Lüftung (Ausgabe: Jan. 2012) [3]

BMVBS:

- Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer (Klimarichtlinie 2008) [4]
- Leitfaden Nachhaltiges Bauen [5]
- Anlage 4: Energetisches Pflichtenheft (Muster) des Leitfadens Nachhaltiges Bauen [6]

AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen): RLT-Anlagenbau 2011: Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude [7].

Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI): Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter [8].

Normen

Thermischer Komfort

DIN EN ISO 7730:2006 – 05; Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit [9].

DIN EN 15251: 2007; Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik [10].

Nationaler Anhang in DIN EN 15251:2012-12; Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik [11].

VDI 4706: 2011; Kriterien für das Innenraumklima, zurückgezogen im Jan. 2013 [12].

ASHRAE 55: 2004; Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy [13].

Lüftung

DIN EN 13779:2007-09; Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme [14].

VDI 3804: 2009 -03; Raumlufttechnik - Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln) [15].

Heiz- und Kühllastberechnung

DIN EN 12831: 2003 -08; Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast [16].

VDI 2078: 2012 - 03; Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI-Kühllastregeln) [17].

Messung

DIN EN ISO 7726:2002-04; Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen [18].

2.1 Raumklimatische Parameter

Man kann das Raumklima wesentlich in die drei folgenden Bereiche einteilen: Behaglichkeitsbereich, Erträglichkeitsbereich und Unerträglichkeitsbereich [8]. Während für die Arbeitssicherheit in extrem warmen oder kalten Umgebungen (z.B. einer Industriearbeitsstätte) die Fragestellung der letzten beiden Bereiche behandelt wird, wird in dieser Arbeit das Empfinden im Behaglichkeitsbereich betrachtet.

Nach DIN EN 15251 ist für den Menschen thermische Behaglichkeit gegeben, „wenn er mit Temperatur, Feuchte und Luftbewegung in seiner Umgebung zufrieden ist und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht“.

Dieses thermische Empfinden ist in erster Linie vom Wärmeaustausch zwischen Mensch und Umgebung bestimmt. Durch Konvektion, Strahlung und Verdunstung

wird die Wärme von der Haut des Menschen an die Umgebung abgegeben, wobei die nötige Wärme durch den Metabolismus erzeugt wird. Diese physikalischen Vorgänge werden außer von individuellen Parametern, wie Kleidung und Energieumsatz, hauptsächlich durch die Lufttemperatur, die mittlere Strahlungstemperatur, die Luftfeuchte und Luftbewegung beeinflusst. Im folgenden Abschnitt sind die Begriffe dieser Parameter erläutert.

Raumklimatische Grundparameter sind

- Lufttemperatur [°C]:
die Temperatur der den Menschen umgebenden Luft ohne Einwirkung von Wärmestrahlung [18] [8].
- Mittlere Strahlungstemperatur [°C]:
die gleichmäßige Temperatur eines gedachten Hüllraumes, in dem die strahlungsbedingte Wärmeübertragung vom menschlichen Körper weg ebenso groß ist wie die in dem realen, inhomogenen Hüllraum [18]. Missverständlicher Weise wird die mittlere Strahlungstemperatur oft mit der mittleren Oberflächentemperatur der Hüllflächen eines Raumes gleichgesetzt. Die Strahlungstemperatur wird jedoch determiniert, durch die Oberflächentemperaturen der Umgebungsflächen, deren Emissionsgrad und den Winkelfaktoren (Sichtfaktoren) zwischen einer Person in einer bestimmten Position und den sie umschließenden Flächen.
- Luftgeschwindigkeit [m/s]:
die Stärke des Geschwindigkeitsvektors des Luftzugs am betrachteten Messpunkt [18].
- Luftfeuchte [g/kg], [%]:
die Luftfeuchte wird unterschiedlich beschrieben: als absolute Luftfeuchte, dem „*tatsächlichen Wasserdampfgehalt der Luft*“ und als relative Luftfeuchte, also „*die Wasserdampfmenge in der Luft bezogen auf die maximale mögliche Wasserdampfmenge, die Luft bei gegebener Temperatur aufnehmen kann*“ [18].

Personenbezogene individuelle Parameter sind

- Aktivität (Energieumsatz) [met]:
die körpereigene Energieerzeugung, als Umwandlung von chemischer in mechanische und thermische Energie, 1 met = 58,2 W/m² [19].
- Bekleidungs-dämmwert [clo]:
die Wärmeisolation einer Bekleidungskombination als Grundisolation zwischen Haut und Oberfläche der Bekleidung, 1 clo = 0,155 m² K/W [20].

Als weitere personenbezogene Größen werden in [8] die Akklimatisierung und der Gesundheitszustand genannt.

2.2 Kenngröße für die Beurteilung des gesamten thermischen Komforts

Für die Bewertung des gesamten thermischen Raumklimas in Gebäuden werden oft die drei Kenngrößen PMV, operative Temperatur und Luftfeuchte angewendet.

PMV: Vorausgesagtes mittleres Votum (engl. Predicted Mean Vote)

PMV ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand einer 7-stufigen Klimabeurteilungsskala vorhersagt [9]. PMV = 0 bedeutet dass die meisten Personen das Raumklima „neutral“ (weder kalt noch warm) beurteilen werden. PMV = 1 bedeutet „etwas warm“, während PMV = -1 „etwas kühl“ bedeutet. Der PMV basiert auf der Wärmebilanzierung zwischen Mensch und Umgebung (Gl. 1) und dreier physiologischer Bedingungen, die Fanger [21] während seiner experimentellen Untersuchungen mit Probanden festgestellt hat.

- Der Körper ist thermisch im Gleichgewicht. Es finden kein Wärmeverlust und keine Wärmespeicherung im Körper statt.
- Die Hauttemperatur ist innerhalb des Komfort-Bereichs.
- Die Schweißrate ist innerhalb des Komfort-Bereichs.

$$M - W = (C_{res} + E_{res}) + (C + R + E_{sk}) + (S_{sk} + S_{cr}) \quad [\text{Gl. 1}]$$

M	Energieumsatz
W	Mechanische Leistung
C_{res}, E_{res}	Wärmeaustausch durch Konvektion und Verdunstung im Atmungstrakt
C	Wärmeaustausch durch Konvektion der Haut
R	Wärmeaustausch durch Strahlung der Haut
E_{sk}	Wärmeaustausch durch Verdunstung über die Haut
S_{sk}, S_{cr}	Wärmespeicherung der Haut und des Körperkerns

Dabei berücksichtigt der PMV die oben genannten sechs raumklimatischen Parameter. Die detaillierte Gleichung für die PMV Berechnung ist in Anhang 4 gegeben.

Operative Temperatur

Die operative Temperatur ist eine „gleichmäßige Temperatur eines imaginären schwarzen Raumes, in dem eine Person die gleiche Wärmemenge durch Strahlung und Konvektion austauschen würde wie in der bestehenden nicht gleichmäßigen Umgebung“ [11]. Die operative Temperatur berücksichtigt neben der Raumlufttemperatur auch den Strahlungsaustausch zwischen Menschen und Umschließungsflächen, z.B. den Einfluss von kalten Fenstern oder warmer Fußbodenheizung. Sie ergibt sich bei niedrigen Luftgeschwindigkeiten annähernd als Mittelwert aus der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur. Die mittlere Strahlungs-

temperatur kann mittels der Messung mit geschwärtzter Hohlkugel (Globe-Thermometer) ermittelt werden. Sie kann auch anhand der Oberflächentemperaturen der umschließenden Flächen und der Winkelfaktoren zwischen einer Person und den Umschließungsflächen, oder aus der Flächenstrahlungstemperatur basierend auf den Winkelfaktoren eines kleinen Flächenelements ermittelt werden (siehe für die genaue Definition den Abschnitt 3.5 zur Strahlungstemperaturasymmetrie und für die genaue Berechnung die entsprechende Gleichung in Anhang 4).

Die operative Temperatur wird oft auch als Raumtemperatur, Gefühlstemperatur oder Empfindungstemperatur bezeichnet.

Weitere Kenngrößen für gesamt-thermische Bewertung sind die Effektiv Temperatur (ET*) und die Äquivalenttemperatur (Teq). Die ET* fasst Luft- und Strahlungstemperatur sowie relative Feuchte in einem Indikator zusammen, so dass eine Person bei gleicher ET* die gleiche trockene und feuchte Wärme abgibt, sofern die Luftgeschwindigkeit gleich bleibt. Nach dem ASHRAE Standard 55-1992 [22] ist die ET* definiert als *„die operative Temperatur in einer Umgebung mit 50% relativer Feuchte, die den gleichen sensiblen und latenten Wärmeaustausch eines Menschen verursacht, wie seine aktuelle Umgebung“*.

Dagegen fasst die Äquivalenttemperatur (Teq) Luft- und Strahlungstemperatur und die Luftbewegung zu einem Indikator zusammen, so dass eine Person mit gleicher Teq die gleiche trockene Wärme abgibt. Nach der DIN EN ISO 14505-2 [23] ist die Äquivalenttemperatur (Teq) definiert als *„die homogene Temperatur des gedachten Raumes mit einer Luftgeschwindigkeit gleich Null, in dem eine Person die gleiche trockene Wärme durch Strahlung und Konvektion abgibt wie in der tatsächlichen Umgebung ohne einheitliche Bedingungen“*.

Luftfeuchte

Nach DIN EN 15251 sollte der Anwesende bei thermischer Behaglichkeit keine kältere oder wärmere Umgebung und keine trockenere oder feuchtere Umgebung wünschen. Während die erste, thermische Anforderung in der Regel anhand der operativen Temperatur beurteilt werden kann, wird die zweite Anforderung üblicherweise im Sommer anhand der absoluten Feuchte und im Winter mittels der relativen Luftfeuchte beurteilt.

2.3 Kenngrößen für die Beurteilung des lokalen thermischen Komforts

Neben der globalen Beurteilung wird die lokale thermische Behaglichkeit üblicherweise anhand folgender Kenngrößen bewertet.

Zugluftrisiko

Zugluft ist definiert als ein störender Luftzug, der zu einer lokalen Abkühlung, insbesondere an unbedeckten Körperflächen führt [3]. Nach DIN EN ISO 7730 kann die Beeinträchtigung durch Zugluft anhand des DR (Draught Rating) angegeben werden, das den vorausgesagten Prozentsatz an beeinträchtigten Menschen be-

schreibt. Das Zugluftrisiko (DR) kann mit der Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und dem Turbulenzgrad der Luftströmung berechnet werden (siehe die entsprechende Gleichung im Anhang 4).

Strahlungstemperaturasymmetrie

Einseitige Strahlung von kalten oder warmen Flächen kann von Menschen als unangenehm empfunden werden. Ein kaltes Fenster oder eine warme Decke mit höherer Oberflächentemperatur kann einseitig und lokal wirksam Körperteile auskühlen oder erwärmen. Diese Strahlungstemperaturasymmetrie wird aus der Differenz zwischen der Flächenstrahlungstemperatur in zwei entgegengesetzten Richtungen, zwischen linkem und rechtem, vorderem und hinterem bzw. oberem und unterem Halbraum berechnet und bewertet. Die Flächenstrahlungstemperatur kann nach DIN EN ISO 7726 *aus der Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen und dem Winkelfaktor eines kleinen Flächenelements zu den umgebenden Flächen (als Funktion der Form, Größe und der relativen Position der Oberfläche zur Person)* errechnet werden (siehe die Gleichungen im Anhang 4).

Für die Berechnung der Flächenstrahlungstemperatur werden nur die sichtbaren Umschließungsflächen für den Halbraum von der Position der Person in einem Raum betrachtet. Als Beispiel wird bei der Flächenstrahlungstemperatur von rechts nur der Strahlungsaustausch der Person mit den fünf relevanten Umschließungsflächen errechnet (Bild 1).



Bild 1:

Bei der Flächenstrahlungstemperatur wird der Strahlungsaustausch einer Person mit dem entsprechenden einseitigen Halbraum betrachtet. Rechtes Bild: Halbraum der Person für die Flächenstrahlungstemperatur von rechts.

Warme oder kalte Fußbodentemperatur

Zu hohe oder zu niedrige Fußbodentemperatur kann auch zu Unbehaglichkeit führen. Die Oberflächentemperatur des Fußbodens wird nach DIN EN ISO 7730 in drei Kategorien bewertet.

Vertikaler Temperaturunterschied

Ein hoher vertikaler Lufttemperaturunterschied im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenk kann zu Unbehaglichkeit führen. Beim vertikalen Temperaturunterschied werden für den sitzenden Menschen die lokalen Temperaturen zwischen

den Höhen von 1,1m und 0,1m und für den stehenden Menschen zwischen den Höhen von 1,7m und 0,1m verglichen.

3 Festlegung von Komfortbereichen

DIN EN 15251 legt die Eingangsparameter für das Innenraumklima für die Auslegung von Gebäuden und Gebäudesimulation nach vier Kategorien fest. Danach wird Kategorie II für neue und renovierte Gebäude empfohlen (Tabelle 1) und Kategorie I für ein Gebäude mit einem höheren Maß an Erwartungen.

Tabelle 1:
Beschreibung der Anwendbarkeit der Kategorien nach DIN EN 15251.

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden

Eine grundsätzliche Frage für die Raumklimabewertung im BNB Steckbrief lautet, welche der Kategorien ein Bundesgebäude erzielen soll.

Allein aus Sicht eines hohen Komforts ist es unumstritten, dass Kategorie I besser wäre als Kategorie II. Aber die Anforderungen an ein höheres Qualitätsniveau bedeuten gleichzeitig meist einen höheren Energieverbrauch (hohe Betriebskosten). Oftmals erfordert dies zudem ein mechanisches System (hohe Investitionskosten). Daher sollten sinnvolle Zielwerte (Qualitätsniveau I im Steckbrief) unter der Berücksichtigung des Energieverbrauchs, der Umsetzbarkeit in der Praxis und des thermischen Komforts festgelegt sein. Da sich in einem Verwaltungsgebäude in der Regel nicht „sehr empfindliche und anfällige Personen“ aufhalten, werden Zielwerte in dieser Arbeit in erster Linie nach Kategorie II festgelegt. Falls der „Stand der Technik“ die erste Kategorie erfüllt oder generell besser abschneidet, dann werden die Anforderungen an das Qualitätsniveau 1 entsprechend Kategorie I erhöht.

Bei der Feststellung des Qualitätsniveaus oder des Zielgrenzwerts stellen Unstimmigkeiten von Normen und Richtlinien, besonders im Sommerfall, eine Herausforderung dar.

Zuerst werden in diesem Abschnitt die unterschiedlichen Anforderungen aus den verschiedenen Normen und Richtlinien erläutert. Die Unstimmigkeiten zwischen Normen und anderen Literaturquellen werden am Ende des Kapitels zur Diskussion gestellt und es werden darauf basierend Empfehlungen abgeleitet. Diese Emp-

fehlungen werden im Weiteren in den neu formulierten Steckbriefen berücksichtigt.

3.1 PMV Bewertung

Die thermische Behaglichkeit kann anhand von PMV Berechnung nach DIN EN ISO 7730 in drei Kategorien und nach DIN EN 15251 in vier Kategorien klassifiziert werden.

Tabelle 2:

Zuordnung der Kategorien nach PMV in DIN EN ISO 7730 und DIN EN 15251.

PMV	PPD (%)	DIN EN ISO 7730	DIN EN 15251
$-0,2 < PMV < +0,2$	< 6	A	I
$-0,5 < PMV < +0,5$	< 10	B	II
$-0,7 < PMV < +0,7$	< 15	C	III
$-0,7 > PMV$ oder $PMV > +0,7$	> 15		IV

Nach DIN EN 15251 sowie nach nationalem Anhang in DIN EN 15251 wird die Kategorie II, $[-0,5 < PMV < +0,5]$, als Basis für die Planung und Auslegung von Neubauten und sanierten Bestandsgebäuden empfohlen.

3.2 Operative Temperatur

3.2.1 PMV und Operative Temperatur

DIN EN ISO 7730 zeigt anhand Grafiken für die drei Kategorien den Bereich für die optimale operative Temperatur, was als eine Funktion der Bekleidungsisolation und des Energieumsatzes in den Grafiken dargestellt wird. Dabei wird folgendes angenommen: Luftgeschwindigkeit < 0,1 m/s und relative Luftfeuchte von 50 %.

Für Büroarbeit wird ein Energieumsatz zwischen 1,0 und 1,3 met (oft als 1,2 met angenommen) geschätzt und die Bekleidungsisolation wird im Winter mit 1,0 clo und im Sommer mit 0,5 clo angenommen. Wird die operative Temperatur mit diesen vier Annahmen für Kategorie II von PMV ($-0,5 < PMV < +0,5$) berechnet, kann die operative Temperatur wie folgt in drei Kategorien eingeteilt werden.

Tabelle 3:

Operative Temperatur (T_o) Bereiche nach PMV Berechnung abhängig von Energieumsatz mit den Annahmen (Luftgeschwindigkeit (V_a) = 0,1 m/s, relative Feuchte (rH) = 50 %.

	Kategorie	Winter (1,0 clo)	0,7 clo	Sommer (0,5 clo)
1,0 met	I	22,6 < T_o < 24,1	24,5 < T_o < 25,6	25,6 < T_o < 26,7
	II	21,5 < T_o < 25,1	23,4 < T_o < 26,5	24,8 < T_o < 27,5
	III	20,7 < T_o < 25,9	22,8 < T_o < 27,1	24,2 < T_o < 28,0
1,2 met	I	20,7 < T_o < 22,5	22,7 < T_o < 24,2	24,1 < T_o < 25,4
	II	19,3 < T_o < 23,9	21,5 < T_o < 25,4	23,1 < T_o < 26,4
	III	18,3 < T_o < 24,8	20,7 < T_o < 26,1	22,4 < T_o < 27,1
1,3 met	I	19,7 < T_o < 21,7	21,9 < T_o < 23,6	23,3 < T_o < 24,8
	II	18,2 < T_o < 23,2	20,6 < T_o < 24,8	22,2 < T_o < 25,9
	III	17,2 < T_o < 24,2	19,8 < T_o < 25,6	21,5 < T_o < 26,6

In Anhang A der DIN EN 15251 werden die Temperaturbereiche für die stündliche Berechnung der Kühl- und Heizenergie in drei Kategorien eingeteilt (siehe Tabelle 4) und die unteren Grenzwerte im Winter bzw. die oberen Grenzwerte im Sommer für die Auslegung empfohlen. Diese Werte sind ähnlich zu den Werten in Tabelle 3, obwohl sie nicht identisch sind. Die Grenzwerte der DIN EN 15251 decken die Anforderungen von Kategorie II unter allen möglichen Energieumsätzen für die Büroarbeit näherungsweise ab.

Tabelle 4:

Empfohlene operative Temperaturbereiche für die stündliche Berechnung der Kühl- und Heizenergie für drei Kategorien des Innenraumklimas in DIN EN 15251.

Kategorie	Bei Heizung T_o [°C]	Bei Kühlung T_o [°C]
I	21 - 23	23,5 - 25,5
II	20 - 24	23 - 26
III	19 - 25	22 - 27

3.2.2 Abweichende Anforderungen im Sommer

Während es im Winterfall weniger Diskussionsbedarf gibt, variieren die Normen und Richtlinien für den Sommerfall stark.

DIN EN 15251 akzeptiert einen breiten Komfortbereich für den Sommer für **Gebäude ohne maschinelle Kühlung**, wenn die folgenden Randbedingungen erfüllt werden:

- Thermische Bedingungen können durch Öffnen und Schließen der Fenster geregelt werden
- Keine maschinelle Kühlung, wobei eine maschinelle Lüftung ist als „Gebäude ohne maschinelle Kühlung“ angenommen wird
- Energiearme Möglichkeiten zur persönlichen Regelung werden als „Gebäude ohne maschinelle Kühlung“ angenommen: Ventilatoren, Jalousien, Nachtlüftung
- Sitzende Tätigkeit: 1,0 -1,3 met
- Keine strenge Bekleidungs Vorschrift

Der Komfortbereich für diesen Fall ist nicht nach Tabelle 4 definiert, sondern abhängig von dem exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert der Außentemperatur (Bild 2 siehe für genaue Information siehe die entsprechende Berechnungsformel im Anhang 4).

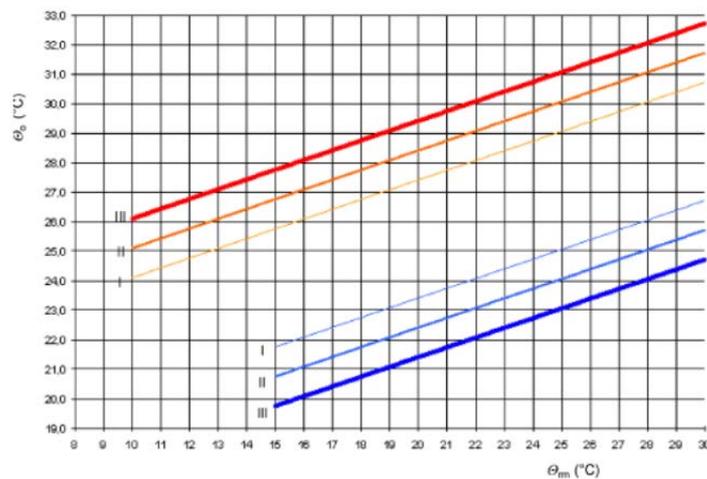


Bild 2:

Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur aus [11].

Der Unterschied zwischen Tabelle 3 und Bild 2 ist deutlich, wenn man die Kategorie II für eine gleitende Außentemperatur von 25 °C vergleicht. Nach Bild 2 ist eine operative Temperatur von 30 °C zulässig, während nach Tabelle 3 nur bis 26 °C zulässig sind. Das optionale Verfahren (Bild 2, das sogenannte adaptive Modell) bewertet einen breiteren Temperaturbereich als komfortabel, als der Temperaturbereich basierend auf der PMV-Berechnung (Tabelle 3). Das adaptive Modell ist anhand verschiedener Felduntersuchungen abgeleitet worden [24] [25], wobei die beiden adaptiven Modelle von DIN EN 15251 und ASHRAE 55:2004 nicht identisch sind.

Nationaler Anhang in DIN EN 15251

Im Gegensatz dazu unterscheidet der neue nationale Anhang in DIN EN 15251 nicht zwischen den Betriebsarten *mit* und *ohne* maschinelle Kühlung, sondern die dort beschriebenen einheitlichen Temperaturlinien für die Komforttemperatur sind abhängig von der stündlichen Außentemperatur (Bild 3).

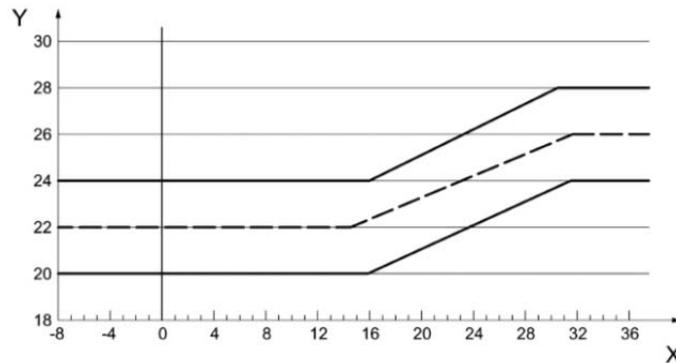


Bild 3:

Komfortraumtemperatur $\theta_{Ra,C}$ (gestrichelte Linie) mit dem zugelassenen Toleranzbereich für die operative Raumtemperatur (durchgezogene Linien) in Abhängigkeit von dem stündlichen Mittel der Außenlufttemperatur. Alle Angaben gelten nur für Räume, in denen die Raumnutzer ihre Bekleidung anpassen können; X aktuelle Außenlufttemperatur in °C, Y operative Raumtemperatur in °C aus „nationaler Anhang“ in [11].

BMVBS „Klimarichtlinie“: 2008

Die Klimarichtlinie [4] orientiert sich an DIN EN 15251 und schlägt unterschiedliche Komfortbereiche je nach Gebäudetyp vor. Der Unterschied zwischen der Klimarichtlinie und DIN EN 15251 ist die unterschiedliche Definition, welche Gebäude nach Tabelle 3 oder nach Bild 2 ausgelegt werden dürfen. DIN EN 15251 unterscheidet die beiden Kategorien abhängig davon, ob ein Gebäude maschinell gekühlt ist oder nicht. Die Richtlinie unterscheidet je nachdem, ob der Nutzer Einfluss auf das Raumklima hat (Typ A) oder nicht (Typ B).

Hat ein Gebäude eine individuelle Temperaturregelung (1 Temperaturregler pro 2 Anwesende) und eine maschinelle Kühlung, kann das Gebäude trotz der maschinellen Kühlung nach dem „Optionalen Verfahren“ (Bild 2) ausgelegt werden. Dagegen sollte ein Büro trotz „ohne maschinelle Kühlung“ eine maximale operative Temperatur von 26 °C einhalten, wenn die Fenster nicht individuell (mindestens 1 Fenster pro 2 Anwesende) oder z.B. wegen starkem Außenlärm nicht tatsächlich geöffnet werden können.

Die folgenden beiden Gebäudekonzepte sollte ein Gebäude, das als Typ A (mit Einfluss auf das Raumklima) definiert ist, immer erfüllen:

- Einzel- oder Gruppenbüros mit unmittelbarem Außenbezug
- Möglichkeit der Anpassung der Bekleidung je nach Wetterbedingungen

Dazu sollte es eines der folgenden beiden Kriterien erfüllen:

- Tatsächlich öffnensbare Fenster: mindestens 1 Fenster pro 2 Anwesende

Oder

- Maschinelle Kühlung mit individueller Regelung: mindestens 1 Regler pro 2 Anwesende

3.2.3 Diskussion

Diskussion 1:

Wie unterscheidet sich der Komfortbereich zwischen dem „Nationalen Anhang“ (NA) und dem optionalen Verfahren in DIN EN 15251 (EN)?

Ein direkter Vergleich der beiden Anforderungen kann nicht durchgeführt werden, weil beide abhängig von einer unterschiedlichen Definition der Außentemperatur sind. Daher wird zuerst anhand von TRY Wetterdatensätzen der Unterschied zwischen beiden Außentemperaturen verglichen.

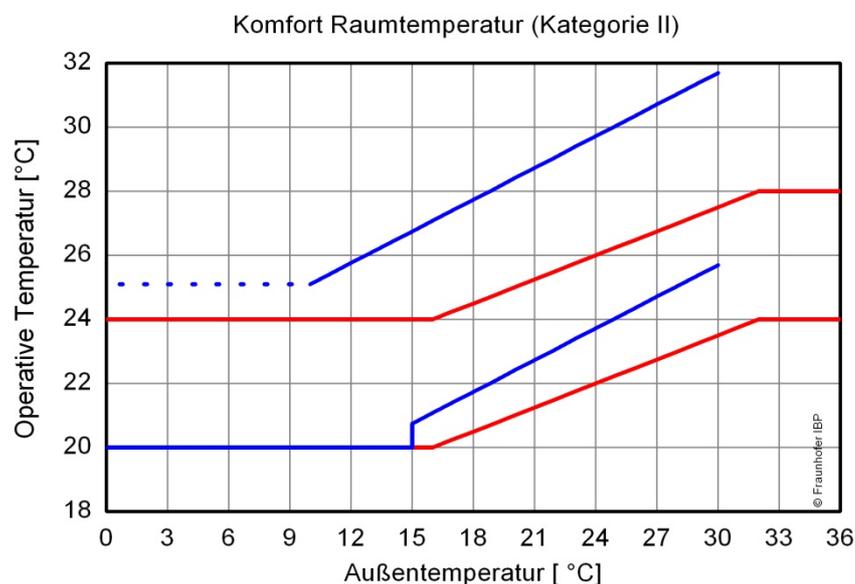


Bild 4:

Bereich der Komfortraumtemperatur in Abhängigkeit vom stündlichen Mittel der Außentemperatur nach nationalem Anhang (rot) und Komforttemperatur (Kategorie II) in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittel der Außentemperatur nach Optionalem Verfahren in DIN EN 15251 (blau).

Die Wetterdaten von drei Sommer-Klimaregionen (nach der Definition entsprechend DIN 4108-2 [26]) werden untersucht. Dabei werden die zwei TRY (Testreferenzjahr) Datensätze 2011 des DWD (Deutscher Wetterdienst) für ein Jahr und für einen extremen Sommer benutzt.

Region A (Sommer kühl)	TRY 2
Region B (gemäßigt)	TRY 13
Region C (Sommer heiß)	TRY 12

Bild 5 zeigt die kumulativen Häufigkeiten der Außentemperatur mit normalen Jahres-TRY-Daten (Jahr) und mit Daten eines extremen Sommers (Sommer) je nach Art der Analyse, d.h. nach stündlicher (NA) und gleitender (EN) Außentemperatur.

Bei allen Klimazonen ist die Häufigkeit der hohen Temperaturen (über 20 °C) bei der gleitenden Außentemperatur niedriger als bei stündlicher Temperatur. Werden die oberen 5 % der beiden Außentemperaturen je nach Klimazone und Wetterdatensatz verglichen, ist die gleitende Außentemperatur etwa 2 – 4 K niedriger als die stündliche Außentemperatur (siehe Tabelle 5). Für diese 5 % der höchsten kumulativen Außentemperaturen im Jahr ist die jeweilige Obergrenze der operativen Temperatur für Kategorie II nach „Nationalem Anhang“ (NA) und nach „Optionalem Verfahren in DIN EN 15251“ (EN) berechnet und in Tabelle 6 wiedergegeben.

Diese 5 % beziehen sich auf alle Stunden eines Jahres (8760 Stunden). Es bedeutet, in der sommerlich heißen Klimazone wird nach DIN EN 15251 bei normalem Sommer für 438 Stunden eine operative Temperatur von bis zu 28,6 °C zugelassen. Wird diese auf 87,6 Stunden (1%) reduziert, dann ändert sich die zulässige Temperatur nach Nationalem Anhang von 26,1 °C auf 27,2 °C, während sie sich nach EN Berechnung von 28,6 °C auf 28,9 °C kaum ändert (Tabelle 7, Tabelle 8). Das liegt daran, dass die gleitenden Außentemperaturen nicht so stark variieren, wie die stündlichen Außentemperaturen.

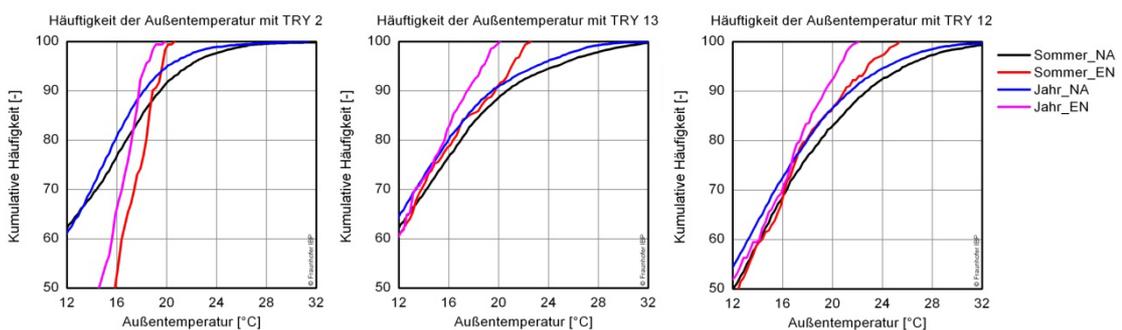


Bild 5: Kumulative Häufigkeit der Außentemperatur nach stündlichem Mittelwert (NA: Nationaler Anhang) und gleitendem Mittelwert (EN) nach DIN EN 15251 in zwei TRY Wetterdatensätzen (Jahr und extremer Sommer) in drei Klimaregionen (TRY 2, TRY13, TRY 12).

Tabelle 5:

Die 5 % (438 Stunden) kumulativ höchsten stündlichen und gleitenden Außentemperaturen [°C] im Jahr bei verschiedenen Wetterdatensätzen.

Klimaregion	TRY Jahr		TRY extremer Sommer	
	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)
TRY 2	20,1	18,3	21,8	19,6
TRY 13	23,1	18,7	24,6	21,0
TRY 12	24,4	20,5	25,8	22,7

Tabelle 6:

Obere zulässige Grenze der operativen Temperatur [°C] für Kategorie II während der 5 % (438 Stunden) kumulativ höchsten Außentemperatur im Jahr.

Klimaregion	TRY Jahr		TRY extremer Sommer	
	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)
TRY 2	25,0	27,8	25,5	28,3
TRY 13	25,8	28,0	26,2	28,7
TRY 12	26,1	28,6	26,5	29,3

Tabelle 7:

Die 1 % (87 Stunden) kumulativ höchsten stündlichen und gleitenden Außentemperaturen [°C] im Jahr bei verschiedene Wetterdatensätzen.

Klimaregion	TRY: Jahr		TRY: extremer Sommer	
	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)
TRY 2	24,4	19,0	26,0	20,0
TRY 13	27,3	19,7	30,0	21,9
TRY 12	28,9	21,4	31,1	24,7

Tabelle 8:

Obere zulässige Grenze der operativen Temperatur [°C] für Kategorie II während der 1 % (87 Stunden) kumulativ höchsten Außentemperatur im Jahr.

Klimaregion	TRY Jahr		TRY extremer Sommer	
	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)	Nationaler Anhang (stündlich)	DIN EN 15251 (gleitend)
TRY 2	26,1	28,1	26,5	28,4
TRY 13	26,8	28,3	27,5	29,0
TRY 12	27,2	28,9	27,8	30,0

→ Der gleitende Mittelwert der Außentemperatur ist bei warmem Wetter deutlich niedriger als der aktuelle stündliche Mittelwert. Daher wird sie nicht höher als 25 °C angesetzt, auch nicht bei einem extremen Sommerwetter in sommerlich heißen Regionen Deutschlands. Das bedeutet, dass Raumtemperaturen über 30 °C

auch nach dem optionalen Verfahren in DIN EN 15251 nicht als Kategorie II zugelassen werden. Gegenüber dem Nationalen Anhang wird die Komfortbewertung mit dem optionalen Verfahren bei warmer Außentemperatur (5% eines Jahres) eine etwa 2 – 3 K, bei sehr warmer Außentemperatur (1% eines Jahres) eine etwa 1,5 - 2 K höhere Innenraumtemperatur zulassen.

Diskussion 2:

Wann darf das optionale Verfahren für die Komfortbewertung angewendet werden? Wie sollte ein Großraum bewertet werden?

Grundsätzlich gelten die folgenden Normen und Richtlinien:

- Nationaler Anhang in DIN EN 15251: Ohne Unterschied, einheitlich für alle Gebäude
- DIN EN 15251: Mit maschineller Kühlung → 26 °C, ohne maschinelle Kühlung → optionales Verfahren nach DIN EN 15251
- BMVBS Klimarichtlinie 2008: Gebäude mit Nutzereinfluss → optionales Verfahren, Gebäude ohne Nutzereinfluss → 26 °C

Für Großraumbüros mit Fensterlüftung (ohne maschinelle Kühlung) ist in den Normen und Richtlinien nicht eindeutig definiert, welche Komfortanforderungen gültig sind, falls die Nutzer im Prinzip die Fenster individuell öffnen und schließen können.

Wie in DIN EN 15251 erläutert wird, haben Nutzer in der Realität häufig nur eine eingeschränkte Einflussmöglichkeit auf das Raumklima. *„In Großraumbüros (Bürolandschaften) haben die meisten Nutzer nur einen eingeschränkten Zugang zu Fenstern und daher eine geringe Regelungsmöglichkeit der freien Lüftung. Daher treffen die in diesem Anhang angegebenen Temperaturgrenzen (hier: Optionales Verfahren in DIN EN 15251) in derartigen Situationen möglicherweise nicht immer zu. [10]“*.

Arbeiten die betroffenen Personen nicht in Einzel- oder Gruppenbüros mit unmittelbarem Außenbezug, sollte nach der Klimarichtlinie 2008 die operative Temperatur in solchen Gebäuden 26 °C nicht überschreiten.

Dabei ist nicht klar, ab wann von einem Gruppenbüro bzw. einem Großraumbüro gesprochen wird. Nach dem alten DIN EN 15251 Entwurf (Juli. 2005) konnte das optionale Verfahren nur für einen Raum mit weniger als 4 Personen angewendet werden. Im BNB Steckbrief 3.1.6. „Einflussnahme des Nutzers“ wird angenommen, dass nur bei max. 3 Personen in einem Raum eine Einflussnahme in diesem Raum gegeben ist.

Im energetischen Pflichtenheft [6] und in DIN V 18599 [27] ist ein Gruppenbüro mit „bis 6 Personen“ definiert. Wird dieser Begriff für die Begrenzung der „Gruppenbüros“ in der Klimarichtlinie oder des „Großraumbüros“ in DIN EN 15251 angenommen, so wird die obere Grenze der zulässigen Temperatur für ein Großraumbüro im Sommer nach Klimarichtlinie sowie nach DIN EN 15251 26 °C und nach NA je nach Außentemperatur bis 28 °C akzeptiert.

Grundsätzlich formuliert die Klimarichtlinie die mildesten Anforderungen, weil das optionale Verfahren der DIN EN 15251 für fast alle Gebäude angewendet werden kann, unabhängig von der Existenz einer maschinellen Kühlung. Das könnte mit dem Wunsch begründet werden, dass Bundesgebäude generell ohne Einsatz einer maschinellen Kühlung betrieben werden können sollten und möglichst wenig Kühlenergie aufgewendet werden soll, wenn eine maschinelle Kühlung unumgänglich ist. Entsprechend dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen [5] ist die Klimarichtlinie bindend.

Diskussion 3:

Wie wirkt sich die Klimarichtlinie in der Praxis aus?

Die Anforderungen der Klimarichtlinie stellen in der Praxis für den Planer eine Herausforderung dar bei der Bestimmung der Kälteleistung und deren Regelung, da die Temperaturgrenzwerte nach der gleitenden Außentemperatur definiert sind.

Eine hohe Akzeptanz bzw. Zufriedenheit der Nutzer ist unbestritten, wenn sie das Raumklima selber beeinflussen können. Aber wenn die Nutzer die Temperatur im Sommer nur bis zu einer begrenzten Temperatur regeln können, ist es fraglich, ob dies als Möglichkeit zur Einflussnahme wahrgenommen wird. Ist genügend Kälteleistung verfügbar, so kann davon ausgegangen werden, dass die Nutzer auch auf die komfortabelste Temperatur regeln. In diesem Fall wird die zusätzliche Anforderung in der Praxis nicht wirken, wie es vom Bund erwünscht ist. Für einen Beleg fehlen schlicht Untersuchungen, die nachweisen, dass Nutzer in einem Gebäude mit Einflussmöglichkeiten die Temperatur im Sommer höher als „komfortabel“ einstellen.

→ Es ist sehr schwierig zu entscheiden, welche Norm oder Richtlinie sich für die Bewertung des thermischen Raumklimas im Sommer unter Berücksichtigung der Ziele, Energieeinsparung und eines hohen thermischen Komforts, am besten eignet. Der Nationale Anhang ist gerade neu in DIN EN 15251 erschienen und wird im Laufe der Zeit fachlich im Vergleich zu bisheriger DIN EN 15251 diskutiert werden.

Die Anforderungen des nationalen Anhangs werden deutlich mehr aktive Kühlung verlangen als die bisherige DIN EN 15251 Anforderung, was dem Ziel einer hauptsächlichlichen Energieeinsparung entgegensteht. Dagegen ist bei der Klimarichtlinie schwierig nachzuvollziehen, wie die aktive Kühlung im Betrieb genau funktionieren muss.

Eine Alternative zur Klimarichtlinie wäre eine klare erweiterte Definition für ein nicht-maschinell gekühltes Gebäude im vorhandenen Steckbrief BNB 3.1.2, u.a. eine Betonkernaktivierung mit regenerativer Kälteerzeugung (z. B. Grundwasser) nicht als maschinelle Kühlung einzustufen.

Thermischer Komfort im Winter: Untere Grenze

→ Der Komfortbereich unterscheidet sich bei allen Normen (DIN EN ISO 7730, DIN EN 15251, Nationaler Anhang in DIN EN 15251) nicht stark. Der Unterschied zwischen den Bereichen der operativen Temperatur (18,2 - 21,5 °C) gerechnet nach PMV und 20 °C nach DIN EN 15251 liegt innerhalb der Schwankungen der Energieumsatzschätzung der Büroarbeit (1 – 1,3 met). Nach ASR darf die Lufttemperatur von 20 °C nicht unterschritten werden [2].

Thermischer Komfort im Winter: Obere Grenze

→ Nach „Nationalem Anhang“ und DIN EN 15251 ist bis 16 °C Außentemperatur die obere Grenze der Temperatur als 24 °C definiert. Nach PMV Berechnungen variiert sie von 23,2 °C bis 26,5 °C je nach Energieumsatz und Bekleidung (Winter 1,0 clo, Übergangszeit Bekleidung 0,7 clo). Ist ein Gebäude geheizt, darf die Raumtemperatur nicht über 24 °C oder sogar nicht über 22 °C erreichen. Aber ein Bürogebäude wird bei einer Außentemperatur zwischen 10 °C - 16 °C selten geheizt. Daher ist diese Periode oft keine Heizperiode, sondern eher als Übergangszeit einzustufen. Es muss geprüft werden, ob für diese Übergangszeit eine obere Grenze mit 24 °C festzulegen ist und danach bewertet werden sollte.

Nach der Langzeitbewertung in DIN EN ISO 7730 und DIN EN 15251 wird nur die untere Grenze der Temperatur bewertet (siehe Abschnitt 3.7).

Thermischer Komfort im Sommer: Obere Grenze

Unter Berücksichtigung der Energieziele des Bundes und der Komfortanforderung wird folgende obere Grenztemperatur empfohlen:

Ohne maschinelle Kühlung → Optionales Verfahren (Adaptives Modell) nach DIN EN 15251.

Mit maschineller Kühlung → Obere Grenztemperatur nach nationalem Anhang in DIN EN 15251, so dass bei einer warmen Außentemperatur eine Raumtemperatur bis 28 °C zugelassen wird, was dem primären Ziel einer Energieeinsparung zugutekommt. So wird eine klare Richtlinie vorgegeben.

3.3 Luftfeuchte

Obwohl Schwankungen in der Luftfeuchte vom Menschen kaum wahrgenommen werden können und sich die Luftfeuchte auf das thermische Empfinden bei neutraler oder kalter Raumtemperatur nicht stark auswirkt, beeinflusst die Luftfeuchte den Verdunstungswärmeaustausch des Menschen und dadurch das thermische Empfinden. Darüber hinaus beeinflusst die Raumluftfeuchte die Feuchtebilanzierung der Haut, wodurch bei einer niedrigen relativen Feuchte Trockenheit der Schleimhäute oder Reizungen der Augen verursacht werden können.

3.3.1 Einfluss der Luftfeuchte auf das thermische Empfinden

ASHRAE 55: 2004 und DIN EN ISO 7730 in thermisch neutralen Umgebungen

ASHRAE 55 definiert einen Komfortbereich abhängig von Luftfeuchte und operativer Temperatur basierend auf der PMV-Berechnung (Bild 6). Der akzeptable Bereich entspricht der Kategorie II in DIN EN 15251, also dem Bereich zwischen $-0,5$ und $+0,5$ PMV.

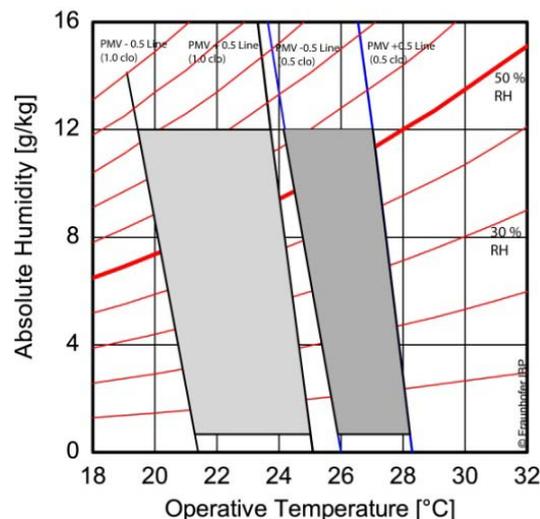


Bild 6:

Akzeptabler Bereich der operativen Temperatur und der Luftfeuchte für Räume (mit $0,2$ m/s Luftgeschwindigkeit und $1,2$ met Energieumsatz) nach ASHRAE 55-2004.

Für die PMV-Berechnung in Bild 6 wurde die Luftgeschwindigkeit auf $0,2$ m/s festgelegt, während der Grenzwert der operativen Temperatur in DIN EN 15251 auf einer Luftgeschwindigkeit von $0,1$ m/s basiert. Deswegen liegt die maximal zulässige Temperatur nach ASHRAE mit 27 °C (bei 50% relativer Feuchte) 1 K höher als in der DIN EN 15251. Zusätzlich zum PMV-Bereich ($-0,5 < PMV < +0,5$) definiert die entsprechende Grafik in ASHRAE 55-2004 die obere Grenze der absoluten Luftfeuchte bei 12 g/kg.

Nach DIN EN ISO 7730 ist der PMV gültig für einen Raum zwischen 0 bis 2700 Pa Wasserdampfpartialdruck der Raumluft. 2700 Pa Wasserdampfpartialdruck entspricht etwa 17,3 g/kg an absoluter Luftfeuchte. Daher werden nach der PMV-Komfortdefinition (siehe blaue und schwarze PMV Grenzlinie in Bild 6) 26 °C mit 60 % oder 70 % relativer Feuchte noch als komfortabel eingestuft, erfüllen aber nicht die ASHRAE-Anforderung.

Werden die erforderlichen operativen Temperatur und Luftfeuchten für PMV +0,5 mit der Randbedingung nach EN 15251 (0,1 m/s Luftgeschwindigkeit, was nahe der Praxis in Deutschland ist) mit dem gleichem Energieumsatz wie bei ASHRAE (1,2 met) gerechnet, kann eine neue Komfortgrenze für Winter (1,0 clo) und Sommer (0,5 clo) abhängig von Lufttemperatur und Luftfeuchte ermittelt werden.

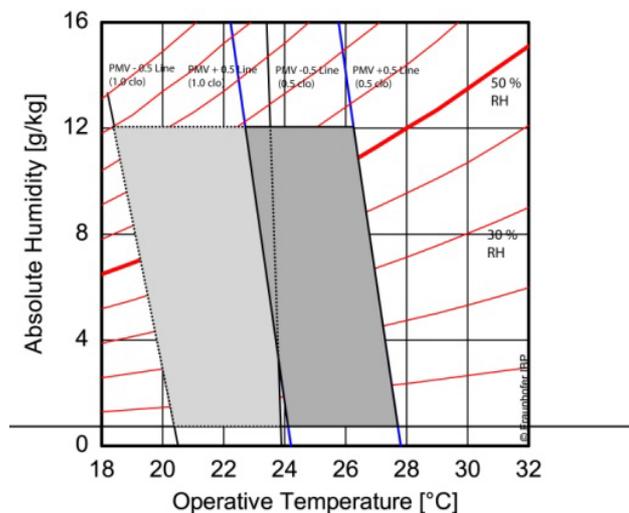


Bild 7: Kategorie II (-0,5 < PMV < +0,5) für die Räume mit (0,1 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,2 met Energieumsatz).

Entsprechend verschiebt sich der Temperaturbereich um etwa 1 – 1,5 Kelvin nach links, hin zu kälteren Temperaturen.

DIN EN 15251

Für die Auslegung von Be- und Entlüftungsanlagen bietet DIN EN 15251 die vier Bewertungskategorien (Tabelle 9) und darüber hinaus wird, wie in ASHRAE 55, eine Begrenzung der absoluten Feuchte auf 12 g/kg empfohlen. Nach DIN EN 15251 ist nicht klar, welche oberen oder unteren Grenzen der Luftfeuchte für Gebäude ohne Be- und Entlüftungsanlagen als akzeptabel eingestuft werden.

Nach DIN EN 15251 ist *Be- oder Entfeuchtung üblicherweise nur in besonderen Gebäuden wie Museen, in einigen Gesundheitseinrichtungen, in der Prozesssteuerungs- und Papierindustrie usw. erforderlich.*

Tabelle 9:

Empfohlene Auslegungswerte für die relative Feuchte in Aufenthaltsbereichen bei installierten Be- oder Entfeuchtungsanlagen in DIN EN 15251.

Kategorie	rF [%] bei Entfeuchtung	rF [%] bei Befeuchtung
I	50	30
II	60	25
III	70	20
IV	> 70	< 20

Nationaler Anhang der DIN EN 15251

Abweichend von ASHRAE und DIN EN 15251 empfiehlt der nationale Anhang 11,5 g/kg an absoluter Feuchte der Luft als obere Grenze und 30 % an relativer Feuchte als untere Grenz für die Raumlufftfeuchte.

3.3.2 Einfluss der Luftfeuchte auf Trockenheit

In einem Bürogebäude in Deutschland ist eine niedrige Luftfeuchte in Winter eher ein Problem als eine hohe Luftfeuchte in Sommer. Auf einer Seite hängt dies vom Wetter ab, d.h. insbesondere eine niedrige absolute Luftfeuchte der Außenluft in Winter. Auf der anderen Seite beeinflusst die Nutzung des Raums die Luftfeuchte, d.h. durch geringe Feuchteproduktion sowie eine relativ hohe erforderliche Luftwechselzahl bei Büroraumen.

Gegenüber dem Wohnungsbau gibt es außer durch anwesende Menschen kaum Feuchteproduktion in Büroräumen. Allerdings ist die erforderliche Luftwechselzahl wegen der hohen Belegungsdichte (10 m² oder 15 m² pro Person) deutlich höher als im Wohnungsbau. Dadurch entsteht im Winter eine niedrige absolute Raumlufftfeuchte im Bürogebäude. Dazu kommt eine relativ hohe Lufttemperatur gegenüber dem Wohnungsbau, was die relative Luftfeuchte weiter verringert. Diese niedrige Raumlufftfeuchte verursacht häufig Beschwerden über trockene Schleimhäute oder gereizte Augen.

Die nach wie vor interessanten Fragen für die Praxis sowie für die Wissenschaft sind, was die vertretbare untere Grenze für die relative Feuchte im Innenraum ist und ob dies wissenschaftlich begründet werden kann. Diese Fragestellungen hat Dr. von Hahn in einer Arbeit im Auftrag der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz untersucht [28]. Nach einer umfangreichen Literaturstudie kommt sie zum Schluss, dass keine Untersuchung bislang eine definitive untere Grenze der Raumlufftfeuchte medizinisch begründet herleiten konnte.

Andererseits kann empirisch nicht bestritten werden, dass häufig Beschwerden über Trockenheit im Bürobau auftreten und offensichtlich mit einer niedrigen relativen Luftfeuchte einhergehen.

3.3.3 Diskussion

Diskussion 1:

Beeinflusst die Luftfeuchte das thermische Empfinden bei thermisch neutraler Umgebung ($-0,5 < PMV < +0,5$)?

→ Die Luftfeuchte beeinflusst bei neutralen thermischen Randbedingungen das thermische Empfinden, jedoch nicht stark. 40 % Unterschied in der relativen Luftfeuchte entsprechen dabei etwa 1 K Temperaturunterschied. Je niedriger die Luftfeuchte, desto höher darf (sollte) dementsprechend die Raumtemperatur sein. Daher gibt ein von operativer Temperatur und Luftfeuchte abhängiger Komfortbereich (wie in ASHRAE 55) eine klarere Orientierung für die Praxis, als nur eine Begrenzung der operativen Temperatur allein. Allerdings sollte für die Bewertung neben der operativen Temperatur auch die Raumlufffeuchte dynamisch gerechnet werden, was in der Praxis bei dem zu erwartenden Unterschied (0,25 K je 10 % rH) einen zu hohen Aufwand bedeuten würde.

Diskussion 2:

i) Benötigt man eine Begrenzung der Raumlufffeuchte?

→ Trockene Luft im Winter ist im Kontext der Büronutzung ein bekanntes raumklimatisches Problem in Deutschland. Daher sollte die relative Luftfeuchte im Winter bei der Bewertung des Raumklimas einbezogen werden. Die absolute Luftfeuchte im Sommer ist in Deutschland für die Büronutzung nicht sehr relevant, aber bei einer erhöhten Belegungsdichte sowie bei einem reduzierten Luftwechsel kann die obere Grenze unter Umständen überschritten werden.

ii) Wenn ja, wie hoch sind obere und untere Grenzen der Raumlufffeuchte?

→ Einheitlich zur Bewertung der operativen Temperatur kann die Luftfeuchte nach Kategorie II in DIN EN 15251 definiert werden, obwohl sie gegenüber der Anforderung des nationalen Anhangs wissenschaftlich oder medizinisch nicht belegt werden kann. Nach Kategorie II in DIN EN 15251 ist die obere Grenze der absoluten Feuchte für den Sommer 12 g/kg und die untere Grenze der relativen Luftfeuchte im Winter 25 %.

iii) Sollten die Grenzen für alle Gebäude einheitlich oder unterschiedlich je nach TGA bewertet werden?

→ Die häufigsten Beschwerden wegen Trockenheit erfolgen in der Praxis in Gebäuden mit mechanischer Lüftungsanlage ohne Befeuchtung, für welche in DIN EN 15251 keine klaren Grenzwerte definiert wurden. Während in einem Gebäude mit Fensterlüftung im Winter selten die Fenster geöffnet werden und es dadurch zu relativ höheren Luftfeuchten kommt (dadurch jedoch parallel auch zu hohen CO₂-Konzentrationen), resultiert eine hohe Luftwechselzahl bei mechanischer Lüftung oft in zu trockener Luft. Daher sollte die untere Grenze zumindest für alle Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage bewertet werden.

3.3.4 Fazit

Die absolute Luftfeuchte sollte 12 g Wasser je kg trockene Luft nicht überschreiten und die relative Luftfeuchte 25 % nicht unterschreiten, in Gebäuden mit mechanischer Lüftung.

3.4 Zugluftisiko

Nach DIN EN ISO 7730 ist der Grenzwert für Kategorie II, 20 % DR, während der nationale Anhang in DIN EN 15251 15 % fordert, was nach DIN EN ISO 7730 der Kategorie A entspricht.

In der Praxis beschwerten sich Nutzer erfahrungsgemäß über Zugluft, obwohl das Raumklima nach der Messung und Berechnung die Anforderung von DIN EN ISO 7730 erfüllt. Einige Nutzer sind anscheinend empfindlicher gegenüber Zugluft als es der Norm-Definition entsprechen würde. Zudem ist die Erfüllung der Kategorie A in der Praxis schon „Stand der Technik“. Daher orientiert sich der vorgeschlagene Grenzwert für das Qualitätsniveau I an Kategorie A der DIN EN ISO 7730.

- Das Zugluftisiko soll anhand DR-Berechnungen 15 % nicht überschreiten.

3.5 Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur

DIN EN ISO 7730

Nach DIN EN ISO 7730 sollte der von Strahlungstemperaturasymmetrie verursachte Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für Kategorie A und B nicht über 5 % sein. Der PD wird für vier Situationen (warme Decke, kühle Decke, warme Wand und kühle Wand) nach unterschiedlichen empirischen Gleichungen berechnet. Die maximal zulässigen Flächenstrahlungstemperaturen der gegenüberliegenden Halbräume (z.B. links zu rechts) werden in Tabelle 10 angegeben.

Tabelle 10:

Strahlungstemperaturasymmetrie-Bewertung nach DIN EN ISO 7730: maximal zulässige Unterschiede der Flächenstrahlungstemperatur (Kategorie A und B: basierend auf PD = 5 %).

Situation	Kategorie A und Kategorie B	Kategorie C
Warme Decke	< 5 K	< 7 K
Kühle Decke	< 14 K	< 18 K
Warme Wand	< 23 K	< 35 K
Kühle Wand	< 10 K	< 13 K

VDI 3804

In Bezug auf Strahlungstemperaturasymmetrie bietet VDI 3804 [15] für die Praxis Anhaltswerte für die minimale und maximale Oberflächentemperatur (Tabelle 11), weil es kaum Werkzeuge für die Berechnung der Flächenstrahlungstemperatur in

der Praxis gibt. Der Bereich der Fußbodentemperatur ist identisch mit der Kategorie I der Fußbodentemperatur nach DIN EN ISO 7730.

Diese Anhaltswerte werden auch im vorhandenen Steckbrief übernommen.

Tabelle 11:

Anhaltswerte für minimale und maximale Oberflächentemperatur nach VDI 3804.

Situation	Max. oder min. Oberflächentemperatur
Warme Decke	35 °C
Kühle Decke	16 °C
Warme Wand	35 °C
Kühle Wand	18 °C

Diskussion 1:

Stimmen die beiden Anforderungen (von DIN EN ISO 7730 und von VDI 3804) überein?

Anhand eines typischen Büroraums ($6 \times 6 \times 3 \text{ m}^3$) mit einseitiger Außenfassade wird die Strahlungstemperatursymmetrie mit der minimalen und maximalen Oberflächentemperatur aus VDI 3804 untersucht. Die kalten und warmen Flächen beziehen sich jeweils auf die Gesamtfläche einer Wand.

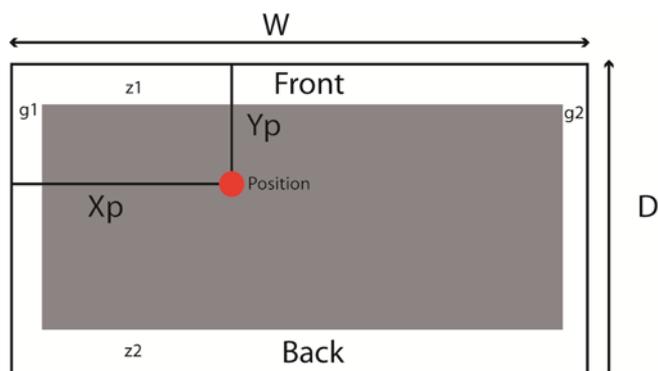


Bild 8:

Erklärung der Position in einem Raum (Grundriss, W: 6 m, D: 6 m bei der Beispiel Berechnung in Tabelle 12, nur die vordere Wand ist die kühle bzw. warme Wand, die Oberflächentemperaturen der übrigen Wände sind gleich mit der Lufttemperatur).

Tabelle 12:

Vorhergesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PD in %) aufgrund Strahlungstemperatursymmetrie in verschiedenen Positionen und Situationen im Beispielraum mit Anhaltswerten aus der VDI 3804.

	Max. oder min. Oberflächentemperatur	Lufttemperatur im Raum	PD an Position Xp= 3 m, Yp= 0,5m	PD an Position Xp= 3 m, Yp=1 m	PD an Position Xp= 3 m, Yp= 3 m
Warme Decke	35 °C	20 °C	11 %	13 %	18 %
Kühle Decke	16 °C	26 °C	0 %	0 %	0 %
Warme Wand	35 °C	20 °C	1 %	0 %	0 %
Warme Wand	35 °C	26 °C	0 %	0 %	0 %
Kühle Wand	18°C	20 °C	0 %	0 %	0 %
Kühle Wand	18°C	26 °C	1 %	1 %	0 %

Die Ergebnisse des Beispiels zeigen, dass die beiden Anforderungen nicht übereinstimmen. Während die warme Decke im Winter die Anforderung aus DIN EN ISO 7730 von 5 % PD nicht erfüllt, übersteigen die anderen Bedingungen der VDI 3804 deutlich jene aus DIN EN ISO 7730.

Diskussion 2:

Ist eine genaue Analyse der Strahlungstemperatursymmetrie nötig oder sind die Anhaltswerte hinreichend für die Praxis?

In der Praxis werden zunehmend Strahlungsheizungen oder -kühlungen für die Raumklimatisierung eingesetzt. Außerdem wird die Bedeutung einer lokalen und u.U. instationären Klimatisierung (d.h. es wird nicht der gesamten Raum klimatisiert, sondern nur dort, wo es nötig ist) aufgrund der erhöhten Energieeffizienz zunehmen.

Die Anhaltswerte der VDI 3804 sind unabhängig von der Größe der kalten oder warmen Flächen definiert. Eine höhere oder niedrigere Temperatur an bestimmten Stellen (lokal) kann in einer ähnlichen Strahlungstemperatur-asymmetrie resultieren, wie bei den Anhaltswerten für Oberflächentemperaturen auf den Gesamtflächen. Solche Situationen können jedoch mit den VDI-Anhaltswerten nicht bewertet werden

Daher wird eine genaue Analyse der Strahlungstemperatursymmetrie mehr Planungsfreiheit und -sicherheit in der Praxis gewährleisten.

Diskussion 3:

Ist die Anforderung der DIN EN ISO 7730 hinreichend für thermischen Komfort?

Wie die Beispiel-Berechnungen in Tabelle 12 zeigen, sind die Anforderungen der DIN EN ISO 7730 relativ großzügig, dadurch erfüllen fast alle neuen Gebäude die Anforderung, außer Gebäude mit Deckenheizung.

Um an einer Position in der Nähe eines Fensters (im Abstand von 0,5 m von der Fassade) einen PD von 5 % zu erreichen, sollte die Oberflächentemperatur beim oben beschriebenen Beispiel ca. 6 °C betragen, was das empirische thermische Empfinden in der Praxis wohl kaum widerspiegelt.

Leider gibt es nur sehr wenige wissenschaftliche Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Höhe der Strahlungstemperatursymmetrie und dem Prozentsatz an Unzufriedenen.

Die Untersuchungen über thermische Behaglichkeit im Sommer und im Winter von Richter et al. [29] [30] bewerten die Strahlungstemperatursymmetrie basierend auf einem PD von 1 %, was sich außer bei warmen Decken als ein nachvollziehbarer Begrenzungswert darstellt.

- Außer bei warmen Decken sollte die Strahlungstemperatursymmetrie anhand einer PD-Berechnung nach DIN EN ISO 7730 1 % nicht überschreiten. Bei einer warmen Decke ist maximal ein PD von 5 % zulässig.

3.6 Vertikaler Temperaturunterschied

Nach DIN EN ISO 7730 kann der vertikale Temperaturunterschied in drei Kategorien bewertet werden. Hierfür fehlt jedoch noch ein praxistaugliches Werkzeug. Zu beachten ist, dass der vertikale Temperaturunterschied üblicherweise in Büroräumen in Deutschland kein wesentliches Problem darstellt. Der vorhandene Steckbrief empfiehlt für besondere Fälle, wie Heizdecken in Kombination mit Quelllüftung, eine detaillierte Planung, z. B. unter Nutzung von CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) oder anderen den Raum Zonal auflösenden Verfahren.

Tabelle 13:

Zulässiger vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken in drei Kategorien nach DIN EN ISO 7730 für sitzende Personen.

Kategorie	Vertikaler Lufttemperaturunterschied
I	< 2 K
II	< 3 K
III	< 4 K

- Eine einheitliche, praxistaugliche Beratungsmethode steht zurzeit noch nicht zur Verfügung. Der vertikale Temperaturunterschied wird daher aktuell nicht bewertet.

3.7 Bewertung des thermischen Komforts

Nach DIN EN 15251 kann der thermische Komfort anhand folgender Verfahren bewertet werden.

- Auslegungskriterien

- Ganzjährige Computersimulation
- Langzeitmessungen
- Subjektive Einschätzungen der Nutzer (Bestand)

Obwohl das vierte Verfahren, subjektive Einschätzungen der Nutzer, eine sehr gute Bewertungsmöglichkeit des Raumklimas bietet, gewährleistet es die für die Zertifizierung nötige Objektivität nicht. Daher wurden nur die ersten drei Verfahren im vorhandenen Steckbrief berücksichtigt.

3.7.1 Langzeitbewertungsmethode der allgemeinen thermischen Behaglichkeit

Bewertungsmethode

Die oben genannten Komfortbereiche sehen stationäre Komfortbedingungen vor. Anhand dieser Bewertungskriterien und der gerechneten oder gemessenen Parameter kann das Raumklima jedoch auch dynamisch, z.B. stündlich bewertet werden. Für die langzeitliche Bewertung sollten diese dynamischen Bewertungen aber wieder zusammengefasst werden.

Für diese Langzeitbewertung enthalten DIN EN ISO 7730 und DIN EN 15251 fünf Verfahren. Jeweils drei Verfahren basieren auf PMV und PPD, was für die aktuelle Studie „BNB Steckbrief: Thermischer Komfort“ nicht relevant ist. Die zwei verbleibenden Bewertungsverfahren sind im Folgenden zusammengefasst.

Bewertungsverfahren

- 1) Verfahren A: Prozentsatz außerhalb des Bereiches

$$P = \text{Zeit} \div \text{Nutzungsdauer} \times 100 \quad [\text{Gl. 2}]$$

- 2) Verfahren B: Gradstunden - Kriterien

- a) Gewichtungsfaktor Berechnen

Verfahren B in DIN EN ISO 7730

$$Wf = 1 + |T_o - T_{o, \text{limit}}| \div |T_{o, \text{optimal}} - T_{o, \text{limit}}| \quad [\text{Gl. 3}]$$

Verfahren B in DIN EN 15251

$$Wf = |T_o - T_{o, \text{limit}}| \quad [\text{Gl. 4}]$$

- b) Summierung der Gradstunden

Für die warme Jahreszeit

$$\sum w_f \times \text{Zeit für } T_o > T_{o, \text{ limit, upper}} \quad [\text{Gl. 5}]$$

Für die kalte Jahreszeit

$$\sum w_f \times \text{Zeit für } T_o > T_{o, \text{ limit, lower}} \quad [\text{Gl. 6}]$$

mit

P:	Prozentsatz außerhalb des Bereichs
<i>W_f</i>:	Gewichtungsfaktor
<i>T_{o, limit, upper}</i>:	Obere Grenzwert des Komfortbereiches
<i>T_{o, limit, lower}</i>:	Untere Grenzwert des Komfortbereiches
<i>Zeit</i>:	Abweichungsdauer des Komfortbereiches

Bei dem ersten Verfahren wird der Prozentsatz an Zeit berechnet, in der das Raumklima außerhalb des Komfortbereiches liegt (siehe Gl. 2). Dieses Verfahren ist in beiden Normen identisch. Im zweiten Verfahren wird nicht nur die Abweichungszeit, sondern auch die Stärke der Abweichung als ein Gewichtungsfaktor berücksichtigt. Die Berechnungsmethode dieses Gewichtungsfaktors variiert jedoch in beiden Normen. In DIN EN ISO 7730 wird die Gewichtung der Abweichung im Verhältnis zum Abstand zwischen optimaler operativer Temperatur und den Grenzwert der operativen Temperatur gesetzt (siehe Gl. 3), während DIN EN 15251 den Gewichtungsfaktor nur aus der absoluten Abweichung vom Grenzwert ermittelt (siehe Gl. 4).

Der Unterschied zwischen beiden Methoden wurde in einer Diplomarbeit detailliert untersucht [31]. Das Problem bei dem Verfahren des Typs B aus der DIN EN ISO 7730 ist, dass bereits beim Grenzwert ($T_o - T_{o, \text{ limit}} = 0$) ein voller Faktor von 1 gewichtet wird. Bei stärkerer Abweichung wird mit 0,3 eher schwach gewichtet, was das untere Bild deutlich zeigt (blaue Linie).

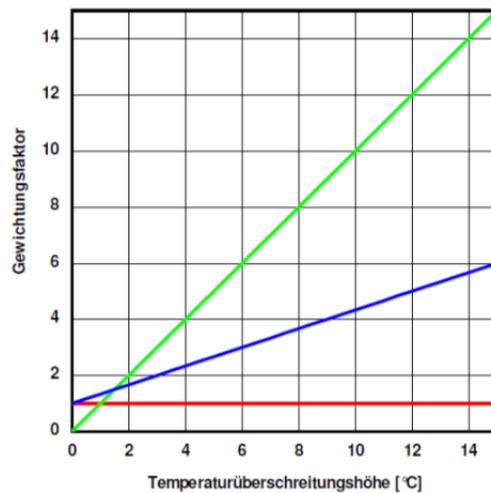


Bild 9:

Verhalten der unterschiedlichen Bewertungskenngrößen für die thermische Langzeitbewertung in Abhängigkeit von der Höhe der Grenztemperaturüberschreitung. (Rot: Verfahren A - Prozentsatz außerhalb des Bereichs; Blau: Verfahren B - Gradstundenkriterien nach ISO 7730; Grün: Verfahren B - Gradstundenkriterien nach DIN EN 15251 (aus [31])).

Der nationale Anhang in DIN EN 15251 bewertet die langzeitliche Qualität des Raumklimas anhand des Verfahrens vom Typ B (Gradstunden Verfahren) nach DIN EN 15251.

- Das Gradstunden-Verfahren (Verfahren B nach Anhang F in DIN EN 15251) eignet sich am besten für die Langzeitbewertung, da es die zeitliche Dauer sowie die Stärke der Abweichung berücksichtigt.

3.7.2 Zulässige Abweichungen

DIN EN 15251

Nach DIN EN 15251 ist eine Abweichung von 3 % oder 5 % der Belegungsstunden von den Grenzwerten der entsprechenden Kategorie zulässig. Diese maximal 3 oder 5 % Abweichungsdauer sollten nicht nur jährlich, sondern täglich und wöchentlich eingehalten werden. D.h. falls das Raumklima eines Gebäudes die Grenzwerte jährlich innerhalb 5 %, aber an einem Tag mehr als 5 % abweicht, erfüllt das Gebäude die entsprechende Kategorie nicht. Hier wird nur die zulässige Zeitdauer nach Verfahren A definiert. Die Frage, wie hoch die Gradstunden nach Verfahren B sein dürfen, zieht die DIN EN 15251 nicht in Betracht.

Nationaler Anhang

Nach dem Nationalen Anhang in der neuen DIN EN 15251 sind 1 % der Belegungsstunden mit 2 K Abweichung zulässig. Geringere Abweichungen werden über entsprechend längere Zeiträume zugelassen. Über- und Unterschreitungen müssen getrennt berechnet und anschließend summiert werden. Mehr als 2 K Abweichung

von der Komfortzone, wie in Bild 3 definiert, führen zur Aberkennung der Kategorie II.

VDI 4706

Nach VDI 4706 [12] ist eine Abweichung von 5 % in der jeweiligen Nutzungszeit um maximal 2 K zulässig. Obwohl diese Richtlinie im Nationalen Anhang in DIN EN 15251 fast wortgleich übernommen wurde, unterscheidet sich dieser in diesem Punkt von der VDI Richtlinie.

- Es ist noch nicht klar, welche Abweichungsdauer (%) und Abweichungsstärke (K) bei einer Langzeitbewertung zulässig sind. Die Zeitdauer variiert zwischen den Normen um 1 % bis 5 % und für die maximale Höhe der Abweichung werden 2 K vorgeschlagen. Nach Rücksprache mit Ingenieuren aus der Praxis werden 3 % (nach DIN EN 15251) und 1 K Abweichung für das Qualitätsniveau I vorgeschlagen.

4 Weiterentwicklung der BNB-Steckbriefe

Die vorhandenen Steckbriefe können wie in folgender Tabelle zusammengestellt werden. Die Kategorien in den Steckbriefen stimmen mit den Normen überein, aber an einigen Stellen der Steckbriefe sind sie unklar definiert oder nicht quantitativ sondern nur qualitativ bewertet. Die Gründe dafür sind an erster Stelle die Unstimmigkeiten zwischen Normen und Richtlinien, wie in Abschnitt 3 diskutiert. An zweiter Stelle stehen der Aufwand in der Praxis (mehr Planungskosten) aber auch fehlende praxistaugliche Werkzeuge für eine quantitative Bewertung.

Tabelle 14:
Zusammenstellung der vorhandenen Steckbriefe.

Kategorie	Nachweisverfahren	Bedingungen/ Unterlagen	Bewertungsmaßstab
Operative Temperatur	Zonale Raumsimulation	Definierte Wetterdaten und Simulationszeitraum	Nach DIN EN 15251 und Überschreitung 3 % der Nutzungszeit
	Messung	Nach Einzug, über 10 Tage	
	Lastberechnung	$f_{AG} < 40\%$, Heizung/Kühlung über Konvektion	
Zugluft	Kenndaten der Luftauslässe	Mechanische Lüftung	Nach DIN EN ISO 7730
	Erfüllt: kein Nachweis	Fensterlüftung	-
Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur	Oberflächentemperatur	Auslegung der Flächenheizung / Kühlung	Nach VDI 3804
	U-Wert von Fenster und Wand	Konstruktionsdaten	
Relative Luftfeuchte	Beschreibung der Auslegung	Be- und Entfeuchtungsanlagen	Nach DIN EN 15251
	Erfüllt: Kein Nachweis	Keine Anlage	
Vertikaler Temperaturgradient	Erfüllt: kein Nachweis	-	-

Die thermische Gebäudesimulation ist zurzeit in der Praxis als eines der üblichen Planungswerkzeuge etabliert. Nach der BMVBS Klimarichtlinie 2008 soll sie bei allen Bundesgebäuden über 5 Mio. € durchgeführt werden. Die gängigen Softwareprogramme für dynamische, thermische Gebäudesimulation sind jedoch in erster Linie für energetische Untersuchungen entwickelt worden und werden auch meist entsprechend angewendet. Daher enthalten die Standardwerkzeuge selten Methoden zur thermischen Komfortbewertung, wie die Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur oder der Strahlungstemperaturasymmetrie je nach Position, das optionale Verfahren für die operative Temperatur (adaptives Modell), Gradstundenkriterien für die Langzeitbewertung oder Raumluftfeuchtebewertung nach relativer oder absoluter Feuchte.

Falls der Bund ein praxistaugliches Bewertungswerkzeug basierend auf den Ergebniswerten klassischer Gebäudesimulation - z.B. Außentemperatur, Außenluftfeuchte und Raumtemperatur - anbieten kann, so wäre es durch den BNB-Steckbrief möglich in der Praxis auch vermehrt quantitative und transparente Bewertungen zu verlangen. Vor diesem Hintergrund wurde parallel zur Bearbeitung

der Steckbriefe, basierend auf den Ergebnissen von Abschnitt 3, ein neues Planungswerkzeug entwickelt (siehe Abschnitt 5).

In diesem Abschnitt werden die beiden vorhandenen Steckbriefe analysiert und ggf. die Probleme bei der Umsetzung in die Praxis diskutiert. Am Ende des jeweiligen Teilkriteriums werden neue Qualitätsniveaus, Nachweisverfahren und Methoden zur Punktevergabe unter der Berücksichtigung der Arbeit im Abschnitt 3 vorgeschlagen und für die neuen Steckbriefe herangezogen (siehe Steckbrief Entwurf im Anhang 1). Die Punktevergabe, die in vorhandenen Steckbriefen auf diskreten Bewertungen basieren, wird in den neuen Steckbriefen dahingehend angepasst, dass zwischen den diskreten Qualitätsniveaus nun eine lineare Interpolation stattfindet.

4.1 Gesamtbewertung und Gewichtung der Kriterien

Bei der Gesamtbewertung ist für den thermischen Komfort im Winter ein Bedeutungsfaktor von 2 und im Sommer von 3 festgesetzt. Dadurch ergibt sich im Winter eine Gewichtung des thermischen Komforts von 1,607 % und im Sommer von 2,411 % der Gesamtbewertung. Dies ist wegen der zunehmenden Bedeutung des sommerlichen Komforts in der Praxis nachvollziehbar.

Beiden Kriterien (Winter / Sommer) werden zunächst jeweils mit maximal 100 Punkten bewertet und zur Berechnung der Gesamtbewertung abschließend mit oben genannten Gewichtungsfaktoren modifiziert. Die vorhandenen Steckbriefe schlagen Gewichtungen für die Teilkriterien wie in Tabelle 15 vor. Die operative Temperatur wird in beiden Steckbriefen (Winter / Sommer) mit jeweils 70 Punkten bewertet und alle anderen lokalen Kriterien sowie die Raumlufffeuchte werden jeweils mit 10 Punkten bewertet.

Für den Sommer ist diese Gewichtung unter Berücksichtigung der Praxis angemessen, aber für den Winter ist die operative Temperatur übergewichtet. Die Nutzer beschweren sich im Winter eher über die Raumlufffeuchte oder Zugluft, als über die Raumtemperatur. Dazu ist die Raumtemperatur häufig von den Nutzern individuell regelbar. Daher wird eine neue Gewichtung für den Winter vorgeschlagen (Tabelle 16).

Tabelle 15:
aktuelle Gewichtung der Teilkriterien.

	Winter	Sommer
Operative Temperatur	70	70
Zugluft	10	10
Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur	10	10
Relative Luftfeuchte	10	10

Tabelle 16:
Neue Gewichtung der Teilkriterien.

	Winter	Sommer
Operative Temperatur	30	70
Zugluft	20	10
Strahlungstemperaturasymmetrie	20	10
Raumluftfeuchte	30	10

4.2 Operative Temperatur

4.2.1 Probleme bei der praktischen Umsetzung der Bewertung

Worauf beziehen sich die zulässigen max. 3% der Nutzungszeit?

Nach den Anmerkungen im vorhandenen Steckbrief für den Winter ist nur eine Überschreitung der Obergrenze von 25 °C zulässig. Eine Unterschreitung der unteren Grenze ist nicht zulässig:

„Die Unterschreitungen der jeweiligen Untergrenze sind generell nicht zulässig. Für die Analyse der Temperaturüberschreitungen im Winter kann generell die zulässige Obergrenze der Kategorie III gemäß DIN EN 15265 angesetzt werden. Die operative Temperatur soll während der Nutzung nicht über + 25 °C ansteigen (max. 3 % Überschreitungshäufigkeit ist zulässig)“.

Nach dem Bewertungsmaßstab ist dies nicht deutlich gekennzeichnet. Danach sollte die DIN EN 15251 Kategorie I eingehalten werden. Das bedeutet wiederum einen zulässigen Bereich für die operative Temperatur von 21 °C bis 23 °C (siehe Tabelle 4). Dem gegenüber heißt es wieder „Kategorie I = 0,2 / + 21 °C (PMV / Operative Temperatur)“, was anhand des PMV der oberen Grenzen und nach der operativen Temperatur der unteren Grenze von Kategorie I entspricht. Im vorhandenen Steckbrief ist formuliert:

„Qualitätsniveau 1:

Einhaltung der Anforderungen nach ASR und Einhaltung der Kriterien nach DIN EN 15251 Kategorie I, zulässige Überschreitungszeit 3 % der Nutzungszeit.

Kategorie I = 0,2 / + 21 °C (PMV-Index DIN EN ISO 7730 / operative Temperatur DIN EN 15251)“.

Der hier (redaktionell) vorliegende Fehler (21 °C entspricht nicht PMV +0,2 sondern -0,2) trägt zusätzlich zu einer Verunsicherung der bewertenden Person bei; soll die Häufigkeit der unteren Grenze oder der oberen Grenze der Kategorie I (PMV: -0,2 ~ + 0,2; operative Temperatur: 21 °C ~ 23 °C) beurteilt werden? Worauf bezieht sich die zulässige Überschreitungszeit von 3 % der Nutzungszeit?

Nach den Anmerkungen sollte die berechnete oder gemessene operative Temperatur für das Qualitätsniveau I, die untere Grenze (21 °C) nicht unterschreiten und nur für 3 % der Nutzungszeit die obere Grenze (25 °C) überschreiten ((2) in Tabelle 17).

Der Bewertungsmaßstab kann so verstanden werden, dass die Häufigkeit der operativen Temperatur, die außerhalb der Kategorie I (21 °C bis 23 °C: Wenn man DIN EN 15251 kennt) liegt, max. 3 % der Nutzungszeit sein darf ((1) in Tabelle 17). Dies kann auch so interpretiert werden, dass sich die max. 3 % der Nutzungszeit nur auf die untere Grenze der Kategorie I (21 °C) beziehen, wie es als Maßstab im Steckbrief festgelegt wird ((3) in Tabelle 17).

Tabelle 17:

Mögliche Interpretationen für die Temperaturbereiche für 97% der Nutzungszeit anhand des vorhandenen Steckbriefs (für Winter).

	(1) Operative Temperatur	(2) Operative Temperatur	(3) Operative Temperatur
Qualitätsniveau I	21 °C – 23 °C	21 °C - 25 °C	> 21 °C
Qualitätsniveau II	20 °C – 24 °C	20 °C - 25 °C	> 20 °C

Ein äquivalentes Problem ergibt sich im Steckbrief auch für den Sommer.

Es heißt in den Anmerkungen:

„Für die Analyse der Temperaturunterschreitungen im Sommer kann unabhängig von der Klassifizierung generell die zulässige Untergrenze der Kategorie III angesetzt werden, d.h. in gekühlten Räumen soll die operative Temperatur während der Nutzung nicht unter + 22 °C (bzw. PMV –0,7) und in ungekühlten Räumen nicht unter $\theta_i = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 \text{ °C} - 4 \text{ K}$ absinken (max. 3 % Unterschreitungshäufigkeit ist zulässig).“

„Qualitätsniveau 1:

Einhaltung DIN 4108-2 und Einhaltung der Kriterien nach DIN EN 15251 Kategorie I, zulässige Überschreitungzeit 3 % der Nutzungszeit.

Kategorie I: + 0,2 / +25,5 °C“

„Für Gebäude ohne Kühlung (Büro und ähnlich genutzte Räume) gelten folgende Anforderungen an die operative Temperatur (DIN EN 15251):

Kategorie I: $\theta_i = 0,33 \theta_{rm} + 18,8 \pm 2 \text{ K}$ “

Es ist schwierig zu verstehen, ob 3 % Unterschreitung von 22 °C und zusätzlich noch 3 % an Überschreitung der Obergrenze zulässig sind, oder ob insgesamt nur 3 % zulässig sind.

Tabelle 18:

Mögliche Interpretationen für die Temperaturbereiche für 97% der Nutzungszeit

anhand des vorhandenen Steckbriefs für Sommer (für maschinell gekühlte Gebäude).

	(1) Operative Temperatur nach DIN EN 15251 Kategorie	(2) Operative Temperatur nach Anmerkungen im SB	(3) Operative Temperatur nach Kategorien im SB
Qualitätsniveau I	23,5 - 25,5 °C	22 - 25,5 °C	< 25,5 °C
Qualitätsniveau II	23 - 26 °C	22 - 26 °C	< 26 °C
Qualitätsniveau III	22 - 27 °C	22 - 27 °C	< 27 °C

Was ist der geeignete Temperaturbereich für die praktische Umsetzung der Bewertung?

Der vorhandene Steckbrief definiert die Heizperiode vereinfachend zwischen 1. November bis 30. April und die Kühlperiode zwischen 1. Mai und 30. Oktober. In Deutschland sind diese vereinfacht definierten Heiz- und Kühlperioden in meisten Fällen keine Zeiträume, in denen ausschließlich geheizt oder gekühlt werden müsste. Im April (Heizperiode) kann die Raumtemperatur ohne Heizung auch über 24 °C sein. Im Oktober (Kühlperiode) wird ein Gebäude in Deutschland häufig nicht gekühlt sondern eher geheizt. Werden solche Fälle betrachtet, dann ist die Bewertung mit einer strikten Obergrenze im Winter (Bewertungen nach (1) und (2) in Tabelle 17) und mit der festgelegten Untergrenze im Sommer (Bewertungen nach (1) und (2) in Tabelle 18) nicht praxisnah. Warum sollte ein Gebäude im Oktober über 22 °C haben, wenn es geheizt ist? Oder warum ist eine Temperatur von 25,5 °C im April nicht mehr als komfortabel zu bewerten?

Diese Bewertungen können nur durchgeführt werden, wenn die gemessene oder errechnete Raumtemperatur nur für den Zeitraum ausgewertet wird, in dem das Gebäude tatsächlich geheizt oder gekühlt wird. D.h. die vereinfachte Bestimmung der Heiz- und Kühlperioden ist nicht zielführend. Sondern dies bedeutet für den Planer in der Praxis eine zusätzliche Auswertungsarbeit, da die Informationen von derzeitigen Werkzeugen zur Gebäudesimulation nicht standardmäßig geliefert werden. Lohnt sich also dieser Aufwand für das Erreichen einer besseren thermischen Behaglichkeit in einem Gebäude? Und wie relevant ist dieses Vorgehen für die Praxis?

Die erste Frage lautet demnach: Wird ein Gebäude in der Praxis oft über 25 °C geheizt oder unter 22 °C gekühlt? Ist eine Überheizung im Winter und eine zu starke Kühlung im Sommer überhaupt ein Problem in der Praxis?

Die zweite Frage ist: Sind die Obergrenzen im Winter und die Untergrenze im Sommer wichtig für den thermischen Komfort der Nutzer?

Nach der Beobachtung der Verfasser gibt es bei planmäßiger Nutzung in der Regel selten Beschwerden über Überheizung oder Unterkühlung in Bürogebäuden in Deutschland. Die Begrenzung macht Sinn in der Praxis aus rein energetischer Betrachtung, aber nicht aus der Sicht des thermischen Komforts. Sofern die Fenster vom Nutzer geöffnet werden können, führt eine Überheizung oder Unterkühlung meist nicht zum thermischen Diskomfort in Deutschland.

Nach der Langzeitbewertung in DIN EN 15251 wird auch nur die Raumtemperatur unterhalb des Grenzwerts im Winter und oberhalb des Grenzwerts für den Sommer beurteilt. Die vereinfachte Sommerperiode sollte in Einklang mit der VDI 2078 zwischen April und September liegen.

- Für den Winter kann die Raumtemperatur nur anhand der Untergrenze der jeweiligen Kategorien bewertet werden.
- Für den Sommer kann die Raumtemperatur nur anhand der Obergrenze der jeweiligen Kategorien bewertet werden.

4.2.2 Bestimmung der Qualitätsniveaus

Wie in Abschnitt 3 genannt, kann der Zielwert (Qualitätsniveau I) für die operative Temperatur nach Kategorie II in DIN EN 15251 definiert werden. Die anderen Qualitätsniveaus können anhand der zulässigen Gradstunden quantitativ bestimmt werden.

Nach der Analyse in Abschnitt 3.7 eignet sich das Gradstundenverfahren (Verfahren B nach Anhang F in DIN EN 15251) für die Langzeitbewertung, da die zeitliche Dauer sowie die Stärke der Abweichung berücksichtigt werden.

Die Abweichungsdauer bezieht sich auf die Stunden für die Betriebszeiten eines halben Jahres (Sommer und Winter). 3 % bedeuten für eine 11 stündige Betriebszeit (07:00 -18:00) eine Überschreitungszeit von 38 Stunden. Bei 2 K Abweichung bedeutet dies 76 Kh (Gradstunden) Überschreitung der Obergrenze im Sommer und 76 Kh Überschreitung der Untergrenze im Winter.

Tabelle 19:
Vorgeschlagene Zielwerte der operativen Temperatur für die Zertifizierung in den neuen Steckbriefen.

Winter	Sommer mit maschineller Kühlung	Sommer ohne maschinelle Kühlung
≥ 20 °C	≥ 0,25* Stündliches Mittel der Außentemperatur + 20 °C	≤ 0,33* gleitender Mittelwert der Außentemperatur + 21,8 °C

Tabelle 20:
Vorgeschlagene zulässige abweichende Gradstunden je nach Qualitätsniveau (Beispiel für 11 Stunden Betrieb (07:00 -18:00) pro Tag) in neuen Steckbriefen.

	Winter	Sommer
Qualitätsniveau I	Unterschreitung ist nicht zulässig	< 38 Kh (3% der Kühlperiode * 1 K Abweichung)
Qualitätsniveau II		< 127 Kh (5% der Kühlperiode * 2 K Abweichung)

4.2.3 Nachweisverfahren

Auslegungswerte oder Gebäudesimulation

Nach den vorhandenen Steckbriefen können die drei folgenden Nachweisverfahren angewendet werden:

- Zonale, thermische Raumsimulation
- Messung nach DIN EN 15251
- Auslegungswerte nach Heiz- und Kühllastberechnungen

Die Messungen sind kaum für eine Neubauzertifizierung relevant, weil diese nach der Fertigstellung mindestens 6 Monate für die beiden Bewertungen (Winter und Sommer) benötigen.

Der Nachweis aufgrund von Lastberechnungen kann nur für folgende Randbedingungen angewendet werden:

- Die Räume weisen einen Fensterflächenanteil $f_{AG} < 40\%$ der wärmeübertragenden Umfassungsfläche auf.
- Die Heizung bzw. Kühlung der Räume erfolgt vorwiegend über Konvektion.
- Zusätzlich für Sommer: Die Fassade(n) der Räume ist (sind) mit einem außenliegendem Sonnenschutz ausgestattet.

In allen anderen Fällen sollte das thermische Raumklima anhand einer Gebäudesimulation nachgewiesen werden.

Wird ein Gebäude geheizt (gekühlt) und ist es nach Heiz- und Kühllastberechnungen richtig ausgelegt, sollte es eigentlich die Zieltemperatur für die geplanten Betriebszeiten erreichen. D.h. eine Überschreitung der Obergrenze im Sommer bzw. eine Unterschreitung der Untergrenze im Winter sind kaum möglich, außer unter sehr extremen Wetterverhältnissen. Die Temperaturen in der Standard-Heizlastberechnung und in früheren Kühllastberechnungen beziehen sich jedoch auf die Lufttemperatur und nicht auf die operative Temperatur, wie die Steckbriefe fordern. Daher kann die Auslegungstemperatur nicht in jedem Fall auch die gleiche operative Temperatur erfüllen. Daher akzeptieren die vorhandenen Steckbriefe diese Nachweise nur für Gebäude, die kaum Strahlungseinfluss (keine Strahlungsheizung/-kühlung, keine große Fensterfläche) haben.

Sind also Ergebnisse aus einer Gebäudesimulation aussagekräftiger bezüglich der operativen Temperatur? Dies trifft zu, falls die operative Temperatur nicht bloß für die Raummitte sondern vor allem für die Problemstellen berechnet wird (z.B. fensternaher Platz oder neben der Wandheizung bzw. -kühlung).

Die standardmäßige Ausgabe der operativen Temperatur durch die Gebäudesimulation wird in der Raummitte gerechnet und ist außer bei Räumen mit großer Strahlungsheizung oder -kühlung kaum abweichend von der Lufttemperatur. Diese Abweichung der operativen Temperatur von der Lufttemperatur basiert auf der mittleren Strahlungstemperatur, was stationär in unterschiedlichen Positionen nach DIN EN ISO 7726 gerechnet werden kann (siehe Abschnitt 3).

Anhand solcher Berechnungen kann dem Planer die Problematik der Strahlungstemperatur eher verdeutlicht werden, als durch eine Berechnung der operativen Temperatur für die Raummitte.

- Gebäude mit Strahlungskühlung bzw. -heizung sowie mit großem Anteil an Verglasung können mit den Auslegungswerten nach der Heiz- und Kühllastberechnung bewertet werden, falls die Nachweise über die mittlere Strahlungstemperatur bei heißen oder kühlen Flächen vorliegen.
- Falls die operative Temperatur in der Raummitte ermittelt wurde, sollte ein Nachweis über die mittlere Strahlungstemperatur nahe an der Fassade vorgelegt werden.

Gebäudesimulation für Gebäude mit Heizung und Kühlung

Bei dem Nachweisverfahren mit zonaler Raumsimulation (Gebäudesimulation) sollte die errechnete operative Temperatur kritisch betrachtet werden, sofern das Gebäude geheizt oder gekühlt ist.

Wie oben genannt ist die operative Temperatur, besonders in der Raummitte, hauptsächlich nur durch die Lufttemperatur bestimmt, falls ein Gebäude eine relativ gute Gebäudehülle besitzt und die Räume nicht über Strahlung geheizt oder gekühlt werden. Diese Lufttemperatur ist wiederum in der Regel bei der Gebäudesimulation ein Eingabewert. Nur ohne Heiz- und Kühlung oder mit definierter und begrenzter Leistung des Heiz- und Kühlsystems ist die operative Temperatur ein Ausgabewert der Gebäudesimulation.

Daher sollten für dieses Nachweisverfahren die richtigen Bedingungen (z.B. Berechnung nur mit der bei der Kälte- und Heizlastberechnung definierten Heiz- und Kühlleistung) festgelegt werden. Falls die tatsächlich installierte Heizleistung oder Kühlleistung nicht annähernd identisch mit der Gebäudesimulation ist, geben die resultierenden Bewertungen der operativen Temperatur kaum Anhaltspunkte für den thermischen Komfort im tatsächlichen Betrieb.

Daher sollte ein Nachweis für die installierte Heiz- und Kühlleistung im Gebäude, sowie die Eingabedaten für die Gebäudesimulation für die Nachweisverfahren vorliegen.

Für eine Simulation sind die richtigen Eingaben entscheidend für die Ergebnisse, daher sollten die richtigen Eingabeparameter, wie z.B. der g-Wert der Verglasung oder der g_{tot} Wert für die gesamte Fassade mit Sonnenschutz, angefordert werden.

Um eine einheitliche Qualität der Simulation und deren Ergebnisse zu erreichen, ist im Rahmen dieser Arbeit die „Randbedingungen zur Dokumentation der zonalen, thermischen Raumklimasimulation“ ausgearbeitet worden und als gesonderter Dokument beigefügt (siehe Steckbrief Anhang 2).

Gebäudesimulation für Gebäude ohne maschinelle Kühlung im Sommer

Die mittels Gebäudesimulation berechnete operative Temperatur, ist ein guter Indikator für thermische Behaglichkeit im Gebäude ohne aktive Kühlung. Das optionale Verfahren der DIN EN 15251 kann angewendet werden. Die kritischen Punkte bei der Anwendung dieses Verfahrens in der Praxis liegen in der Berechnung der

gleitenden Mittelwerte der Außenlufttemperatur. Diese Berechnung benötigt eine dynamische Mittelwertermittlung anhand der Außenwetterdaten. Jedoch bieten nur wenige Programme für Gebäudesimulation standardmäßig diese Berechnungsmethode. Daher wird durch Ingenieurbüros häufig eine Bewertung nach stationärem Verfahren für ein Gebäude ohne Kühlung gewählt (mit festem Operativtemperaturbereich), obwohl das betrachtete Gebäude bei einer dynamischer Bewertungsmethode (mit unterschiedlichen Komfortbereichen je nach Außentemperatur) besser bewertet werden würde und in der Folge unter Umständen sogar auf ein aktives System verzichtet werden könnte.

Ein Tool zur Ermittlung des gleitenden Mittelwertes des Außenwetters ist für eine einfache Anwendung dieses Verfahrens in der Praxis erforderlich.

Die zulässigen Nachweisverfahren sowie die erforderlichen Unterlagen sind in Tabelle 21 gegeben.

- Das Qualitätsniveau I nach Gebäudesimulation garantiert nicht die thermische Behaglichkeit, falls die Eingaben mit der tatsächlichen Einbausituation nicht übereinstimmen. Deswegen sollten für die Nachweisverfahren detaillierte Daten zu den Eingaben für die Simulation vorliegen.
- Die Berechnung der operativen Temperatur anhand der Gebäudesimulation zeigt nicht immer mehr Sicherheit als die Bewertung über Auslegungsnachweise, daher sind Berechnungen der mittleren Strahlungstemperatur an einigen kritischen Stellen erforderlich, falls ein Gebäude über Strahlung geheizt oder gekühlt wird. Dafür wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Tool (mittlere Strahlungstemperatur) entwickelt.

Tabelle 21:
Vorgeschlagene zulässige Nachweisverfahren in neuen Steckbriefen.

Verfahren	Winter, Sommer mit Kühlung		Sommer ohne Kühlung	
	Nachweis	Bedingungen	Nachweis	Bedingungen
Verfahren 1	Gebäudesimulation + Auslegungsnachweis (Winter / Sommer)	Detaillierte Dokumentation der Eingabewerte Berechnung der operativen Temperatur: Nah am Fenster (1m von Fassade) Die Eingaben der Heiz- und Kühlleistung in der Gebäudesimulation sollten gleich den Auslegungskennwerten sein	Gebäudesimulation + Auslegungsnachweis (Winter)	Detaillierte Dokumentation der Eingabewerte
Verfahren 2	Messung	Messdauer: min. 1 Woche für Winter und Sommer, Messdokumentation		
Verfahren 3	Auslegungsnachweis + stationäre Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur	Für Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur: Winter: Außentemperatur (-5 °C) + Raumlufttemperatur (+ 20 °C): Nah am Fenster (1 m von Fassade) Sommer: Außentemperatur (32 °C) Raumlufttemperatur (+ 26 °C): Nah am Fenster (1 m von Fassade) Sommer nur für Gebäude mit Sonnenschutz (ohne direkte Sonnenstrahlung im Raum)	<i>Nicht relevant</i>	
Zusätzlich für Gebäude mit Strahlungsheizung/-kühlung	stationäre Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur	Zwei kritische Punkte: Für nahe wo wie abgeschirmte Bereiche vor der Strahlungsheizung /-kühlung		

4.3 Zugluft

Mechanische Lüftung

Bei der mechanischen Lüftung kann das Nachweisverfahren anhand der Kenndaten der Luftauslässe durchgeführt werden. Die für die Berechnung des Zuglufttrisikos (DR) angesetzte Luftgeschwindigkeit sollte im Einklang mit dem Außenluftvolumenströme in Steckbrief 3.1.3. sein. Für Mischlüftung ist dabei nach VDI 3804 von einem Turbulenzgrad von 40 bis 50 % auszugehen, für Quellluft von 20 bis 25 %.

Fensterlüftung

Bei einer Fensterlüftung ist das Zuglufttrisiko im Sommer nicht sonderlich kritisch, aber im Winter ist es ein wesentlicher Grund, warum die Nutzer Fenster nicht öffnen. Die technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) [3] sehen als Orientierungswerte für die Fensterlüftung in Büroräumen im Winter vor, jede Stunde für drei Minuten eine Stoßlüftung durchzuführen. Jedoch werden erfahrungsgemäß in der Praxis die Fenster im Winter seltener geöffnet.

Obwohl die Fensterlüftung in der Praxis im Winter ein Problem darstellt, entweder wegen Zugrisiko oder wegen erhöhter CO₂-Konzentration, ist eine repräsentative Zugluftbewertung der Fensterlüftung in der Praxis leider kaum möglich. Das liegt an der schwankenden Windgeschwindigkeit, der Schwierigkeit bei der Schätzung des Druckbeiwerts (C_p), an individuellen Bauweisen und an individuellem Nutzerverhalten.

Nach den vorhandenen Steckbriefen gilt die Fensterlüftung in dieser Kategorie immer als „erfüllt“, weil der Nutzer die Zuglufterscheinungen durch Schließen der Fenster selbst abstellen kann.

- Bei maschineller Lüftung: Der Grenzwert für die Bewertung des Zuglufttrisikos wird von 20 % DR auf 15 % DR verschärft.
- Bei Fensterlüftung gilt in jedem Fall „Qualitätsniveau I“.

4.4 Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur

Nach den vorhandenen Steckbriefen wird die Strahlungstemperaturasymmetrie nach der Prüfung über die Erhaltung der Oberflächentemperatur von Bauteilen gemäß VDI 3084 bewertet (Tabelle 1). Die für die Berechnung der Oberflächentemperatur nötigen Randbedingungen, wie Außentemperatur und Raumtemperatur werden nicht genannt, sondern als Praxishilfe werden abhängig von Fensterflächenanteilen die zulässigen U-Werte der Verglasung gegeben (Tabelle 22).

Tabelle 22:
Anforderung für die Verglasung je nach Fensterflächenanteil in den vorhandenen Steckbriefen.

Fensterflächenanteil (f_{AG})	Anforderung
$f_{AG} \leq 40\%$	Die Anforderung gilt als eingehalten
$40\% < f_{AG} \leq 70\%$	$U_g \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einem Heizkörper unterhalb der Verglasung
$f_{AG} > 70\%$	$U_g \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, alternativ: Nachweis über geeignete Simulationsberechnungen und Dokumentation des Gesamtkonzeptes Fassade/Heizsystem

Die Anforderungen über bestimmte U_g -Werte und minimale oder maximale zulässige Oberflächentemperaturen können in den neuen Steckbriefen über den PD (Prozentsatz an Zufriedenen) nach DIN EN ISO 7730 quantitativ bewertet werden. Dabei kann die Berechnungsmethode der Flächenstrahlungstemperatur in DIN EN ISO 7726 angewendet werden. Die dafür nötige Berechnung der Winkelfaktoren ist relativ komplex, so dass sie außerhalb der Forschung in der Praxis kaum angewendet wird. Vermutlich aus diesem Grund bieten die vorhandenen Steckbriefe minimale und maximale Oberflächentemperaturgrenzen anstatt eine Bewertung nach dieser komplexeren Berechnungsmethode.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Tool für die Berechnung der Strahlungstemperaturasymmetrie entwickelt, um den Einfluss von kalten und warmen Oberflächen je nach Position und Außentemperatur zu untersuchen. Die Anhaltswerte nach VDI 3804 in vorhandenen Steckbriefen werden durch den PD nach DIN EN ISO 7730 ersetzt.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Berücksichtigung der solaren Strahlung. Bisherige rechnerische Verfahren in Normen ziehen nur die langwellige Strahlungstemperaturasymmetrie in Betracht. Falls eine Person jedoch direkt der Sonne ausgesetzt ist, entscheidet die solare Strahlung über die thermische Behaglichkeit. Ein rechnerisches Verfahren ist bereits in der Literatur untersucht und definiert worden [21] [32]. Mit dieser Fragestellung wurde sich in dieser Arbeit auseinandergesetzt und es wurde ein Tool entwickelt, das den Einfluss der solaren Strahlung auf die thermische Behaglichkeit bewerten lässt (siehe [33]). Für die praktische Nutzung des Tools in der Praxis ist noch eine Implementierung eines Fenstermodells mit Sonnenschutzeinrichtungen erforderlich, was jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden kann.

Die Bewertung der Strahlungstemperaturasymmetrie kann anhand der Berechnung der Strahlungstemperatur quantitativ wie folgt durchgeführt werden.

Tabelle 23:
Vorgeschlagene Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur in den neuen Steckbriefen.

Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur	Anforderung
Warme Decke	$PD \leq 5 \%$
Kühle Decke	$PD \leq 1 \%$
Warme Wand	$PD \leq 1 \%$
Kühle Wand	$PD \leq 1 \%$
Fußboden	$19 \text{ °C} \leq T_s \leq 29 \text{ °C}$

4.5 Raumlufffeuchte

Das Teilkriterium „Relative Luftfeuchte“ in vorhandenen Steckbriefen sollte in „Raumlufffeuchte“ umbenannt werden, weil die untere Grenze mittels der relativen Luftfeuchte und die obere Grenze anhand der absoluten Luftfeuchte bewertet werden.

Nach den vorhandenen Steckbriefen wird die Luftfeuchte nur bei Be- und Entfeuchtungsanlagen bewertet. Als Nachweis dient die Auslegung. Für Gebäude ohne Be- und Entlüftungsanlage gilt die Anforderung als eingehalten. Eine der häufigsten Beschwerden der Nutzer von Bürogebäuden in Deutschland ist die Trockenheit, besonders bei mechanischer Lüftung ohne Befeuchtung. Viele Bürogebäude in Deutschland lüften mit RLT ohne Be- und Entfeuchtung. Falls ein Gebäude mit erhöhter Luftwechselzahl betrieben wird, um eine bessere Luftqualität zu erreichen, oder die Zahl der Anwesenden schwankt, sollte die Luftfeuchte genauer betrachtet werden. Daher ist ein Tool für die Berechnung unter Berücksichtigung der geplanten Luftwechselzahl, Feuchteproduktion (besonders die Zahl von Anwesenden) und Wetterdaten für die Praxis entwickelt worden. Gegenüber einigen Gebäudesimulationstools, die auch Feuchtepufferung im Material berücksichtigen können, basiert dieses Verfahren vereinfachend auf der Bilanzierung der Feuchtemenge in der Luft.

Tabelle 24:
Vorgeschlagene Raumlufffeuchtebewertung in neuen Steckbriefen.

	Bewertungsmaßstab	Grenzwert	Zulässige Abweichung für Qualitätsniveau I
Winter	Relative Luftfeuchte	$\geq 25 \%$	5 %
Sommer	Absolute Luftfeuchte	$\leq 12 \text{ g/kg}$	5 %

4.6 Zusammenfassung der wichtigen Änderung in neuen Steckbriefen

- Zusammenfassung der beiden Steckbriefe in einer Dokumentation
- Von diskreter zu interpolierter Punktvergabe
- Vorschlag für die Zertifizierungsdokumentation als Anhang

Operative Temperatur

- Keine diskreten Qualitätsniveaus nach den Kategorien (I, II, III oder IV) der DIN EN 15251.
- Bewertung nach Gradstunden außerhalb zulässiger Temperatur Unter- (im Winter) und Obergrenzen (im Sommer).
- Obergrenze für Temperatur im Sommer: für Räume mit maschineller Kühlung nach oberer Grenztemperatur nach nationalem Anhang der DIN EN 15251.
- Obergrenze für Temperatur im Sommer: für Räume ohne maschinelle Kühlung nach optionalem Verfahren (Adaptives Modell) entsprechend DIN EN 15251.
- Festlegung der zu untersuchenden Position für die Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur (1m von Fassade und Mitte von Fassade).
- Lastberechnungsverfahren ist für alle Gebäude mit Sonnenschutz zulässig.
- Zusätzliche Anforderung an die Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur für die operative Temperatur in der Raummitte oder bei Verfahren für Lastberechnung.
- Zusätzliche Anforderung der Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur für Strahlungsheizung/ -kühlung.
- Dokumentation der angesetzten Randbedingungen für zonale, thermische Raumsimulation im Anhang

Zugluft

- Verschärfung von 20 % DR auf 15 % DR

Strahlungstemperaturasymmetrie

- Keine Anhaltswerte nach VDI 3804
- Berechnung des PD (Prozentsatz an Unzufriedenen) gemäß DIN EN ISO 7730 und Bewertung der Strahlungstemperaturasymmetrie mit PD

Bewertung der Raumluftheuchte

- Quantitative Bewertung bei Gebäuden mit RLT Anlagen
- Einführung der zulässigen Abweichungshäufigkeit: 7 % der Nutzungszeit jeweils für Winter- und Sommerperiode

5 Umsetzung eines BNB-Bewertungswerkzeugs in die Praxis

5.1 Entwicklung des Bewertungswerkzeugs „BNB-Tool Thermischer Komfort“

Wie im Abschnitt 5 genannt, verlangen die neuen vorgeschlagenen Steckbriefe mehr transparente und quantitative Bewertungen als die vorhandenen Steckbriefe. Dies bedeutet für den Planer mehr Berechnungsvorgänge bei der Zertifizierung. Deswegen wird ein Werkzeug „BNB-Tool Thermischer Komfort“ mit nutzerfreundlicher GUI (Graphical User Interface) entwickelt, um stationär oder anhand von einjährigen Daten aus der Gebäudesimulation die erforderliche thermische Behaglichkeit im Raum oder im Gebäude bewerten zu können. Die Ergebnisse können als *.xml* Datei inklusive aller geforderten Eingabedaten exportiert werden.

Das Tool kann als Planungshilfe sowie als Bewertungstool für die BNB-Kriterien 3.1.1 und 3.1.2 genutzt werden. Die Struktur des gesamten Tools ist in folgendem Bild 10 gegeben.



Bild 10:
Struktur des BNB-Tools Thermischer Komfort.

Mittels des Tools können folgende Parameter berechnet und bewertet werden (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25:
Bewertungsparameter, Eingabe- sowie Ausgabeparameter des BNB-Tools Thermischer Komfort.

Bewertungsparameter	Eingabe	Ausgabe
Operativ Temperatur	Berechnete oder gemessene operative Temperatur; Außenlufttemperatur (TRY Daten); Angabe über Wochentag für den ersten Tag; Betriebszeit (Anfang und Ende); Wochenende (inklusive oder nicht); Mit oder ohne maschinelle Kühlung (Sommer Modell)	Häufigkeitsverteilung der Temperatur; Gradstunden außerhalb der Anforderung; Bei „ohne maschinelle Kühlung“: gleitende Außentemperatur; Bewertungspunkte nach BNB
Zugluft	Luftgeschwindigkeit Lufttemperatur Turbulenzgrad	Berechnung Zugluftrisiko: DR (%); Bewertungspunkte nach BNB
Mittlere Strahlungstemperatur und Strahlungstemperaturasymmetrie	Raumgeometrie (Breite, Tiefe, Höhe); Oberflächentemperatur für Innenwand (standardmäßig Lufttemperatur); U-Wert der Außenwand sowie der Fenster; Auslegungstemperatur der Kühldecke oder Fußbodenheizung; Position der Person	Oberflächentemperatur der Außenwand; Mittlere Strahlungstemperatur ; Strahlungstemperaturasymmetrie in bestimmter Position; Bewertungspunkte nach BNB
Raumluftfeuchte	Raumvolumen; Geplante Luftwechselzahl; Infiltrationsrate; Feuchteproduktion (Anzahl der Personen und Pflanzen); Anteil der Feuchterückgewinnung; Außenklima (TRY Daten)	Häufigkeitsverteilung der relativen Feuchte für Winter; Häufigkeitsverteilung der absoluten Feuchte für Sommer; Bewertungspunkte nach BNB

Genauere Angaben über die Funktionsweise des Tools können der Dokumentation im Anhang 3 entnommen werden. Das Ausgabeformat ist im Steckbrief Anhang 1 spezifiziert.

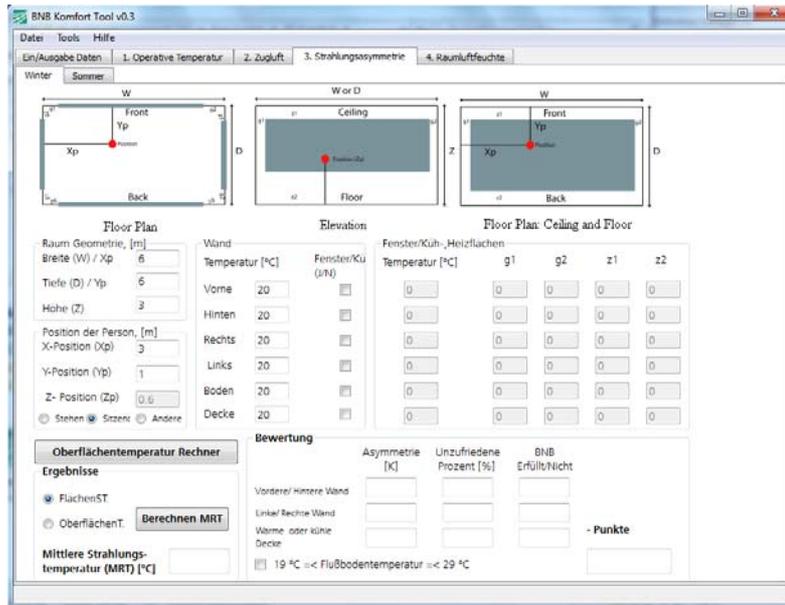


Bild 11: Strahlungstemperatur Eingabe-GUI des BNB-Tools Thermischer Komfort.

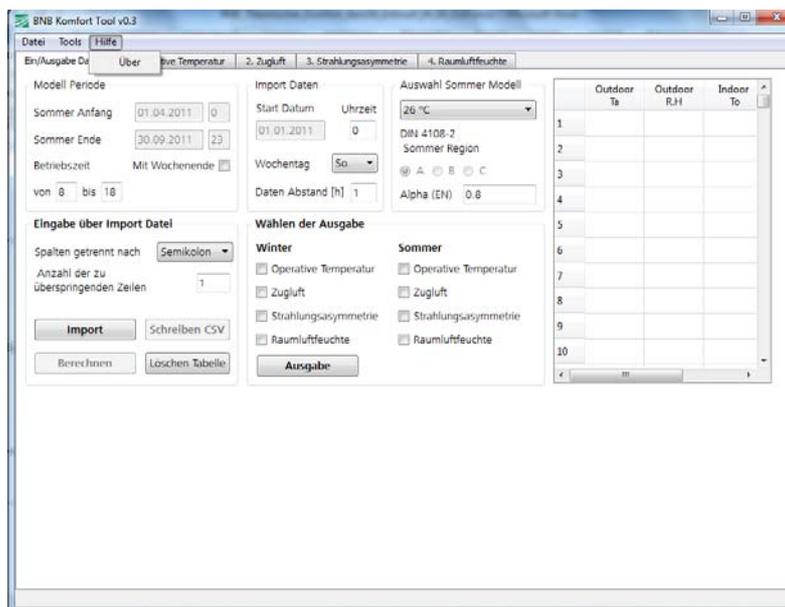


Bild 12: Ein- und Ausgabe-GUI des BNB-Tools Thermischer Komfort.

5.2 Beispiel-Zertifizierung in der Praxis

Das BNB Komfort Tool vo.3 wurde anhand eines bereits DGNB zertifizierten Gebäudes von einem Ingenieurbüro getestet. Hierzu wurden Ergebnisse einer zonalen Raumsimulation herangezogen und Daten in das BNB Komfort Tool eingelesen. Basierend auf den eingelesenen Simulationsergebnissen wurde das Tool auf alle Kriterien des BNB-Steckbriefes 3.1.1/2 getestet und die Ergebnisse mit einfachen Mitteln plausibilisiert.

Die Anmerkungen vom Ingenieurbüro über den Steckbrief und das Tool wurden zu der endgültigen Fertigstellung des Steckbriefs und der Weiterentwicklung des Tools berücksichtigt.

Besonders wünschen die Nutzer eine bessere Hilfefunktion und intuitive Anwendung des Tools. Das Tool wurde in dieser Hinsicht weiter entwickelt und bietet ein Hilfevideo mit einer Beispielanwendung und direkte Hilfe über die Bedienoberfläche (durch „?“ markiert).

6 Broschüre: Thermischer Komfort für die Planungspraxis

In diesem Arbeitspaket wird eine Informationsbroschüre für Ingenieure in der Praxis und für Projektmanager sowie für Bauherren (z.B. Bund oder Kommune) entwickelt. Diese Broschüre soll als Hilfestellung dienen und eine Vorgehensweise für wichtige Entscheidungen in Bezug auf thermische Behaglichkeit im Bauprozess anbieten.

Im Rahmen des gesamten Bauprozesses sollte die Komfortanforderung als ein Teil der Bedarfsbeschreibung bei der ES-Bau (Entscheidungsunterlage Bau) integriert werden. Dazu ist die Komfortanalyse als ein Teil der Variantenuntersuchung zur Bedarfsdeckung zu betrachten.

Dieser Abschnitt ist als gesonderte Dokumentation dem Anhang 2 zu entnehmen.

7 Diskussion und weiterer Forschungsbedarf

7.1 Unstimmigkeit der BNB Steckbriefe mit anderen Richtlinien oder anderen BNB Steckbriefen

Klimarichtlinie und BNB 3.1.2.

Nach dem energetischen Pflichtenheft im Leitfaden Nachhaltiges Bauen ist die *Klimarichtlinie 2008* für Bundesgebäude bindend (Seite 14 in Anlagen). Die Bewertungen anhand der Klimarichtlinie 2008 und vorhandenem sowie geplantem *BNB 3.1.2.: Thermischer Komfort im Sommer* stimmen nicht überein. Eine sofortige Harmonisierung oder Entscheidung von Seiten des Bundes ist nötig für eine klare Kommunikation mit der Praxis. Als Diskussionsbasis können die beiden Abschnitte 3 und 4 in dieser Arbeit dienen.

Dazu kann die Anforderung über „Thermische Behaglichkeit“ im energetischen Pflichtenheft (Seite 9 der Anlage) anhand des BNB Qualitätsniveaus definiert werden.

BNB 3.1.1, BNB 3.1.3 und RLT- Anlagenbau 2011 von AMEV

Das Problem der Bestimmung der Außenluftvolumenströme (Lüftungsrate) ist im Abschnitt 2: Lüftung im „Thermischer Komfort für die Planungspraxis“ in dieser Arbeit erläutert. Nach BNB 3.1.3 sollte der personenbezogene Außenluftstrom für

das Qualitätsniveau I über 36 m³/h pro Person sein. Dazu sollten die gebäudebezogenen Außenluftvolumenströme nach der Zuordnung des Gebäudes „sehr schadstoffarm“, „schadstoffarm“ oder „nicht schadstoffarm“ gemäß DIN EN 15251 berücksichtigen. Bei einem „schadstoffarmen Gebäude“ bedeutet dies 3,6 m³/h pro m² zusätzliches Außenluftvolumen. In dieser Situation ist eine niedrige Raumluftfeuchte ohne zusätzliche Luftfeuchteproduktion im Winter in einem Bürogebäude kaum vermeidbar. Wenn ein Bundesgebäude in beiden Kriterien das höchste Qualitätsniveau erreichen will, ist bei maschineller Lüftung wahrscheinlich eine Befeuchtungsanlage nötig, was aus energetischen, hygienischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht unumstritten ist.

Nach DIN EN 15251 kann das erforderliche Außenluftvolumen entweder aus der Summierung der berechneten Außenluftvolumenströme auf Basis der Personenbelegung und der gebäudebezogenen Emissionen oder aus dem höchsten Wert von beiden bestimmt werden. Nach nationalem Anhang wird eine Summierung für Nichtwohngebäude empfohlen und die Anwendung der Zuordnung „sehr schadstoffarm“ ist untergesagt, nur die anderen Zuordnungen, „schadstoffarm“ und „nicht schadstoffarm“, sind für die Berechnung anzuwenden.

Der vorhandene Steckbrief verfolgt wie der nationale Anhang die Summierung von beiden berechneten Lüftungsraten, dadurch wird eine hohe Lüftungsrate bevorzugt.

Nach AMEV: RLT- Anlagenbau 2011 können die RLT-Anlagen nach CO₂-Gehalt geregelt werden, wenn Personen die Hauptverunreinigungslast darstellen (was einem Büro- und Verwaltungsbau entspricht). Dies bedeutet, dass das gebäudebezogene Außenluftvolumen bei der Bestimmung der Lüftungsrate nicht berücksichtigt wird. Nach AMEV ist der Zielwert des CO₂-Gehalts ≤ 1000 ppm im Raum, so dass die Lüftungsrate deutlich niedriger als 36 m³/h pro Person wäre; in der Regel liegt dieser Wert unterhalb der Hälfte der vom BNB 3.1.3 geforderten gesamten Lüftungsrate.

Ist das Außenluftvolumen im Betrieb nach einem maximalen CO₂-Gehalt von 1000 ppm betrieben, verursacht die Anforderung von BNB 3.1.3 eine unnötig große Dimensionierung der RLT.

Hier ist eine genaue Untersuchung über die Lüftungsrate hinsichtlich der Luftqualität und der Raumluftfeuchte unter Berücksichtigung des tatsächlichen Betriebes und der Nutzerzufriedenheit nötig. Am Ende der Untersuchung kann ein Pflichtenheft oder eine Richtlinie für die Bestimmung der Lüftungsrate für Bundesgebäude erstellt werden, um die beiden wichtigen Kriterien möglichst ohne Befeuchtungsanlage zu erfüllen und die Planung und den Betrieb zu harmonisieren (siehe 7.4).

7.2 Weitere Toolentwicklung: Bewertung der Raumluftfeuchte

Während der Validierung des BNB – Tools Thermischer Komfort wurde festgestellt, dass die Ergebnisse der überschlägigen „Raumfeuchte“ Berechnung deutlich

abweichend sind von Simulationstools, welche die Feuchtepufferung der Materialien berücksichtigt. Die Häufigkeitszahl der extremen Werte (sehr niedrige und hohe Raumluftheuchten) ist mit dem BNB-Tool deutlich höher als mit einer detaillierten Feuchtesimulation. Die Feuchtepufferung im Material reduziert die Schwankungen der Raumluftheuchte und dadurch das Auftreten von Extremwerten. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, dass ein Gebäude allein auf Basis des aktuellen BNB-Tools die Anforderung der Raumluftheuchte nicht erfüllt, obwohl es aufgrund einer Feuchtesimulation mit Feuchtepufferung (vermutlich auch während des realen Betriebs) die Anforderung erfüllen würde.

Daraus lässt sich die Frage ableiten, ob die reine Feuchtebilanzierung (wie sie durch das BNB –Tool vo.3 unterstützt wird) für die Zertifizierung geeignet ist, oder ob doch eine detaillierte Feuchtesimulation notwendig wird.

Leider bieten nicht alle Gebäudesimulationstools die Feuchtesimulation mit Feuchtepufferung als Standardfunktion an. Dazu fehlt im Hintergrund häufig eine geeignete Materialdatenbank, die die für die Berechnung nötige Feuchteeigenschaft bereitstellt. Dies kann daran liegen, dass viele Gebäudesimulationstools gezielt nur für eine rein thermische Simulation entwickelt werden.

Daher würde in der Praxis eine strengere Anforderung an die Feuchtesimulation für Planer sowie für Bauherrn einen zusätzlichen Aufwand bedeuten. Aus diesem Grund wurde in diesem Projekt ein pragmatischer Weg gewählt, weshalb die zulässige Abweichung im Steckbrief von den zu anfangs geplanten 5 % auf 7 % erhöht worden ist. Jedoch basiert diese Erhöhung nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen. Dazu fehlt noch eine Vergleichsuntersuchung, in der die Raumluftheuchteergebnisse zwischen der Feuchtesimulation und der reinen Massenbilanzierung anhand eines typischen Büroraums mit unterschiedlichen Luftwechselraten und Klimadaten getestet und verglichen werden. Dadurch kann ein Zusammenhang zwischen beiden Methoden festgestellt werden und ein statistisches Modell für die Konvertierung der abschätzenden Feuchtebilanzierung zur Feuchtesimulation je nach Baumaterial, Luftwechselrate, Außen- und Innenklima erstellt werden.

Die andere Möglichkeit wäre, die Feuchteeigenschaft einiger typischer Baumaterialien im BNB-Tool zu implementieren und den Rechenkern des BNB-Tools dahingehend zu erweitern. Dies wurde bei der Diskussion mit dem Ingenieur in der Praxis bevorzugt. Wenn das Tool zusätzlich ein zeitliches Personalprofil und dynamische CO₂ Bilanzierung anbieten würde, könnte es in der Praxis neben der Zertifizierung auch für die Bestimmung des dynamischen Außenluftvolumenstroms angewendet werden. Solche passiven Lösungen können ggf. eine unnötige technische Maßnahme vermeiden und gleichzeitig die Planungssicherheit erhöhen.

7.3 Werkzeug für die Variantenuntersuchung im Planungsprozess

Für die raumklimatische Bewertung sollte eine Gebäudesimulation die Einbausituation (Konstruktion, TGA, Nutzungsszenario) eines Gebäudes möglichst genau nachbilden. In der Praxis ändern sich aber bis zur Fertigstellung des Gebäudes die-

se Entscheidungen ständig. Daher kann die Simulation für die Nachweiserbringung eigentlich erst kurz vor dem Ende der Bautätigkeiten fertig gestellt werden.

Die Durchführung einer Gebäudesimulation ist jedoch ein zeit- und damit kosten-aufwendiger Prozess. Es wäre nicht zielführend für den Bauherrn (z.B. Bund), die Gebäudesimulation nur gegen Ende für die Bewertung des Raumklimas einzusetzen, und nicht eben auch durch frühzeitige Simulation und Nachweisführung für eine Erhöhung der Bauqualität zu sorgen. Die irrige Annahme, dass die Gebäudesimulation nur dem Zertifizierungsprozess für das Raumklima dient, muss in der Praxis unbedingt vermieden werden. Nach den neuen Steckbriefen kann der Nachweis ohne Gebäudesimulation bei allen Gebäuden mit Sonnenschutz über den Auslegungsnachweis und die mittlere Strahlungstemperatur durchgeführt werden. Wird ein Gebäude geheizt und gekühlt, wird die Erfüllung der operativen Temperatur bei richtiger Auslegung gewährleistet sein. Trotzdem ist eine Durchführung der thermischen Gebäudesimulation während des Bauprozesses erforderlich oder wäre zumindest wünschenswert.

Die Gebäudesimulation ist und sollte in der Praxis generell für die integrale Bewertung der Energieeffizienz und des Raumklimas verschiedener Varianten (inklusive innovativer Konzepte) eingesetzt werden. Sie dient in erster Linie dem Bauherrn, sowie dem Planer als ein Werkzeug für die Entscheidung auf Basis eines Variantenvergleichs, besonders in der Vorentwurfsphase. Daher ist die Anforderung in der Klimarichtlinie 2008 über die Notwendigkeit der Kühlung anhand der Gebäudesimulation und Variantenuntersuchungen sowie zusammenfassende Empfehlungen nachzuweisen richtig und wichtig (siehe Vorgehensweise im Abschnitt 1 in Pflichtenheft zum Thermischen Komfort).

Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen sieht jedoch für den Variantenvergleich die DIN V 18599 als Planungswerkzeug an. Die Energiebedarfsberechnung sollte Entwurfs- und Planungshilfsmittel (Grundlage für den Variantenvergleich) sein und dafür sollte das Rechenverfahren der DIN V 18599 angewendet werden. Das energetische Pflichtenheft unterscheidet deutlich zwischen „EnEV“ Berechnung und „DIN V 18599“ Berechnungen. Der Unterschied zwischen beiden Berechnungen liegt an der Bestimmung der Randbedingungen. Während EnEV für die vorgesehene Nutzung die Randbedingungen (z. B. Raumsolltemperatur, Belegungsdichte, interne Wärmelast, Wetterdaten usw.) vorschreibt, können bei der DIN V 18599 die Nutzer selbst die Randbedingungen festlegen. Die Rechenkerne, monatliche Bilanzierung nach DIN V 18599, sind für die beiden Berechnungsmethoden gleich. Die EnEV-Berechnung dient für den Nachweis des Jahres-Primärenergiebedarfs und DIN V 18599 dient als planungsbegleitendes Tool, um den tatsächlich erwarteten Jahresenergiebedarf zu berechnen.

Für die Praxis bedeuten diese Anforderungen drei Berechnungsprozesse, EnEV Nachweis, Variantenvergleich des gesamten Energieverbrauchs mit DIN V 18599 und Gebäudesimulation für die Bewertung des Raumklimas (BNB 3.1.1/2) oder für den Nachweis der Kühlung mit dem Variantenvergleich (Klimarichtlinie 2008).

Der gesonderte Nachweis von EnEV mit einheitlichen Randbedingungen ist verständlich, weil die Gebäude objektiv und amtlich miteinander verglichen werden sollten. Für den zweit- und drittgenannten Prozess ist eine klare Richtung von Bund erwünscht, um den Aufwand in der Praxis zu reduzieren und einen einheitlichen Bauprozess von allen Teilnehmern zu etablieren. Insbesondere ist dies wichtig, wenn die beteiligten Prozesse von verschiedenen Ingenieuren (z.B. Gebäudesimulation von dem einen und DIN V 18599 von einem anderem) durchgeführt werden.

Dabei stellt sich die Frage, ob beide Prozesse des Variantenvergleichs (DIN V 18599 und Gebäudesimulation) nötig sind und ob sie mit einem Werkzeug durchgeführt werden können. Bei der raumklimatischen Bewertung und der Entscheidung für eine Variante reichen Raummodelle von den kritischen Räumen aus, für die vollständige Primärenergiebilanzierung dagegen ist ein gesamtes Gebäudemodell notwendig. Hingegen kann die Primärenergiebilanzierung auch anhand einer thermischen Gebäudesimulation durchgeführt werden. D.h. die beiden Prozesse sind nötig, können aber mit einem einzigen Werkzeug synergetisch durchgeführt werden.

Mittlerweile können der Nachweis von DIN 4108-2 sowie die Kühllastberechnung basierend auf der thermischen Gebäudesimulation durchgeführt werden. Die thermische Gebäudesimulation wird in Zukunft zunehmend im Bauprozess eingesetzt werden. Daher ist eine Diskussion nötig, welches planungsbegleitende Werkzeug beim Variantenvergleich im Bauprozess am besten geeignet ist. Des Weiteren sollten die Anwendung der beiden Werkzeuge in der Praxis genauer analysiert werden.

7.4 Weitere Fragestellungen

Prozentsatz an Unzufrieden (PD) aufgrund der Strahlungstemperatursymmetrie.

Während der Durchführung dieser Arbeit ist festgestellt worden, dass in Zukunft eine wissenschaftliche Untersuchung über die Ermittlung des Prozentsatzes an Unzufrieden (PD) aufgrund der Strahlungstemperatursymmetrie erforderlich sein wird. Die vorhandene Bewertung in DIN EN ISO 7730 akzeptiert zu hohe Strahlungstemperatursymmetrien, so dass kaum eine quantitative Bewertung der Strahlungstemperatursymmetrie in der Praxis möglich ist.

Mit zunehmender Energieeffizienz wird in Zukunft vermehrt lokale Klimatisierung bevorzugt werden. Gleichzeitig werden vom Nutzer in der Praxis Strahlungsheizung und -kühlung favorisiert. Für eine fundierte Bewertung sowie für eine Weiterentwicklung komfortabler, lokaler Klimatisierungskonzepte sollte der Einfluss der Strahlungstemperatursymmetrie auf die Nutzerunzufriedenheit wissenschaftlich untersucht werden.

Luftwechselrate in der Praxis und Nutzerzufriedenheit

Wie oben in Kapitel 7.1 diskutiert, besteht in der Praxis ein Konflikt zwischen Raumluftheuchte und Raumluftheuchte bei der Bestimmung des Außenluftvolumenstroms. Die vorhandene Norm (DIN EN 15251) verlangt einen relativ hohen Luftvolumenstrom, was ein Bürogebäude mit Fensterlüftung im Winter bei realem Betrieb voraussichtlich nicht erreichen wird. Trotzdem bevorzugen die Nutzer Gebäude mit Fensterlüftung (d.h. schlechtere Luftqualität mit guter Raumluftheuchte im Winter) gegenüber einem Gebäude mit mechanischer Lüftung (bessere Luftqualität). Warum die Nutzer in der Praxis die Fensterlüftung bevorzugen, ist wissenschaftlich noch nicht belegt. Die Einflussmöglichkeit der Nutzer bei Fensterlüftung oder bei Zugluft bei mechanischer Lüftung wurden dabei oft genannt, wobei das letzte Argument bei Messungen oft nicht nachgewiesen werden konnte. Das erste Argument ist eher fraglich, weil die Nutzer im Winter kaum Fenster öffnen, d.h. sie diese Einflussmöglichkeit kaum nutzen. Bei einem Gebäude mit mechanischer Lüftung können die Nutzer auch die Fenster öffnen und dadurch das Raumklima beeinflussen.

Eine andere Vermutung ist, dass die hohe Nutzerakzeptanz der Fensterlüftung auf der saisonal unterschiedlichen Luftwechselraten, der niedrigen Luftwechselrate im Winter und einer hohen Luftwechselrate im Sommer beruht. Falls diese Hypothese bestätigt wird, sollte der Luftvolumenstrom in der Norm neu diskutiert werden, weil dieser ausschließlich aus der Betrachtung der Luftqualität bestimmt wird. Die empfohlene Luftwechselrate sollte zumindest für den Winter reduziert sein und die Lüftungsanlagen sollten im Betrieb saisonal unterschiedlich gesteuert werden.

Dafür ist eine repräsentative Studie notwendig, in der ein Zusammenhang zwischen Luftvolumenstrom, Raumluftheuchte und Nutzerakzeptanz untersucht wird.

Während in der Wohnbauweise das Nutzerverhalten über das Fensteröffnen oft untersucht wurde und daraus die Luftwechselraten in der Praxis geschätzt werden konnten, sind in Bürogebäuden oft nur stationäre (momentane) Messungen des Luftvolumenstroms durchgeführt worden. Für die Ermittlung realer saisonaler Luftwechselrate fehlt eine repräsentative langzeitige Felduntersuchung. Parallel dazu können das Raumklima und die Nutzerzufriedenheit untersucht werden.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), „Informationsportal Nachhaltiges Bauen,“ [Online]. Available: <http://www.nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-fuer-bundesgebaeude-bnb.html>. [Zugriff am Jan. 2013].
- [2] Ausschluss für arbeitsstätten - BAuA, „Technischen Regeln für Arbeitsstätten A 3.5:Raumtemperatur,“ Juni 2010.
- [3] Ausschluss für arbeitsstätten - BAuA, „Technische Regeln für Arbeitsstätten: ASR 3.6.Lüftung,“ Januar 2012.
- [4] B12 – 8132.1/0: BMVBS, „ Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer,“ 2008.
- [5] BMVBS, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, 2011.
- [6] BMVBS, „Anlagen 4: Energetisches Pflichtenheft (Muster) von Leitfaden Nachhaltiges Bauen,“ 2011.
- [7] AMEV (Arbeitskreis Maschinen – und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen, „ RLT-Anlagenbau 2011: Hinweise zur Planung und Ausführung von Raumluftechnischen Anlagen für öffentliche Gebäude,“ 2011.
- [8] Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), „Kenngößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter,“ Bremen, 2011.
- [9] DIN EN ISO 7730:2006 -05, Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2006.
- [10] DIN EN 15251:2007-08, Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung, Beuth Verlag, 2007.
- [11] DIN EN 15251:2012-12, Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumlufqualität, Temperatur, Licht und Akustik, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2012.
- [12] DI- Richtlinienausschuss, VDI 4706: 2011; Kriterien für das Innenraumklima, zurückgezogen im Jan.2013, Verein Deutscher Ingenieure VDI e.V..
- [13] „ASHRAE Standard 55: 2004; Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy“.

- [14] DIN EN 13779:2007-09, Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2007.
- [15] „VDI 3804: 2009 -03; Raumluftechnik - Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln)“.
- [16] DIN EN 12831:2003 -08, Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Deutsche Fassung EN 12831:2003, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2003.
- [17] VDI- Richtlinienausschuss 2078, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln), Verein Deutscher Ingenieure VDI e.V., 2012.
- [18] DIN EN ISO 7726:2002-04 , „Umgebungs-klima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen (ISO 7726:1998); Deutsche Fassung EN ISO 7726:2001,“ Beuth GmbH.
- [19] DIN EN ISO 8996:2005-01, „Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO 8996:2004),“ Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.
- [20] DIN EN ISO 9920:2004-02, „Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination (ISO 9920:1995);,“ Beuth GmbH, Berlin, 2004.
- [21] P. Fanger, „Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering,“ McGraw-Hill, New York US
- [22] „ASHRAE Standard 55-1992:Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy“.
- [23] DIN EN ISO 14505-2:2007-04 , „Ergonomie der thermischen Umgebung - Beurteilung der thermischen Umgebung in Fahrzeugen - Teil 2: Bestimmung der Äquivalenttemperatur (ISO 14505-2:2006),“ Beuth Verlag.
- [24] F. Nicol und M. Humphreys, „Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251,“ *Building and Environment*, pp. 11-17, 2010.
- [25] R. de Dear, G. Brager und D. Gooper, ASHRAE RP-884: Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE, 1997.
- [26] „DIN 4108 – 2:Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz,“ 2013.
- [27] „DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung,“ 2007.
- [28] N. von Hahn, „„Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie,“ *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, pp. 103 -107, März 2007.

- [29] W. Richter, K. Gritzki, Ralf, I. Müller, A. Perschk und M. Rösler, „Thermische Behaglichkeit unter sommerlichen Bedingungen bei Berücksichtigung verschiedener Raumkühlungsverfahren,“ Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Dresden, 2006.
- [30] W. Richter, R. Gritzki, I. Müller, A. Perschk, M. Rösler und K. Windisch, „Handbuch der thermischen Behaglichkeit - Heizperiode -,“ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund/Berlin/Dresden, 2003.
- [31] M. C. Kersken, „Vergleich von Bewertungsansätzen für die sommerlichen Temperaturen mittels thermischer Gebäudesimulation,“ Diplomarbeit, TU München, 2009.
- [32] M. La Gennusa, A. Nucarra, G. Rizzo und S. Gianluca, „The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation - a generalized algorithm,“ *Energy Build.* 3, p. 367–375, 2005.
- [33] S. Stratbücker, S. Park und S. Bolineni, „Effiziente Strahlungssimulation für ein thermisches Behaglichkeitsmodell,“ *Bauphysik*, pp. 30-37, 1 2013.

Anhang

Anhang 1: Steckbrief

Anhang 2: Broschüre „Thermischer Komfort für die Planungspraxis“

Anhang 3: Hilfe für „BNB-Tool Thermischer Komfort“

Anhang 4: Modellbeschreibung in „BNB-Tool Thermischer Komfort“

A.1 Anhang 1: Steckbrief

Dieser Anhang ist als gesonderte Dokumentation zu entnehmen.

A.2 Anhang 2: Broschüre „Thermischer Komfort für die Planungspraxis“

A.2.1 Thermischer Komfort im Sommer

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 noch 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 im Sommer ist hier 28 °C bei Außentemperaturen über 32 °C.

Bei der Entscheidung für aktive Kühlung sowie bei dem Kälteleistungsbedarf ist die maximale Komforttemperatur unter der Berücksichtigung des oben genannten Zieles des Bundes zu bestimmen. BNB 3.1.2 bewertet Räume ohne maschinelle Kühlung anhand des optionalen Verfahrens in DIN EN 15251 und mit maschineller Kühlung nach dem Nationalen Anhang in DIN EN 15251.

Vorgehensweise

I. Feststellung des Komfort Qualitätsniveaus

Zuerst sollten die Bauherren das gewünschte Komfort-Qualitätsniveau feststellen. Die Orientierungswerte liefern die Qualitätsniveaus im BNB Steckbrief 3.1.2., die durch die Überschreitungsgradstunde des Grenzwertes festgestellt werden.

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, Nachtlüftung oder Bauteilaktivierung kostengünstiger durchgeführt werden können. Die Simulation muss nicht das gesamte Gebäude, sondern nur einige kritische Räume abbilden, z.B. Eckräume, Dachgeschoss, repräsentative Süd-, Ost- und Westräume, Besprechungsräume, Empfangsräume mit großer Fensterfläche. Dabei ist die Bestimmung der Randbedingungen wichtig. Sie sollten möglichst die reale Betriebssituation nachbilden, z.B. Belegungsdichte, interne Wärmelast, Luftwechselzahl, Baukonstruktion sowie Sonnenschutz. Orientierungswerte in der Vorentwurfsphase liefern die standardisierten Randbedingungen der DIN 4108-2, "die Bestimmung der Randbedingungen bei einer thermischen Gebäudesimulation". Der thermische Komfort im Gebäude ohne maschinelle Kühlung (für genaue Definition: siehe BNB 3.1.1/2) und mit direktem Zugang zu offenbaren Fenstern sollte mittels des optionalen Verfahrens (Bild A 1 in Anhang A 2) in DIN EN 15251 bewertet werden. Nach diesem Verfahren ist die Raumtemperatur bei sehr heißen Tagen bis zu 30 °C zulässig, so dass eine aktive Kühlung in der Regel nicht notwendig ist.

III. Betrachtung einer maschinellen Kühlung

Falls die Komfortanalyse ohne maschinelle Kühlung zeigt, dass trotz Betrachtung des wirtschaftlichen sommerlichen Wärmeschutzes sowie passiven Maßnahmen die Verteilung der operativen Temperatur im Sommer das gewünschte Qualitätsniveau nicht erfüllt, dann sollte eine maschinelle Kühlung betrachtet werden. Ein Gebäude mit maschineller Kühlung sollte einen relativ engen Komfortbereich (max. 28 °C bei sehr heißen Tagen) erfüllen. Die eingegebene Kühlleistung in der thermischen Gebäudesimulation sollte mit dem gerechneten Leistungsbedarf gemäß VDI 2078 übereinstimmen. Trotz der Entscheidung für eine maschinelle Kühlung, sollte der bauliche sommerliche Wärmeschutz die Mindestanforderung der DIN 4108-2 erfüllen (siehe 1.3. Nachweis).

Erforderlicher Nachweise

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. Für thermische Simulation sollten festdefinierte TRY Wetterdaten nach drei Sommerregionen und standardisierte Randbedingungen angesetzt werden.

Klimarichtlinie 2008 und energetisches Pflichtenheft (Leitfaden Nachhaltiges Bauen)

Die Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer und, falls eine maschinelle Kühlung geplant ist, die Notwendigkeit der Kühlung sind nachzuweisen. Für den Nachweis ist bei großen Neu-, Um- und Erweiterungsbauten mit Kosten über 5 Mio. € eine dynamische thermische Gebäudesimulation obligatorisch. Bei Bauvorhaben mit Kosten von bis zu 5 Mio. € entscheidet die Fachaufsicht auf führender Ebene im Einzelfall (Klimarichtlinie 2008). Der Nachweis ist mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung aller baufachlich in Frage kommenden Alternativen zu führen (Pflichtenheft). Bei maschineller Kühlung ist **der Leistungsbedarf durch eine Kühllastberechnung** gemäß **VDI 2078** zu begründen.

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.

Die Nachweise von BNB 3.1.2 erfüllen die Anforderung der Klimarichtlinie aber nicht die des energetischen Pflichtenhefts. Dafür sind des Weiteren Variantenvergleiche mit Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit vorzulegen.

Praxishilfe

Anhand des BNB-Tools Thermischer Komfort (Operative Temperatur-Analyse) können die Ergebnisse einer thermischen Gebäudesimulation analysiert werden. Das Tool bietet eine Komfortbewertung mittels des optionalen Verfahrens (Bild A 1, Anhang A 2) in DIN EN 15251, wenn Werte der Innenraum- sowie der Außentemperatur vorhanden sind.

A.2.2 Lüftung: Luftqualität, Raumlufffeuchte und Zugluft

Die Wahl des Lüftungskonzepts und des Außenluftvolumenstroms entscheidet über Luftqualität, Raumlufffeuchte und Zuglufftrisiko 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 Außenlärmpiegel, werden maschinelle Lüftungsanlagen eingesetzt (AMEV).

Fragstellung bei maschineller Lüftung

- Gute Luftqualität versus trockene Luft im Winter ?

Eine maschinelle Lüftung wird die Luftqualität des 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 (als Indikator für gute Luftqualität) und auch die Raumlufffeuchte. Im Winter kann niedrige Raumlufffeuchte Beschwerden über Trockenheit, wie Trockenheit der Schleimhaut oder Reizung 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 % Belegung) definiert wurde und entsprechend zugeführt wird, im Betrieb jedoch tatsächlich nur die Hälfte belegt ist, dann wird die Raumluff sehr trocken sein. Trotz dieses Problems ist die Notwendigkeit von Luftbefeuchtern aufgrund energetischer, hygienischer und wirtschaftlicher Aspekte kritisch zu überprüfen.

- Gute Luftqualität, komfortable Raumtemperatur versus Zugluff ?

Bei einer maschinellen Kühlung und mechanischer Lüftung kann ein erhöhter Luftvolumenstrom Zugluffbeschwerden verursachen. Eine hohe Luftströmung kann insbesondere an unbedeckten Körperteilen, z.B. im Nacken, an Unterschenkel oder Unterarmen im Sommer oder in Übergangszeiten, zu lokaler Kühlung und schließlich Zugluff führen, obwohl die operative Temperatur im Raum insgesamt im Rahmen des thermischen Komfortbereichs liegt. Um dieses Zuglufftrisiko zu vermeiden sollte die Sollraumtemperatur während der Kühlung nicht zu niedrig sein. Zusätzlich ist eine Reduzierung des Luftvolumenstroms auf das hygienisch notwendige Minimum anzustreben, so dass die Nutzer die Luftströmung möglichst wenig wahrnehmen. Für solche Fälle ist die Bewertung der Zugluff nach BNB 3.1.2. besonders zu beachten.

- Optimaler Außenluftvolumenstrom

Die Obergrenze der Luftwechselzahl für komfortable Raumluftfeuchte ändert sich je nach der Belegungsdichte, der Raumhöhe, der zusätzlichen Feuchteproduktion im Raum, z.B. Pflanzen und nach der Außenluftfeuchte. Daher ist die Analyse der Raumluftfeuchte mit TRY Wetterdaten und Innenraumtemperaturen 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 Raumluft 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 ein Infiltrationsluftwechsel von etwa 0,1 (1/h) bedingt durch Luftundichtheit und Fensterlüftung berücksichtigt wird, beträgt bei einer Belegungsdichte von 15 m² pro Person und 3 m Raumhöhe die erforderliche Luftwechselzahl durch einen Außenluftvolumenstrom anhand einer maschinellen Lüftungsanlage zwischen 1 und 0,3 (1/h), so dass sich in der Summe eine maximale Luftwechselzahl von zwischen 1,1 und 0,4 (1/h) ergibt.

Im Winter bei 0 °C Außentemperatur mit 70 % relativer Feuchte unterschreitet die Raumluftfeuchte ohne zusätzliche Feuchteproduktion den Grenzwert von 25 % schon ab einer Luftwechselzahl von 1,1 (1/h). Bei einer höheren Raumlufttemperatur als 20 °C oder einer niedrigeren Menge an Außenluftfeuchte wird die Raumluftfeuchte bei gleicher Luftwechselzahl sogar noch niedriger sein.

In der Praxis beträgt die Luftwechselzahl üblicherweise zwischen 1,5 bis 2 (1/h) für eine optimale CO₂-Konzentration und zusätzlich für Lüftung zur Reduzierung der gebäudebezogenen Emissionen. In diesem Fall ist eine niedrige Raumluftfeuchte bei einer niedrigen Außenfeuchte ohne zusätzliche Befeuchtung in Büroräumen nicht vermeidbar.

Fragestellung bei Fensterlüftung

Gegenüber maschineller Lüftung ist im Winter schlechte Luftqualität bei Fensterlüftung ein größeres Problem als trockene Raumluft. In der Praxis werden die Fenster im Winter 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 einige Maßnahmen, z.B. eine visuelle Anzeige der CO₂-Konzentration, CO₂-Ampel oder stufenlose Kippstellung der Fenster, in der Planungsphase zu berücksichtigen.

ASR schlägt als Orientierungswerte für die Fensterlüftung in Büroräumen im Winter vor, eine Stoßlüftung alle Stunde für 3 Min. durchzuführen.

Vorgehensweise

- I. Festlegung der realistischen Belegungsdichte im Betrieb und Qualitätsniveau der Luftqualität nach BNB 3.1.3 und der Raumlufffeuchte nach BNB 3.1.1
- II. Untersuchung der Luftqualität (CO_2 -Konzentration) und der Raumlufffeuchte (Relative Feuchte im Winter) je nach Außenluftvolumenströmen
- III. Untersuchung der Luftqualität (CO_2 -Konzentration) und der Zugluft je nach (Außen-) Luftvolumenströmen und Raumtemperatur im Sommer.

Schritt II kann entweder anhand dynamischer Gebäudesimulation oder vereinfachter dynamischer Feuchtebilanzierung oder CO_2 -Konzentrationsbilanzierung durchgeführt werden. Die Ergebnisse liefern einen ersten Schätzungswert in der Planungsphase. Die tatsächliche Raumlufffeuchte wird wegen der Feuchtepufferung der Materialien vom vorhergesagten Wert abweichen.

- IV. Bestimmung der Außenluftvolumenströme bei mechanischer Lüftung und ggf. Maßnahmen für Raumlufffeuchte. Bestimmung der Maßnahmen für Erhaltung der Luftqualität bei Fensterlüftung.

Erforderliche Nachweise

- BNB 3.1.1: Thermischer Komfort im Winter , Kriterien: Raumlufffeuchte
- BNB 3.1.2: Thermischer Komfort im Sommer , Kriterien: Zugluft
- BNB 3.1.3: Innenraumluftthygiene

Praxishilfe

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

A.2.3 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- und der operative Temperatur auseinandersetzen und diese für eine Entscheidung analysieren.

Kalte Fensterfläche

Bei einer sehr kalten Außentemperatur (-10 °C) können die inneren Oberflächen von Fenstern trotz eines guten U-Werts von z.B. $1,1\text{ W/m}^2\text{K}$ bis auf 16 °C auskühlen. Um den 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 $21,6\text{ °C}$ betragen. Bei dieser Situation (kalte Außentemperatur mit großer Fensterfläche an fensternahem Arbeitsplatz) ist die Solllufttemperatur für die Heizung $1\text{–}2\text{ K}$ höher zu regeln.

Strahlungsheizung / -kühlung

Ist ein Raum mit Strahlungsheizung geheizt, z.B. Fußbodenheizung oder Betonkernaktivierung, dann 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 Strahlungsberechnung 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 von Menschen unangenehm empfunden werden. Ein kaltes Fenster oder eine warme Decke mit höherer Oberflächentemperatur kann 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 Strahlungstemperaturasymmetrie 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 direkter solarer Strahlung ausgesetzt ist. Eine geeignete Berechnungsmethode wird momentan nur in der Forschung angewendet.

Die vorhandenen dynamischen Gebäudesimulationen berücksichtigen energetisch den solaren Eintrag in einen Raum, aber üblicherweise nicht dessen Einfluss auf die operative Temperatur und die Wirkung auf den Nutzer, da die direkte solare Einstrahlung auf den menschlichen Körper nicht betrachtet wird. Sofern kein Sonnenschutz vorhanden ist, ist die berechnete operative Temperatur daher kritisch zu betrachten.

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 Strahlungskühlung
 - 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 sein.

Nachweis

- BNB 3.1.1: Thermischer Komfort im Winter , Kriterien: Operative Temperatur, Strahlungstemperaturasymmetrie

- BNB 3.1.2: Thermischer Komfort im Sommer , Kriterien: Operative Temperatur, Strahlungstemperaturasymmetrie

Praxishilfe

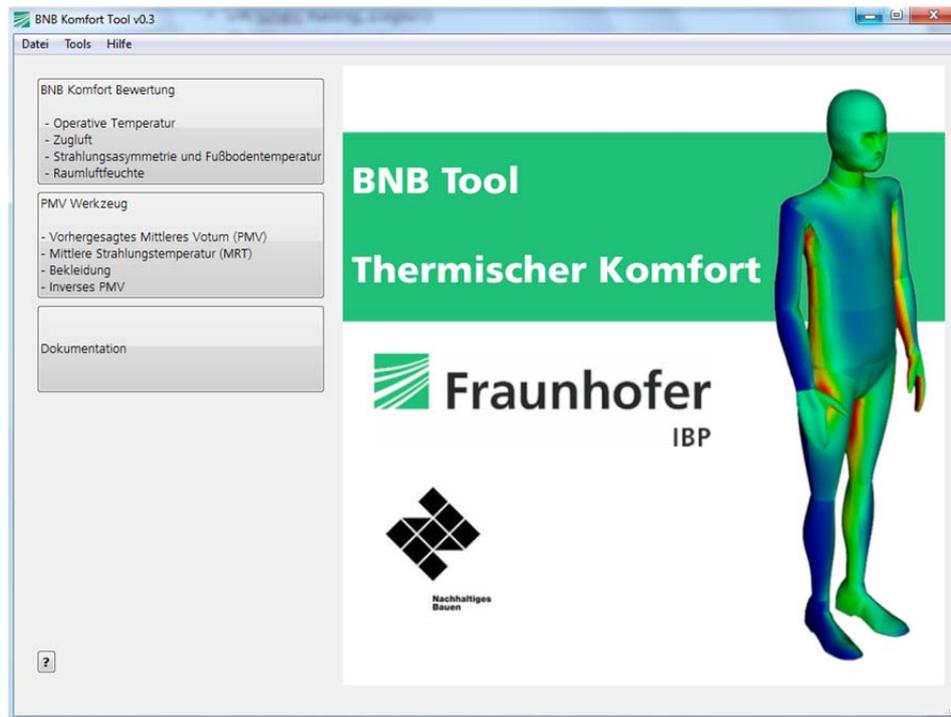
Das BNB-Tool Thermischer Komfort bietet mit der Mean Radiant Temperature (MRT) eine stationäre Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur je nach der Position und der Raumgeometrie sowie eine Auswertung der Strahlungstemperaturasymmetrie von vorne/hinten, links/rechts und oben/unten. Mit diesem Tool 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.

A.3 Hilfe für das BNB-Tool Thermischer Komfort

Ziele des Tools

- Ein schnelles Analysetool von Ergebnissen aus Simulations- oder Messdaten für die thermische Behaglichkeit
- Ein Planungswerkzeug für:
 - Gradstunden nach verschiedenen Modellen
 - DR (Draft Rating, Zugluft)
 - Strahlungstemperatur
 - Strahlungsasymmetrie
 - Feuchtebilanzierung
- Eine einheitliche und gut dokumentierte BNB-Bewertung mit wenig Aufwand

BNB-Tool: Thermischer Komfort



A.3.1 BNB Bewertung

Eingabe der Daten

Datenimport aus Gebäudesimulation

Schritt 1:

CSV-Daten direkt importieren

- Eingeben: Anzahl der zu überspringenden Zeilen – Ab wann die numerische Datensätze anfangen, z.B. mit einer Kopfzeile -> 1
- Wählen der Datei (Import)

- Originaldaten eingeben z.B. in Excel öffnen, kopieren und in den Spalten einfügen.

Kopieren und Einfügen in BNB Tool

	A	B	C	D	E	F	G	H
8733	8733	30.12.2012	-14,19999981	85,79999954	21,5			
8734	8734	30.12.2012	-12,69999981	84,79999954	21,5			
8735	8735	30.12.2012	-11,50000019	78,19999969	21,5			
8736	8736	31.12.2012	-7,050000191	67,5	21,5			
8737	8737	31.12.2012	-6,510000229	72,5	21,5			
8738	8738	31.12.2012	-4,71999979	82,09999985	21,5			
8739	8739	31.12.2012	-4,899999905	91,59999985	2			
8740	8740	31.12.2012	-3,25	93	2			
8741	8741	31.12.2012	-2,440000057	94,30000031	2			
8742	8742	31.12.2012	0,257999986	95	2			
8743	8743	31.12.2012	0,933000028	94,70000046	2			
8744	8744	31.12.2012	1,870000005	92,40000015	2			
8745	8745	31.12.2012	3,369999886	86,90000015	2			
8746	8746	31.12.2012	3,480000019	88,20000046	2			
8747	8747	31.12.2012	3,799999952	86,79999954	2			
8748	8748	31.12.2012	4,21999979	84,69999969	21,53			
8749	8749	31.12.2012	3,99000001	84,19999969	21,93			
8750	8750	31.12.2012	4,030000021	81,80000031	21,93			
8751	8751	31.12.2012	3,779999971	82,70000046	21,93			
8752	8752	31.12.2012	3,680000067	89,20000046	2			
8753	8753	31.12.2012	2,049999952	91,69999969	2			
8754	8754	31.12.2012	2,079999924	92,59999985	2			
8755	8755	31.12.2012	1,580000043	94,19999969	2			
8756	8756	31.12.2012	1,460000038	94,09999985	2			
8757	8757	31.12.2012	1,110000014	94,59999985	2			
8758	8758	31.12.2012	1,049999952	95,09999985	2			
8759	8759	31.12.2012	1,929999948	93,69999969	2			
8760	8760	01.01.2013	1,570000052	93,69999969	2			

	Outdoor Ta	Outdoor R.H	Indoor To
1	1,370000000	94,50000047	21,5
2	1,080		
3	0,96		
4	1,49000001	94,800000305	21,5
5	1,320000052	94,800000305	21,5
6	1,220000029	95,599999847	21,5
7	0,975000024	96	21,5
8	1,129999995	96,300000305	21,5
9	1,120000005	96	21,5
10	0,691999972	95	21,5

WICHTIG! Reihenfolge der Datenspalten

Spalte 1: Außentemperatur (°C)

Spalte 2: Außenluftfeuchte (%)

Spalte 3: Raumtemperatur (°C)

Schritt 2:

Definieren der Betriebszeit (z.B. von 8 bis 18) und bestimmen, ob die Datenanalyse die Wochenenden mit einschließen soll oder nicht (Für Büros sollten die Wochenenden von der Analyse ausgenommen sein).

The screenshot shows a software interface with several sections. The 'Bewertende Betriebszeit' section is circled in red. It contains the following fields: 'Sommer Anfang' (04.2011), 'Sommer Ende' (09.2011), 'Betriebszeit' (von 8 bis 18), and a checkbox for 'Mit Wochenende' which is unchecked. The 'Import' section below it shows 'Spalten getrennt nach' set to 'Semikolon' and 'Anzahl der zu überspringenden Zeilen' set to 1. There are buttons for 'Import', 'CSV Schreiben', 'Berechnen', and 'Tabelle Löschen'.

Schritt 3:

Definieren des ersten Wochentags, der Uhrzeit und des Zeitintervalls der Daten. z.B. Bei, im Abstand von 30 Minuten gerechneten Simulationen beträgt der Datenabstand 0,5 (h).

The screenshot shows the same software interface as in Step 2. The 'Eingaber über Import Datei' section is circled in red. It contains the following fields: 'Start Datum' (1.01.2011), 'Uhrzeit' (0), 'Wochentag' (So.), and 'Daten Abstand [h]' (1). The other sections remain the same as in the previous screenshot.

Schritt 4:

Wählen, welches Modell für die Sommerbewertung angewendet werden soll.

- a) 26 °C
- b) Adaptives Modell
- c) Nationaler Anhang
- d) DIN 4108-2

Nach BNB 3.1.2:

Anforderung für Räume (Zonen) ohne maschinelle Kühlung:
Adaptives Modell

Anforderung für Räume (Zonen) mit maschineller Kühlung:
Nationaler Anhang

The screenshot shows a software window titled 'Datei IOOIS Hille' with four tabs: '1. Operative Temperatur', '2. Zugluft', '3. Strahlungsasymmetrie', and '4. Raum'. The 'Eingaber über Import Datei' section contains fields for 'Start Datum' (1.01.2011), 'Uhrzeit' (0), 'Wochentag' (So.), and 'Daten Abstand [h]' (1). The 'Bewertende Betriebszeit' section includes 'Sommer Anfang' (04.2011), 'Sommer Ende' (09.2011), 'Betriebszeit' (von 8 bis 18), and a checkbox for 'Mit Wochenende'. The 'Auswahl Sommer Modell' dropdown menu is open, showing options: '26 °C', '26 °C', 'Adaptive Modell', 'Nationaler Anhang', and 'DIN 4108-2'. An arrow points to the 'Nationaler Anhang' option. The 'Import' section includes 'Spalten getrennt nach' (Semikolon), 'Anzahl der zu überspringenden Zeilen' (1), and buttons for 'Import', 'CSV Schreiben', 'Berechnen', and 'Tabelle Löschen'. The 'Alpha (EN)' field is set to 0.8.

Siehe Kriterien für die Anwendung des Optionalen Verfahrens „Adaptives Modell“, für „ohne mechanische Kühlung“ im Steckbrief.

Schritt 5:

Für „Adaptives Modell“, α bestimmen (Standardmäßig: 0.8).

Schritt 6:

Für „DIN 4108-2“, Sommer Region bestimmen (A, B, C)

Die Bewertung nach DIN 4108-2 lässt keine individuelle Randbedingung in der Gebäudesimulation zu, siehe DIN 4108-2 für detaillierte Randbedingungen.

Schritt 7:

Berechnen.

- Die Häufigkeitsverteilungen der Raumtemperaturen (Operative Temperaturen) im Winter und im Sommer werden berechnet.
- Für die Verfahren „Adaptives Modell“ wird der gleitende Mittelwert der Außentemperatur (T_{rm}) berechnet.
Berechnung: gleitender Mittelwert der Außentemperatur (T_{rm}) (siehe Anhang 4).
- Gradstunden über die BNB Grenzwerte im Winter und im Sommer werden berechnet.

Die Ergebnisse können unter Bewertung Winter (Operative Temperatur) und Sommer (Operative Temperatur) gefunden werden.

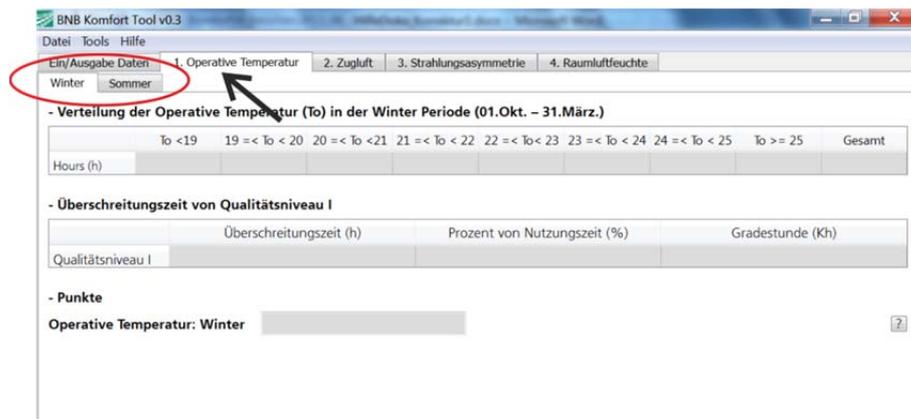
Operative Temperatur (Winter /Sommer)

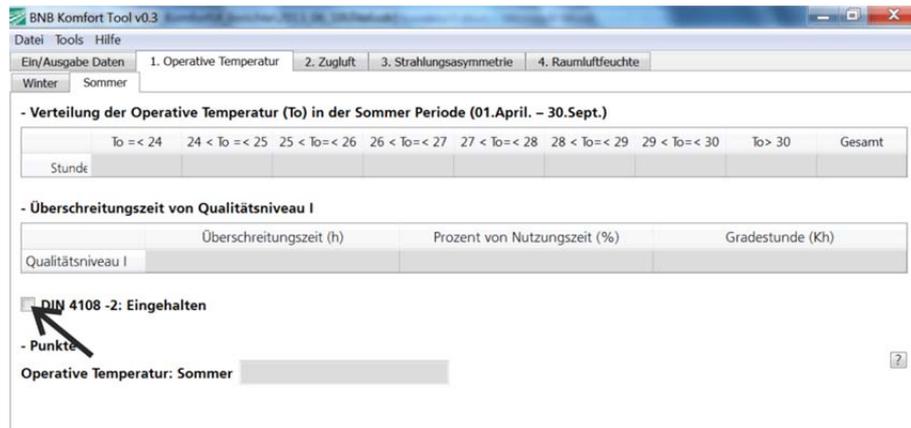
Bewertung der operativen Temperatur anhand der Informationen vom *Daten Import*

Die folgenden Bewertungen werden durchgeführt:

- Häufigkeitsverteilung der Temperatur
- Überschreitungszeit (h), Prozent von Nutzungszeit (%) und Gradstunden außerhalb BNB Qualitätsniveau
- Punkte

Für die Bewertung des Sommers ist die Einhaltung von DIN 4108-2 erforderlich.



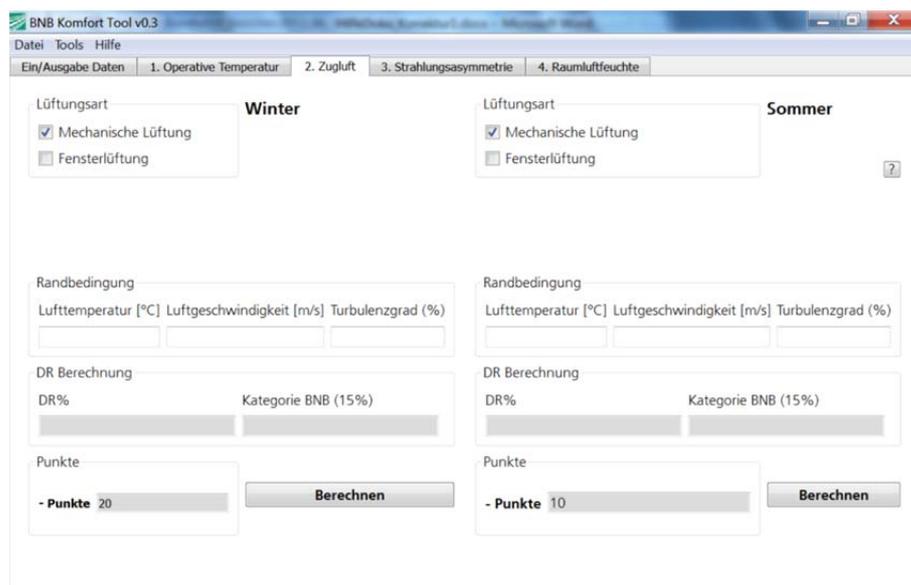


Zugluft

DR Berechnung

Schritt 1:

Wählen, ob das Gebäude mit mechanischer Lüftung oder mit Fenster gelüftet wird.



Schritt 2:

Bei Fensterlüftung → Es wird keine weitere Berechnung durchgeführt.

Schritt 3:

Bei mechanischer Lüftung → Definieren der Randbedingungen für die stationäre DR Berechnung.

- a) Lufttemperatur (°C) – typisches Raumklima im Winter und im Sommer.
- b) Luftgeschwindigkeit (m/s) – Berechnung aus dem mechanischen Lüftungssystem.
- c) Turbulenzgrad (%) – nach dem mechanischen Lüftungssystem.

Schritt 4:

DR sowie die Punkte werden berechnet.

Strahlungstemperatur (Winter) und (Sommer)

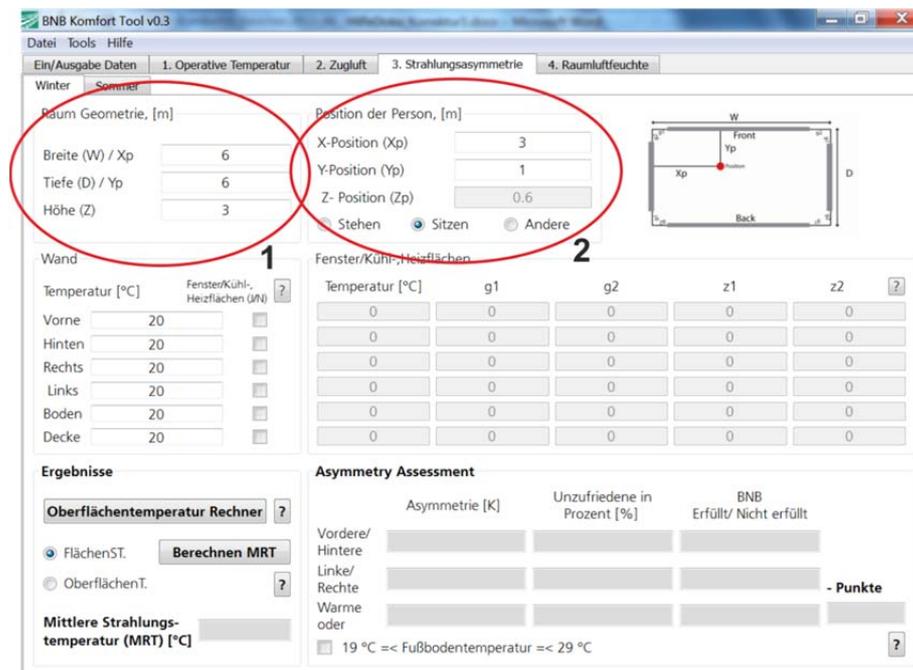
Strahlungstemperatur und Strahlungstemperaturasymmetrie: Stationäre Berechnungen

Schritt 1:

Definieren der Raumgeometrie.

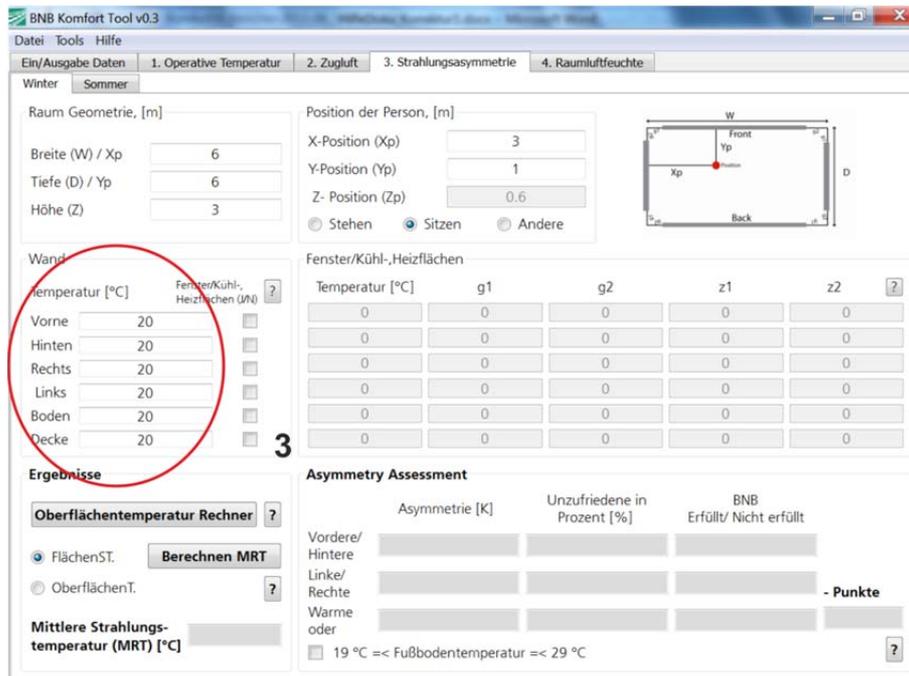
Schritt 2:

Definieren der Positionen (roter Punkt) der anwesenden Personen.



Schritt 3:

Definieren der Oberflächentemperatur von Wänden.



Schritt 4:

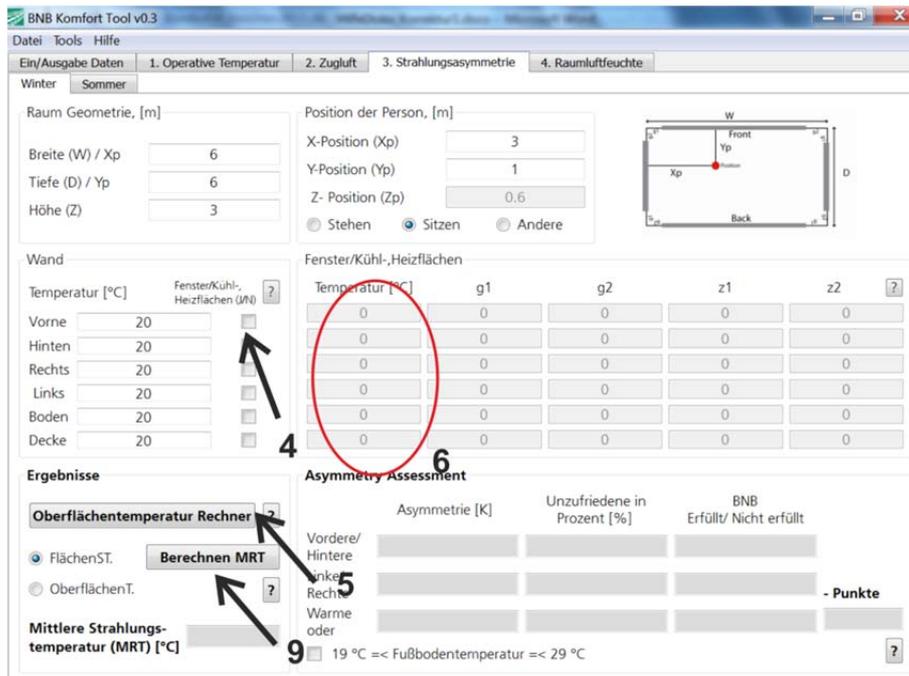
Falls Fenster, Heiz- oder Kühlflächen vorhanden sind, wählen „Fenster, Heiz, und Kühl“. Dann werden die Eingaben aktiv geschaltet.

Schritt 5:

Eingabe der Oberflächentemperatur vom Fenster: Sie kann mit Eingabe des U-Wertes der Fenster und der Außen- und Innenraumtemperatur berechnet werden (*Oberflächentemperatur Rechner klicken*).

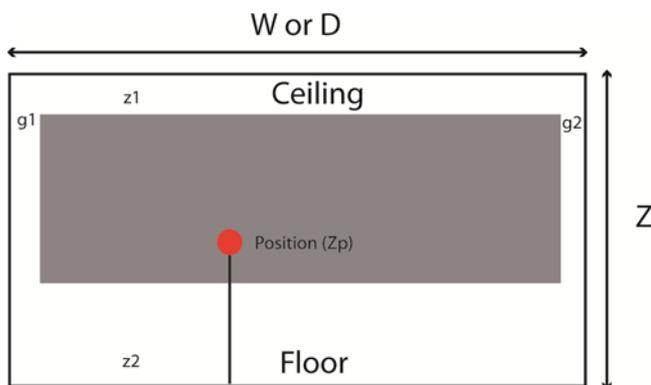
Schritt 6:

Eingabe der Oberflächentemperatur des Heiz – und Kühlelements: Information aus dem jeweiligen System



Schritt 7:

Definieren der Position von Fenster, Heiz- oder Kühlflächen.
Siehe die untere Grafik und definieren sie g_1 , g_2 , z_1 .



Schritt 8:

Wählen der Strahlungstemperaturberechnungsmethode (Oberflächentemperatur vs. Flächenstrahlungstemperatur)
Für die Berechnung der Strahlungstemperaturasymmetrie: Wählen der Flächenstrahlungstemperatur (FlächenST). Siehe Anhang 4 für den Unterschied zwischen beiden Methoden.

Schritt 9:

Berechnen

Mittlere Strahlungstemperatur (MRT) und Strahlungsasymmetrie werden berechnet.

Schritt 10:

Für die BNB Bewertung sollte die Fußbodentemperatur den erforderlichen Bereich erfüllen. Dann werden die BNB Punkte gegeben.

Raumlufffeuchte

Absolute und relative Raumlufffeuchte Berechnungen anhand Feuchtebilanz, Berechnung der absoluten und relativen Raumlufffeuchte anhand der Feuchtebilanz.

Schritt 1: Definieren der Randbedingungen für die Feuchtebilanz.

2

- Raumvolumen: Volumen des zu untersuchenden Raums oder der Simulationszone. (Breite * Tiefe* Höhe: Innenmaß).
- Luftwechselzahl außerhalb der Betriebszeit: Luftwechselzahl aus Undichtigkeiten oder Luftwechselzahl außerhalb der Betriebszeit

Luftundichtheit: Schätzungswerte (Richtwerte) nach DIN V 18599 (siehe Steckbrief BNB 3.1.1. / 2.).

- Luftwechselzahl im Winter (Okt. – Mär.)
- Luftwechselzahl im Sommer (Apr. – Sep.)

Für mechanischer Lüftung: Angabe nach Auslegung.

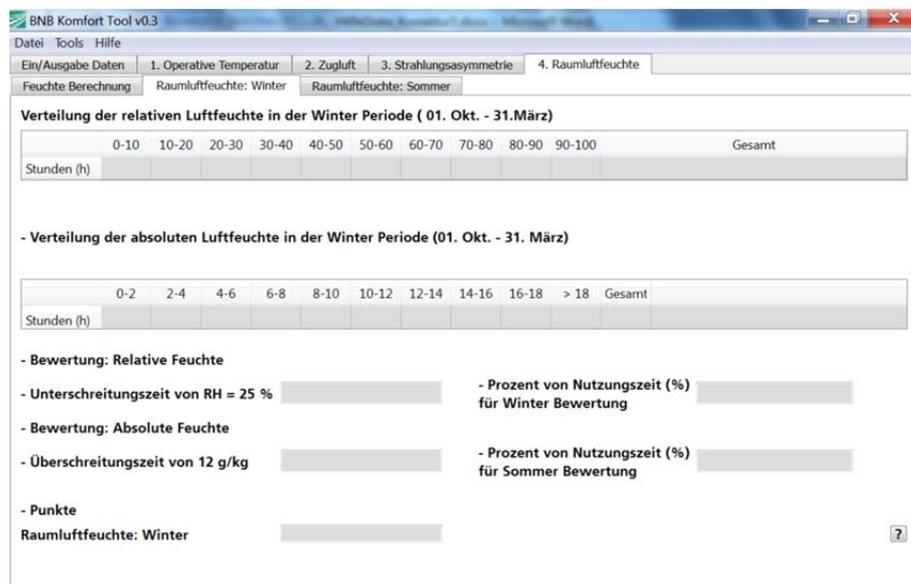
- Anzahl der Personen: im untersuchenden Raum oder Zone

- f) Anzahl von großen Pflanzen: eher auf dem Boden stehende große Pflanzen
- g) Anzahl von kleinen Pflanzen: kleine Zimmer-Pflanzen auf dem Tisch
- h) Ratio der Feuchterückgewinnung (-): Falls eine Feuchterückgewinnung geplant ist, wie hoch ist die Kennzahl der Rückgewinnung (0: keine Rückgewinnung, 1: 100% Rückgewinnung)
- i) Andere Feuchteproduktion: Wenn andere Feuchteinfuhr z.B. anhand eines Luftbefeuchters geplant ist, dann geben Sie die Feuchtemenge (g/m^3) pro Stunde direkt ein.

Schritt 2: Berechnen

- a) Die absolute und die relative Raumluftheuchte werden anhand der stündlichen Feuchtebilanz zwischen dem Innen- und Außenraum berechnet.
- b) Die Häufigkeitsverteilungen der relativen Feuchte im Winter und der absoluten Feuchte im Sommer werden berechnet.
- c) Überschreitungshäufigkeiten der BNB Anforderung im Winter und im Sommer werden berechnet.

Die Ergebnisse können unter Winter (Raumluftheuchte) und Sommer (Raumluftheuchte) gefunden werden.



Ausgabe

Export der Bewertungsergebnisse

Schritt 1: Markieren der Kriterien

die ausgegeben werden sollen. Folgende Kriterien können gewählt werden.

Winter

- a) Operative Temperatur
- b) Zugluft
- c) Strahlungsasymmetrie und Fußbodentemperatur
- d) Raumlufffeuchte

– Sommer

- a) Operative Temperatur
- b) Zugluft
- c) Strahlungsasymmetrie und Fußbodentemperatur
- d) Raumlufffeuchte

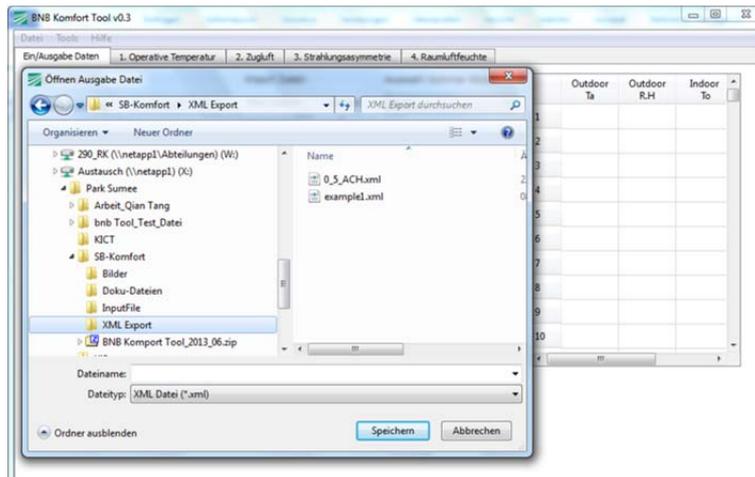
Schritt 2: Export

Die gewählten Daten werden als .xml exportiert.

The screenshot shows a dialog box titled "Wählen der Ausgabe". It is divided into two columns: "Winter" and "Sommer". Each column contains four checkboxes corresponding to the criteria listed in the previous steps: "Operative Temperatur", "Zugluft", "Strahlungsasymmetrie", and "Raumlufffeuchte". At the bottom of the dialog, there is a button labeled "Ausgabe" on the left, and three buttons on the right: a question mark "?", "PDF Print ?", and "Read in Excel ?".

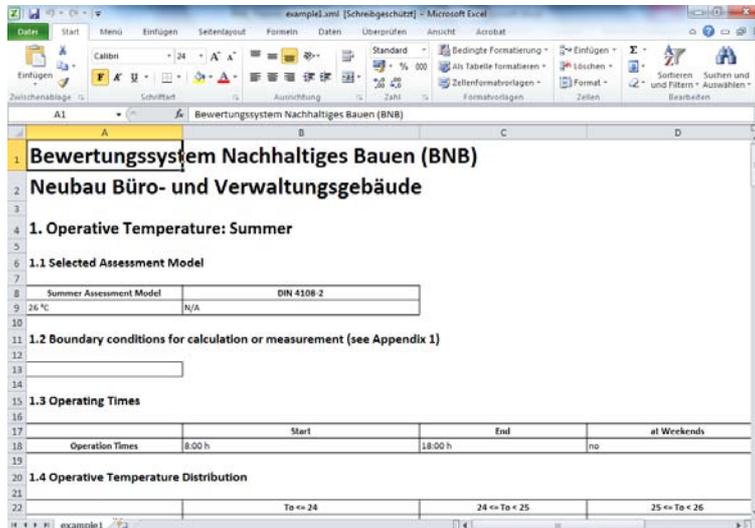
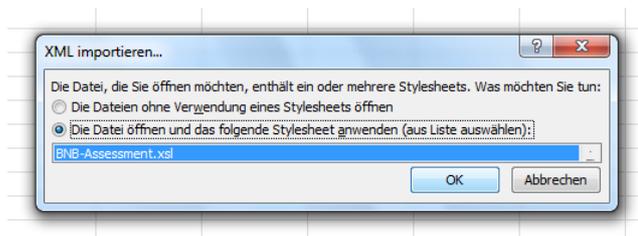
Schritt 3: Datei speichern

Die Datei sollte unter "xml Export" gespeichert werden, so dass die Datei korrekt gelesen werden kann. Diese Datei kann in Word oder Excel geöffnet und weiter verarbeitet werden.



Schritt 4: Datei öffnen in Excel oder Word

Beim Öffnen der *xml* Datei in Excel oder Word sollten Sie die Stylesheets „BNB Assessments.xml“ anwenden.



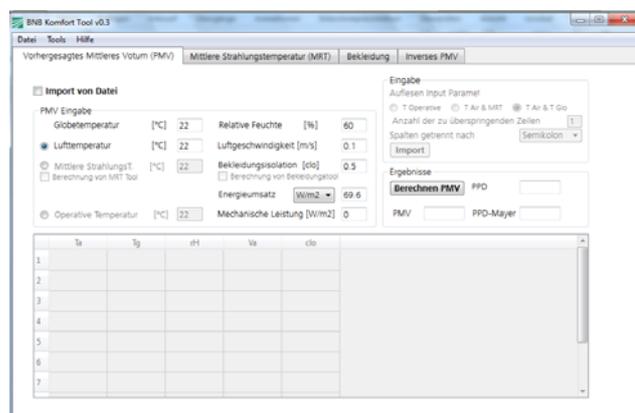
A.3.2 PMV Werkzeug

PMV Berechnung

Schritt 1:

Wählen einer Temperatur für die Berechnung der operativen Temperatur.

- a) Operative Temperatur
- b) Mittlere Strahlungstemperatur +Lufttemperatur
- c) Globetemperatur + Lufttemperatur



Schritt 2:

Eingeben der relativen Feuchte, der Luftgeschwindigkeit, des Bekleidungsisolationswerts (clo), und des Energieumsatzes (für Büroarbeit: 1,2 met)

Schritt 3:

Die mittlere Strahlungstemperatur und „Clo“ Wert können mit MRT und dem Bekleidungsstool berechnet und übernommen werden.

Schritt 4:

Berechnen PMV

Schritt 5:

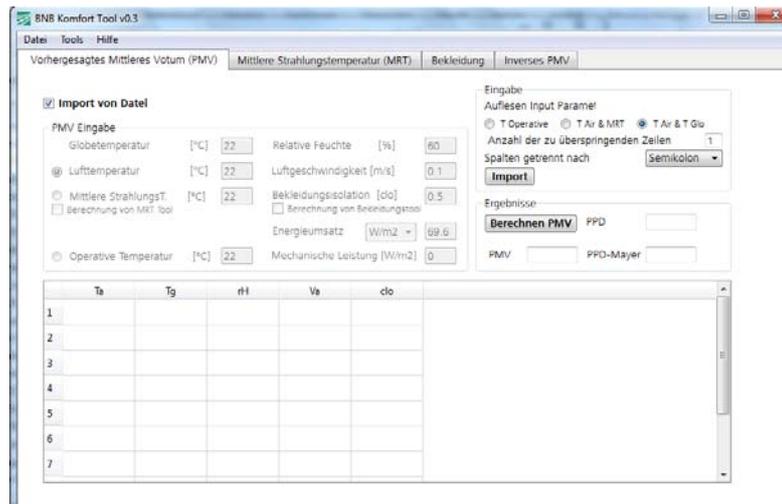
Wenn mehrere Fälle gerechnet werden sollen, kann eine Datei importiert werden.

Die operative Temperatur kann wie die stationäre Berechnung in ein unterschiedliches/anderes Temperatur-Format eingelesen werden.

- a) Operative Temperatur (Toperative)
- b) Mittlere Strahlungstemperatur +Lufttemperatur (T Air & MRT)
- c) Globetemperatur + Lufttemperatur (T Air & T Glo)

Schritt 6:

Energieumsatz und mechanische Leistung werden von stationären Werten übernommen.



Schritt 7:

Wichtig ist die Spaltenreihenfolge der Importdatei wie „Preview“ vorschlägt.

Die Abkürzung der Spaltennamen:

- a) Ta: Lufttemperatur (°C)
- b) Tr: Mittlere Strahlungstemperatur (°C)
- c) Tg: Globetemperatur (°C)
- d) To: Operative Temperatur (°C)
- e) rH: relative Feuchte (%)
- f) Va: Luftgeschwindigkeit (m/s)
- g) clo: Bekleidungsisolationswert (clo)

MRT Berechnung

Siehe BNB Bewertung Strahlungstemperaturasymmetrie

Bekleidungsisololation

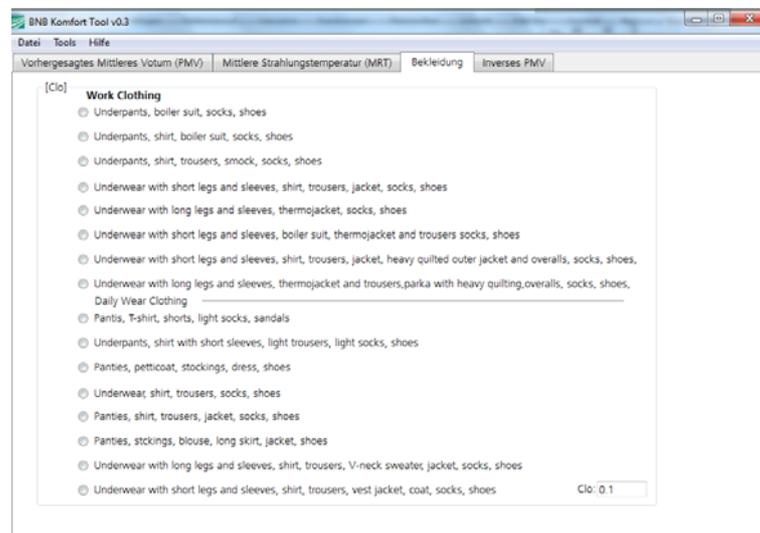
Clo (Bekleidungsisololation) Berechnung nach ISO 7730

Schritt 1:

Wählen der Bekleidungsstücke.

Schritt 2:

Der „Clo“ Wert wird berechnet.



Inverses PMV

Mit diesem Tool wird ein unbekannter Parameter für einen bestimmten PMV berechnet.

Schritt 1:

Wählen der unbekanntenen Parameter (z.B. Operative Temperatur oder Luftgeschwindigkeit)

Schritt 2:

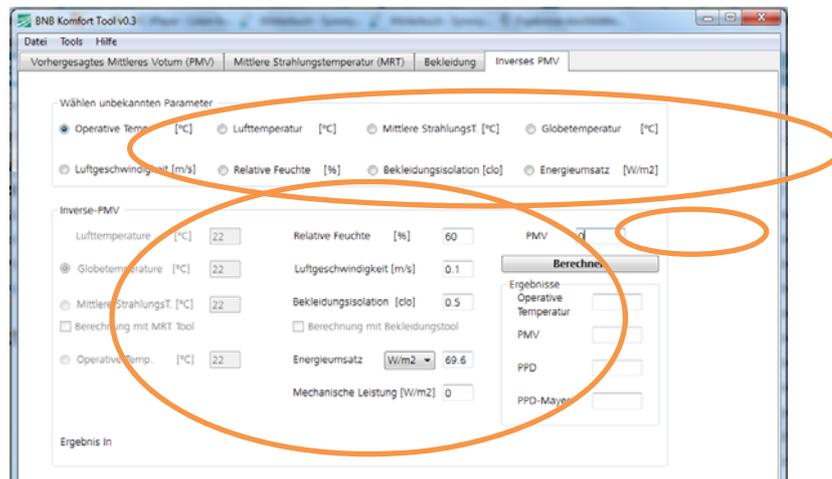
Eingeben der anderen Parameterwerte.

Schritt 3:

PMV bestimmen (z.B. „0“ für neutrale thermische Wahrnehmung)

Schritt 4:

Berechnen: Der unbekannte Parameter wird für den gezielten PMV (z.B. „0“) ermittelt.



A.4 Modellbeschreibungen für das BNB-Tool Thermischer Komfort

A.4.1 PMV - Predicted Mean Vote (Vorausgesagtes mittleres Votum)

[nach DIN EN ISO 7730]

Eingabeparameter		
M	Der Energieumsatz	[W/m ²]
W	Die wirksame mechanische Leistung	[W/m ²]
H _c	Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient	[W/(m ² K)]
I _{cl}	Die Bekleidungsisolierung	[m ² K/W]
f _{cl}	Der Bekleidungsflächenfaktor	[-]
t _{cl}	Die Oberflächentemperatur der Bekleidung	[°C]
t _a	Die Lufttemperatur	[°C]
t _r	Die mittlere Strahlungstemperatur	[°C]
v _a	Die Luftgeschwindigkeit	[m/s]
p _a	Der Wasserdampfpartialdruck	[Pa]
Ausgabeparameter		
PMV	Predicted mean vote	[-]
Gültigkeitsbereich		
M	46 bis 232	[W/m ²]
I _{cl}	0 bis 0,310	[m ² K/W]
t _a	10 bis 30	[°C]
t _r	10 bis 40	[°C]
v _a	0 bis 1	[m/s]
p _a	0 bis 2700	[Pa]

Modell

$$PMV = (0.303 e^{-0.036M} + 0.028) \{ (M-W) - 0.00305 [5733 - 6.99 (M-W) - p_a] - 0.42 [(M-W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} M [5867 - p_a] - 0.0014 M [34 - t_a] - 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

mit

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028 (M-W) - I_{cl} \{ 3.96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

$$h_c = \max \{ 2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25}; 12.1 \sqrt{v_a} \}$$

$f_{cl} = 1.00 + 1.290 I_{cl}$	Für $I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2\text{K/W}$
$f_{cl} = 1.05 + 0.645 I_{cl}$	Für $I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2\text{K/W}$

Adaptives Modell: Optionales Verfahren nach Bild A.1 (DIN EN 15251).

A.4.2 Berechnung des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur

Eingabeparameter

α -> eine Konstante zwischen 0 und 1. Es wird empfohlen, den Wert 0,8 zu verwenden [-]

Ausgabeparameter

Θ_{rm} -> der gleitende Mittelwert der Temperatur für den aktuellen Tag [°C]

Modell

$$\Theta_{rm} = (1-\alpha) [\theta_{ed-1} + \alpha \theta_{ed-2} + \alpha^2 \theta_{ed-3} \dots]$$

θ_{ed-1} -> der Tagesmittelwert der Außentemperatur für den vorherigen Tag [°C]

θ_{ed-2} -> der Tagesmittelwert der Außentemperatur für den vorvorherigen Tag usw. [°C]

Vereinfachte Berechnung

$$\Theta_{rm} = (1-\alpha) \theta_{ed-1} + \alpha \Theta_{rm-1}$$

Θ_{rm-1} -> der gleitende Mittelwert der Temperatur für den vorherigen Tag [°C]

A.4.3 Bewertung nach optionalem Verfahren (DIN EN 15251)

Eingabeparameter

Θ_{rm} -> der gleitende Mittelwert der Außentemperatur [°C]

T_a -> die operative Temperatur (Innenraum) [°C]

Ausgabeparameter

Kategorie I

Kategorie II

Kategorie III

Bewertung

- Kategorie I

$$\text{Oberer Grenzwert} = 0.33 \Theta_{rm} + 18.8 + 2$$

$$\text{Unterer Grenzwert} = 0.33 \Theta_{rm} + 18.8 - 2$$

- Kategorie II

$$\text{Oberer Grenzwert} = 0.33 \Theta_{\text{rm}} + 18.8 + 3$$

$$\text{Unterer Grenzwert} = 0.33 \Theta_{\text{rm}} + 18.8 - 3$$

- Kategorie III

$$\text{Oberer Grenzwert} = 0.33 \Theta_{\text{rm}} + 18.8 + 4$$

$$\text{Unterer Grenzwert} = 0.33 \Theta_{\text{rm}} + 18.8 - 4$$

A.4.4 Mean Radiant Temperature (MRT): Mittlere Strahlungstemperatur
 [nach DIN EN ISO 7726]

1) Berechnung aus der Temperatur der umgebenden Flächen

Eingabeparameter

Oberflächentemperatur		
$t_{f,w}$	Wand (vorne)	[K]
$t_{f,win}$	Fenster (vorne)	[K]
$t_{b,w}$	Wand (hinten)	[K]
$t_{b,win}$	Fenster (hinten)	[K]
$t_{r,w}$	Wand (rechts)	[K]
$t_{r,win}$	Fenster (rechts)	[K]
$t_{l,w}$	Wand (links)	[K]
$t_{l,win}$	Fenster (links)	[K]
t_f	Boden	[K]
$t_{f,h}$	Boden: Heizung oder Kühlung	[K]
t_c	Decke	[K]
$t_{c,h}$	Decke: Heizung oder Kühlung	[K]
Winkelfaktor		
F_{p-N}	Winkelfaktor einer Person in Bezug auf die umgebenden Flächen	[-]
$F_{p-f,w}$	Wand (vorne)	[-]
$F_{p-f,win}$	Fenster (vorne)	[-]
$F_{p-b,w}$	Wand (hinten)	[-]
$F_{p-b,win}$	Fenster (hinten)	[-]
$F_{p-r,w}$	Wand (rechts)	[-]
$F_{p-r,win}$	Fenster (rechts)	[-]
$F_{p-l,w}$	Wand (links)	[-]
$F_{p-l,win}$	Fenster (links)	[-]
F_{p-f}	Boden	[-]
$F_{p-f,h}$	Boden: Heizung oder Kühlung	[-]
F_{p-c}	Decke	[-]
$F_{p-c,h}$	Decke: Heizung oder Kühlung	[-]
Ausgabeparameter		
MRT ($T_{r,av}$)	Mittlere Strahlungstemperatur	[°C]

Modell

$$T_{r,av}^4 = T_{f,w}^4 * F_{p-f,w} + T_{f,win}^4 * F_{p-f,win} + \dots + T_c^4 * F_{p-c}$$

2) **Winkelfaktor einer Person in Bezug auf die umgebenden Flächen N**

Eingabeparameter		
a, b, c,		[-]
Ausgabeparameter		
F_{p-N}	Winkelfaktor einer Person in Bezug auf die umgebenden Flächen	[-]

Modell

$$F_{p-N} = F_{max} * \{1 - \exp[-(a/c)/T]\} * \{1 - \exp[-(b/c)/\gamma]\}$$

mit

$$T = A + B * (a/c)$$

$$\gamma = C + D * (b/c) + E * (a/c)$$

	F_{max}	A	B	C	D	E
Sitzende Person senkrechte Oberflächen: Wand, Fenster	0.118	1.216	0.169	0.717	0.087	0.052
Sitzende Person, waagerechte Oberflächen: Fußboden, Decke	0.116	1.396	0.13	0.951	0.08	0.055
Stehende Person, senkrechte Oberflächen: Wand, Fenster	0.12	1.242	0.167	0.616	0.082	0.051
Stehende Person, waagerechte Oberflächen: Fußboden, Decke	0.116	1.595	0.128	1.226	0.046	0.044

3) **Festlegung a, b, c aus Geometrie und Position**

$Z_p = 0.6$ für sitzende Person, $z_p = 1.0$ für stehende Person

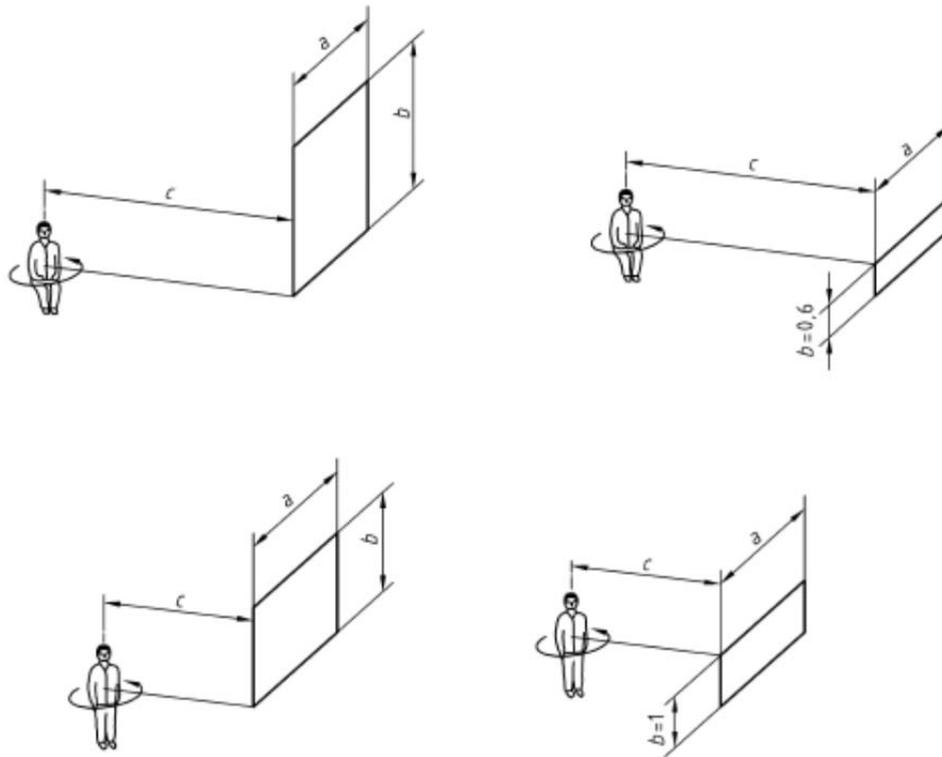


Bild 13:
aus DIN EN ISO 7726.

4) Berechnung auf der Grundlage der Flächenstrahlungstemperatur

Für sitzende Personen

Eingabeparameter		
t_{pr}	Die Flächenstrahlungstemperatur	[K]
t_N	Die Oberflächentemperatur der Fläche /V	[K]
F_{p-N}	Der Winkelfaktor eines kleinen Flächenelements zur Fläche /V	[K]
Ausgabeparameter		
$t_{r,av}$	Mittlere Strahlungstemperatur	[K]

Modell

$$t_{r,av} = [0.18 \cdot (t_{pr}(up) + t_{pr}(down)) + 0.22 \cdot (t_{pr}(right) + t_{pr}(left)) + 0.30 \cdot (t_{pr}(front) + t_{pr}(back))] / [2 \cdot (0.18 + 0.22 + 0.30)]$$

Für stehende Personen

Eingabeparameter		
t_{pr}	Die Flächenstrahlungstemperatur	[K]
t_N	Die Oberflächentemperatur der Fläche /V	[K]
F_{p-N}	Der Winkelfaktor eines kleinen Flächenelements zur Fläche /V	[K]
Ausgabeparameter		
$t_{r,av}$	Mittlere Strahlungstemperatur	[K]

Modell mittlere Strahlungstemperatur

$$t_{r,av} = [0.08 \cdot (t_{pr}(up) + t_{pr}(down)) + 0.23 \cdot (t_{pr}(right) + t_{pr}(left)) + 0.35 \cdot (t_{pr}(front) + t_{pr}(back))] / [2 \cdot (0.08 + 0.23 + 0.35)]$$

5) Modell Flächenstrahlungstemperatur

$$T_{pr}^4 = T_1^4 \cdot F_{p-1} + T_2^4 \cdot F_{p-2} + \dots + T_N^4 \cdot F_{p-N}$$

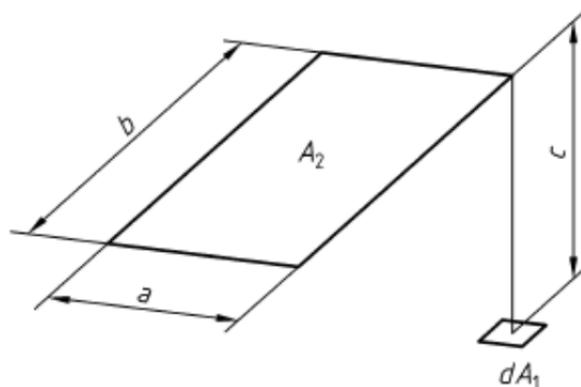
6) Modell Winkelfaktor eines kleinen Flächenelements zur horizontalen Fläche N

$$F_{d1-2} = 1/(2 \cdot \pi) \cdot \{ [X/(1+X^2)^{0.5}] \cdot \tan^{-1} [Y/(1+X^2)^{0.5}] + [Y/(1+Y^2)^{0.5}] \cdot \tan^{-1} [X/(1+Y^2)^{0.5}] \}$$

mit

$$X = a/c$$

$$Y = b/c$$



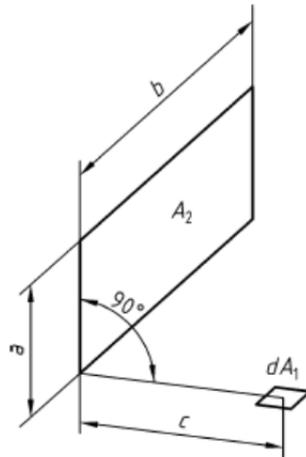
7) Modell Winkelfaktor eines kleinen Flächenelements zur vertikalen Fläche N

$$F_{d_{1-2}} = 1/(2 \cdot \pi) \cdot \{ \tan^{-1}(1/Y) - [Y/(X^2 + Y^2)^{0.5}] \cdot \tan^{-1}[X/(X^2 + Y^2)^{0.5}] \}$$

mit

$$X = a/b$$

$$Y = c/b$$



8) **Prozentsatz an zufriedene (PD) auf Grund der Strahlungstemperaturasymmetrie (aus Flächenstrahlungstemperatur)**

Eingabeparameter		
$t_{pr, front Wall}$	Flächenstrahlungstemperatur (vorne)	[°C]
$t_{pr, back Wall}$	Flächenstrahlungstemperatur (hinten)	[°C]
$t_{pr, right Wall}$	Flächenstrahlungstemperatur (rechts)	[°C]
$t_{pr, left Wall}$	Flächenstrahlungstemperatur (links)	[°C]
$t_{pr, ceiling}$	Flächenstrahlungstemperatur (oben)	[°C]
$t_{pr, floor}$	Flächenstrahlungstemperatur (unten)	[°C]
Ausgabeparameter		
$PD_{warm ceiling}$	PD auf Grund der warmen Decke	[%]
$PD_{cold ceiling}$	PD auf Grund der kalten Decke	[%]
$PD_{warm Wall, fb}$	PD auf Grund der warmen Wand (Vorne/Hinten)	[%]
$PD_{warm Wall, rl}$	PD auf Grund der warmen Wand (Rechts/Links)	[%]
$PD_{cold Wall, fb}$	PD auf Grund der kalten Wand (Vorne/Hinten)	[%]
$PD_{cold Wall, rl}$	PD auf Grund der kalten Wand (Rechts/Links)	[%]

Modell

PD warme Decke

$$PD_{warm ceiling} = (100 / (1 + \exp(2.84 - 0.174 * \Delta t_{pr, cf, warm})) - 5.5$$

Gültigkeitsbereich:

$$0 < t_{pr, ceiling} - t_{pr, floor} < 23$$

PD kalte Decke

$$PD_{cold ceiling} = (100 / (1 + \exp(9.93 - 0.5 * \Delta t_{pr, cf, cold}))$$

Gültigkeitsbereich:

$$0 > t_{pr, ceiling} - t_{pr, floor}$$

PD kalte Wand

$$PD_{cold Wand, fb} = 100 / (1 + \exp(6.61 - 0.345 * \Delta t_{pr, fb}))$$

Gültigkeitsbereich:

$$0 < \Delta t_{pr, fb} < 15$$

PD warme Wand

$$PD_{\text{warm Wand, fb}} = 100 / (1 + \exp(3.72 - 0.052 * \Delta t_{\text{pr, fb}})) - 3.5$$

Gültigkeitsbereich:

$$0 < \Delta t_{\text{pr, fb}} < 35$$

PD (Rechts/Links) - $PD_{\text{cold Wand, rl}}$ und $PD_{\text{warm Wand, rl}}$ - sind gleich wie PD (Vorne/Hinten) gerechnet.

A.4.5 Zugluftrisiko: Draft Rate (DR)

[nach DIN EN ISO 7730]

Eingabeparameter		
$t_{a,l}$	Die lokale Lufttemperatur	[°C]
$v_{a,l}$	Die lokale mittlere Luftgeschwindigkeit	[m/s]
T_u	Der lokale Turbulenzgrad	[%]
Ausgabeparameter		
DR	Draft Rate	[%]
Gültigkeitsbereich		
$t_{a,l}$	20 bis 26	[°C]
$v_{a,l}$	0.05 bis 0.5	[m/s]
T_u	10 bis 60	[%]

Sitzende Tätigkeit (< 1.2met)

Modell

$$DR = \min\{(34 - t_{a,l}) (v_{a,l} - 0.05)^{0.62} (0.37 v_{a,l} T_u + 3.14) ; 100\}$$

mit

$$v_{a,l} < 0.05 \text{ m/s} \rightarrow v_{a,l} = 0.05 \text{ m/s}$$

Bildverzeichnis

Bild 1: Bei der Flächenstrahlungstemperatur wird der Strahlungsaustausch einer Person mit dem entsprechenden einseitigen Halbraum betrachtet. Rechtes Bild: Halbraum der Person für die Flächenstrahlungstemperatur von rechts.	11
Bild 2: Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur aus [11].	15
Bild 3: Komfortraumtemperatur $\theta_{Ra,C}$ (gestrichelte Linie) mit dem zugelassenen Toleranzbereich für die operative Raumtemperatur (durchgezogene Linien) in Abhängigkeit von dem stündlichen Mittel der Außenlufttemperatur. Alle Angaben gelten nur für Räume, in denen die Raumnutzer ihre Bekleidung anpassen können; <i>X aktuelle Außenlufttemperatur in °C, Y operative Raumtemperatur in °C aus „nationaler Anhang“ in [11].</i>	16
Bild 4: Bereich der Komfortraumtemperatur in Abhängigkeit vom stündlichen Mittel der Außentemperatur nach nationalem Anhang (rot) und Komforttemperatur (Kategorie II) in Abhängigkeit vom exponentiell gewichteten gleitenden Mittel der Außentemperatur nach Optionalem Verfahren in DIN EN 15251 (blau).	17
Bild 5: Kumulative Häufigkeit der Außentemperatur nach stündlichem Mittelwert (NA: Nationaler Anhang) und gleitendem Mittelwert (EN) nach DIN EN 15251 in zwei TRY Wetterdatensätzen (Jahr und extremer Sommer) in drei Klimaregionen (TRY 2, TRY13, TRY 12).	18
Bild 6: Akzeptabler Bereich der operativen Temperatur und der Luftfeuchte für Räume (mit 0,2 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,2 met Energieumsatz) nach ASHRAE 55-2004.	23
Bild 7: Kategorie II (-0,5 < PMV < +0,5) für die Räume mit (0,1 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,2 met Energieumsatz).	24
Bild 8: Erklärung der Position in einem Raum (Grundriss, W: 6 m, D: 6 m bei der Beispiel Berechnung in Tabelle 12, nur die vordere Wand ist die kühle bzw. warme Wand, die Oberflächentemperaturen der übrigen Wände sind gleich mit der Lufttemperatur).	28
Bild 9: Verhalten der unterschiedlichen Bewertungskenngrößen für die thermische Langzeitbewertung in Abhängigkeit von der Höhe der Grenztemperatur-überschreitung. (Rot: Verfahren A - Prozentsatz außerhalb des Bereichs; Blau: Verfahren B -	

Gradstundenkriterien nach ISO 7730; Grün: Verfahren B - Gradstundenkriterien nach DIN EN 15251 (aus [31]).	33
Bild 10: Struktur des BNB-Tools Thermischer Komfort.	49
Bild 11: Strahlungstemperatur Eingabe-GUI des BNB-Tools Thermischer Komfort.	51
Bild 12: Ein- und Ausgabe-GUI des BNB-Tools Thermischer Komfort.	51
Bild 13: aus DIN EN ISO 7726.	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der Anwendbarkeit der Kategorien nach DIN EN 15251.	12
Tabelle 2: Zuordnung der Kategorien nach PMV in DIN EN ISO 7730 und DIN EN 15251.	13
Tabelle 3: Operative Temperatur (T_o) Bereiche nach PMV Berechnung abhängig von Energieumsatz mit den Annahmen (Luftgeschwindigkeit (V_a) = 0,1 m/s, relative Feuchte (rH) = 50 %).	14
Tabelle 4: Empfohlene operative Temperaturbereiche für die stündliche Berechnung der Kühl- und Heizenergie für drei Kategorien des Innenraumklimas in DIN EN 15251.	14
Tabelle 5: Die 5 % (438 Stunden) kumulativ höchsten stündlichen und gleitenden Außentemperaturen [$^{\circ}C$] im Jahr bei verschiedenen Wetterdatensätzen.	19
Tabelle 6: Obere zulässige Grenze der operativen Temperatur [$^{\circ}C$] für Kategorie II während der 5 % (438 Stunden) kumulativ höchsten Außentemperatur im Jahr.	19
Tabelle 7: Die 1 % (87 Stunden) kumulativ höchsten stündlichen und gleitenden Außentemperaturen [$^{\circ}C$] im Jahr bei verschiedene Wetterdatensätzen.	19
Tabelle 8: Obere zulässige Grenze der operativen Temperatur [$^{\circ}C$] für Kategorie II während der 1 % (87 Stunden) kumulativ höchsten Außentemperatur im Jahr.	19
Tabelle 9: Empfohlene Auslegungswerte für die relative Feuchte in Aufenthaltsbereichen bei installierten Be- oder Entfeuchtungsanlagen in DIN EN 15251.	25
Tabelle 10: Strahlungstemperaturasymmetrie-Bewertung nach DIN EN ISO 7730: maximal zulässige Unterschiede der Flächenstrahlungstemperatur (Kategorie A und B: basierend auf PD = 5 %).	27
Tabelle 11: Anhaltswerte für minimale und maximale Oberflächentemperatur nach VDI 3804.	28
Tabelle 12: Vorhergesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PD in %) aufgrund Strahlungstemperaturasymmetrie in verschiedenen Positionen und Situationen im Beispielraum mit Anhaltswerten aus der VDI 3804.	29

Tabelle 13: Zulässiger vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken in drei Kategorien nach DIN EN ISO 7730 für sitzende Personen.	30
Tabelle 14: Zusammenstellung der vorhandenen Steckbriefe.	35
Tabelle 15: aktuelle Gewichtung der Teilkriterien.	36
Tabelle 16: Neue Gewichtung der Teilkriterien.	37
Tabelle 17: Mögliche Interpretationen für die Temperaturbereiche für 97% der Nutzungszeit anhand des vorhandenen Steckbriefs (für Winter).	38
Tabelle 18: Mögliche Interpretationen für die Temperaturbereiche für 97% der Nutzungszeit anhand des vorhandenen Steckbriefs für Sommer (für maschinell gekühlte Gebäude).	38
Tabelle 19: Vorgeschlagene Zielwerte der operativen Temperatur für die Zertifizierung in den neuen Steckbriefen.	40
Tabelle 20: Vorgeschlagene zulässige abweichende Gradstunden je nach Qualitätsniveau (Beispiel für 11 Stunden Betrieb (07:00 -18:00) pro Tag) in neuen Steckbriefen.	40
Tabelle 21: Vorgeschlagene zulässige Nachweisverfahren in neuen Steckbriefen.	44
Tabelle 22: Anforderung für die Verglasung je nach Fensterflächenanteil in den vorhandenen Steckbriefen.	46
Tabelle 23: Vorgeschlagene Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur in den neuen Steckbriefen.	47
Tabelle 24: Vorgeschlagene Raumlufffeuchtebewertung in neuen Steckbriefen.	47
Tabelle 25: Bewertungsparameter, Eingabe- sowie Ausgabeparameter des BNB-Tools Thermischer Komfort.	50