



# **FGK**

## **STATUS-REPORT**

# 17

### ***Bewertung des Innenraumklimas***

- ***Thermisches Raumklima***
- ***Raumluftfeuchte***
- ***Außenluftvolumenstrom***
- ***Energieeffizienz***

Eine Informationsschrift des  
FACHVERBANDES GEBÄUDE-KLIMA e. V.

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Vorwort.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Raumklimaparameter in Verordnungen, Normen und Richtlinien .....</b>	<b>4</b>
2.1	Arbeitsstättenverordnung, Arbeitsstättenrichtlinien und Technische Regeln für Arbeitsstätten.....	4
2.1.1	Arbeitsstättenverordnung Anhang 3.4 – Beleuchtung und Sichtverbindung.....	4
2.1.2	Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 – Künstliche Beleuchtung.....	4
2.1.3	Arbeitsstättenverordnung Abschnitt 3.5 – Raumtemperatur .....	5
2.1.4	Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 – Raumtemperatur .....	5
2.1.5	Arbeitsstättenverordnung Abschnitt 3.6 – Lüftung.....	7
2.1.6	Arbeitsstättenrichtlinie ASR 5 – Lüftung .....	7
2.2	Energieeinsparverordnung .....	9
2.2.1	Fensterbelüftetes, nicht gekühltes Gebäude .....	9
2.2.2	Fensterbelüftetes Gebäude mit Kühlung .....	10
2.2.3	Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage ohne Kühlung .....	10
2.2.4	Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage mit Kühlung .....	10
2.2.5	Gebäude mit Lüftungsanlage mit Kühlung und Be- und Entfeuchtung .....	10
2.3	Europäische Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden .....	12
2.3.1	DIN EN 15251 – Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden .....	12
2.4	Anlagentechnische Randbedingungen.....	14
2.5	Leistungsfähigkeit des Menschen in Abhängigkeit vom Raumklima.....	14
2.6	Akustik.....	16
<b>3.</b>	<b>Bewertung des Innenraumklimas .....</b>	<b>17</b>
3.1	Parameter für die Bewertung des Innenraumklimas.....	17
3.1.1	Raumtemperatur.....	17
3.1.2	Individuelle Raumtemperaturregelung.....	18
3.1.3	Raumluftfeuchte .....	18
3.1.4	Hedonische Bewertung der Raumluftqualität .....	19
3.1.5	Kühllasten.....	20
3.2	Checkliste Innenraumklima .....	21
3.3	Bewertung und Gewichtung der Parameter.....	21
<b>4.</b>	<b>Hilfsmittel für die Bewertung.....</b>	<b>23</b>
4.1	Behaglichkeitsparameter .....	23
4.1.1	Temperaturen der Oberflächen und Temperaturgradienten .....	23
4.1.2	Zugluftrate .....	24
4.2	Raumluftfeuchtigkeit .....	26
<b>5.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>27</b>

Redaktion:

Prof. Dr. Runa Tabea Hellwig

Dipl.-Ing. Claus Händel

**2. Auflage November 2011**

## 1. Vorwort

Durch die aktuellen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind die CO<sub>2</sub>-Bilanz und die Energiekosten eines Gebäudes von herausragender Bedeutung für den Planungsprozess. Gesetzgeber, Bauherren und Nutzer stellen hierzu klare Forderungen, und weitere Verschärfungen sind hier für die nächsten Jahre schon angekündigt. Im Grunde gelten diese Forderungen gleichrangig für neue Gebäude und die Sanierung von Bestandsgebäuden.

Es bleibt jedoch anzumerken, dass bei der Planung hinsichtlich geringen Energiebedarfs die Sicherstellung der wesentlichen Parameter für Hygiene, Raumklima, Innenraumluftqualität und Behaglichkeit beachtet werden muss. Dies ist leider nicht immer gewährleistet, da die derzeitigen öffentlich-rechtlichen Bewertungsverfahren einen einseitigen Fokus auf den Energiebedarf legen. So herrscht in Deutschland leider noch in vielen Köpfen die Vorstellung, dass die Sicherstellung von 20 °C Raumlufttemperatur in der Heizperiode die für die Planung ausreichende Zielgröße ist. Die Anforderungen der Nutzer werden hier kaum mehr hinterfragt und Probleme bei der Luftqualität sind vorgezeichnet.

Das Innenraumklima beeinflusst wesentlich Gesundheit, Produktivität und Behaglichkeit der Nutzer. Verschiedene Studien zeigen, dass die Kosten für die Behebung von Problemen im Zusammenhang mit schlechtem Innenraumklima für den Arbeitgeber, den Gebäudeeigentümer und die Gesellschaft oft höher sind als die Energiekosten der betreffenden Gebäude. Auch konnte nachgewiesen werden, dass eine geeignete Qualität des Innenraumklimas die Gesamtleistung beim Arbeiten und Lernen verbessert und Fehltag verringern kann.

Darüber hinaus versuchen Personen, die sich in einem unbehaglichen Umgebungsklima aufhalten müssen, oftmals sich selbst weiterzuhelfen. Die gewählten Abhilfemaßnahmen können sich auf den Energieverbrauch des Gebäudes ungünstig auswirken. Beispiele sind:

- ständig geöffnete Fenster wegen ungenügender Lüftung oder sogar zur Temperaturregelung,
- elektrische Heizlüfter,
- mobile Klimageräte,
- Ventilatoren und
- mobile Luftbefeuchter.

Die in diesem FGK-STATUS-REPORT gemachten Aussagen gelten vorzugsweise für sitzende Tätigkeiten, wie sie üblicherweise in Büros vorkommen. Für ähnliche Nutzungen können diese Aussagen sinngemäß übertragen werden.

## 2. Raumklimaparameter in Verordnungen, Normen und Richtlinien

Eindeutig ist in Deutschland bisher bezüglich der Raumtemperaturen lediglich der Heizfall mit den zugehörigen Mindesttemperaturen geregelt. Es gibt Gerichtsurteile, die auch eine obere Begrenzung der Raumtemperatur auf zum Beispiel 26 °C fordern, aber die Verallgemeinerung dieser Randbedingungen ist in der Fachwelt umstritten. Festzuhalten bleibt jedoch folgendes:

**Der Planer hat die Verantwortung bezüglich der sommerlichen Maximaltemperaturen. Er muss auf die Konsequenzen hinweisen und mit dem Bauherren darüber eine Vereinbarung treffen** (siehe hierzu FGK-STATUS-REPORT Nr. 12 – Verantwortung des Architekten in der Frage der Raumlufttemperatur).

Der Planer hat insbesondere auf die gesetzlichen Anforderungen und den aktuellen Stand der Technik hinzuweisen. Alle Parameter sind in den entsprechenden Verträgen für alle Beteiligten klar zu dokumentieren.

Es ist im Planungsprozess und während der Bau- und Inbetriebnahmephase sicherzustellen, dass die notwendigen und vereinbarten planerischen Randbedingungen zur Einhaltung der Behaglichkeitskriterien auch umgesetzt werden.

### 2.1 Arbeitsstättenverordnung, Arbeitsstättenrichtlinien und Technische Regeln für Arbeitsstätten

Die **Arbeitsstättenverordnung** (12.8.2004) [5] dient der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten.

Die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung, der Arbeitsstättenrichtlinien und der Technischen Regeln für Arbeitsstätten definieren die Mindestanforderungen hinsichtlich des Gesundheitsschutzes. Die Einhaltung von Behaglichkeitsparametern ist in diesen Richtlinien nicht geregelt. Im Allgemeinen gehen die Anforderungen an die Behaglichkeit darüber hinaus.

Die **Arbeitsstättenrichtlinien bzw. Technischen Regeln für Arbeitsstätten** [6], **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, [8] und [9] detaillieren die in der Verordnung genannten Parameter. Die wichtigsten Aspekte mit Hinweisen für die Bewertung des Innenraumklimas werden im Folgenden dargestellt.

#### 2.1.1 Arbeitsstättenverordnung Anhang 3.4 – Beleuchtung und Sichtverbindung

Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein.

Die Beleuchtungsanlagen sind so auszuwählen und anzuordnen, dass sich dadurch keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren ergeben können.

Arbeitsstätten, in denen die Beschäftigten bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Unfallgefahren ausgesetzt sind, müssen eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung haben.

#### 2.1.2 Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 – Künstliche Beleuchtung

Die Leuchten sind so anzuordnen und auszuwählen, dass mindestens die in der Richtlinie genannten Nennbeleuchtungsstärken ( $E_n$ ) erreicht werden. Für Neuanlagen gilt in der Regel ein Planungsfaktor von  $1,25 E_n$ ; die mittlere Beleuchtungsstärke älterer Anlagen muss min-

destens  $0,8 E_n$  betragen und an keinem Arbeitsplatz darf die Beleuchtungsstärke  $0,6 E_n$  unterschreiten. In der Richtlinie nicht aufgeführte Räume bzw. Tätigkeiten sind sinngemäß einzuordnen. An ständig besetzten Arbeitsplätzen in Räumen ist eine Nennbeleuchtungsstärke von mindestens 200 lx vorzusehen, es sei denn, dass betriebliche oder physiologisch-optische Gründe eine Abweichung erfordern. Bei der Bemessung und Anordnung der Leuchten ist zu berücksichtigen, dass die Nennbeleuchtungsstärke ein Mittelwert ist:

- in Bezug auf die Abnahme der Helligkeit (Beleuchtungsstärke) durch Alterung und Verschmutzung,
- in Bezug auf die Helligkeitsverteilung im Raum.

Weiterhin gilt:

- die Leuchten sind so anzuordnen, dass sich eine ausreichend gleichmäßige Beleuchtung der Räume ergibt,
- in einzelnen Fällen sind zusätzliche Leuchten direkt an einzelnen Arbeitsplätzen zweckmäßig, z. B. bei sehr schwierigen Sehaufgaben,
- die Leuchten und die Lampen sind so auszuwählen, dass keine Verfälschung der Farben – insbesondere der Sicherheitsfarben – auftritt,
- die Leuchten sind so auszuwählen und so anzuordnen, dass keine Blendung auftritt oder diese gering gehalten wird.

### 2.1.3 Arbeitsstättenverordnung Abschnitt 3.5 – Raumtemperatur

In Arbeits-, Pausen-, Bereitschafts-, Sanitär-, Kantinen- und Erste-Hilfe-Räumen, in denen aus betriebstechnischer Sicht keine spezifischen Anforderungen an die Raumtemperatur gestellt werden, muss während der Arbeitszeit unter Berücksichtigung der Arbeitsverfahren, der körperlichen Beanspruchung der Beschäftigten und des spezifischen Nutzungszwecks des Raumes eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur bestehen. Fenster, Oberlichter und Glaswände müssen je nach Art der Arbeit und der Arbeitsstätte eine Abschirmung der Arbeitsstätten gegen übermäßige Sonneneinstrahlung ermöglichen.

### 2.1.4 Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 – Raumtemperatur

Die technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 (Ausgabe Juni 2010) definieren die Anforderungen an die Raumtemperatur konkreter. Danach muss die Lufttemperatur in Arbeitsräumen in Abhängigkeit von der Arbeitsbelastung und Körperhaltung mindestens den Werten in Tabelle 2-1 entsprechen, darf aber  $+26\text{ °C}$  nicht überschreiten. Diese Mindestwerte nach Tabelle 2-1 sind während der gesamten Arbeitszeit zu gewährleisten. Gelingt dies trotz Ausschöpfung der technischen Möglichkeiten nicht, ist der Schutz gegen zu niedrige Temperaturen in folgender Reihenfolge sicherzustellen durch:

- zusätzliche arbeitsplatzbezogene technische Maßnahmen (z. B. Wärmestrahlungshemmung oder Heizmatten)
- organisatorische Maßnahmen (z. B. Aufwärmzeiten) oder
- personenbezogene Maßnahmen (z. B. geeignete Kleidung)



Überwiegende Körperhaltung	Arbeitsbelastung		
	leicht	mittel	schwer
Sitzen	+20 °C	+19 °C	-
Stehen und/oder Gehen	+19 °C	+17 °C	+12 °C

Tabelle 2-1: Mindestwerte der Lufttemperatur in Arbeitsräumen

Grad der Arbeitsbelastung	Beispiele
leicht	leichte Hand-/Armarbeit bei ruhigem Sitzen bzw. Stehen, verbunden mit gelegentlichem Gehen
mittel	mittelschwere Hand-/Arm- oder Beinarbeit im Sitzen, Gehen oder Stehen
schwer	schwere Hand-/Arm-, Bein- oder Rumpfarbeit im Gehen oder Stehen

Tabelle 2-2: Einteilung der Grade der Arbeitsbelastung

In Pausen-, Bereitschafts-, Sanitär-, Kantinen- und Erste-Hilfe-Räumen muss während der Nutzungsdauer eine Lufttemperatur von mindestens +21 °C herrschen.

Ist die Außentemperatur höher als +26 °C und übersteigt zugleich die Raumtemperatur diese Marke ebenfalls, **sollen** zusätzliche Maßnahmen (z. B. nach Tabelle 2-3) ergriffen werden. Beim Überschreiten einer Innentemperatur von +30 °C **müssen** wirksame Maßnahmen gemäß Gefährdungsbeurteilung (Tabelle 2-3) ergriffen werden, die die Beanspruchung der Beschäftigten reduzieren. Dabei gehen technische und organisatorische gegenüber personenbezogenen Maßnahmen vor.

a)	effektive Steuerung des Sonnenschutzes (z. B. Jalousien auch nach der Arbeitszeit geschlossen halten)
b)	effektive Steuerung der Lüftungseinrichtungen (z. B. Nachtauskühlung)
c)	Reduzierung der inneren thermischen Lasten (z. B. elektrische Geräte nur bei Bedarf betreiben)
d)	Lüftung in den frühen Morgenstunden
e)	Nutzung von Gleitzeitregelungen zur Arbeitszeitverlagerung
f)	Lockerung der Bekleidungsregelungen
g)	Bereitstellung geeigneter Getränke (z. B. Trinkwasser)

Tabelle 2-3: Beispielhafte Maßnahmen bei Raumtemperatur über + 26 °C

Wird in einem Raum eine Lufttemperatur von +35 °C überschritten, so ist dieser für die Zeit der Überschreitung ohne:

- technische Maßnahmen (z. B. Luftduschen oder Wasserschleier),
- organisatorische Maßnahmen (z. B. Entwärmungsphasen) oder
- persönliche Schutzausrüstungen (z. B. Hitzeschutzkleidung)

wie bei Hitzearbeit nicht als Arbeitsraum geeignet. In allen Fällen gilt, dass technische Maßnahmen, die die Lufttemperatur reduzieren, die absolute Luftfeuchte nicht erhöhen dürfen.

### **2.1.5 Arbeitsstättenverordnung Abschnitt 3.6 – Lüftung**

In umschlossenen Arbeitsräumen muss unter Berücksichtigung der Arbeitsverfahren, der körperlichen Beanspruchung und der Anzahl der Beschäftigten sowie der sonstigen anwesenden Personen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein.

Ist für das Betreiben von Arbeitsstätten eine raumluftechnische Anlage erforderlich, muss diese jederzeit funktionsfähig sein. Eine Störung muss durch eine selbsttätige Warneinrichtung angezeigt werden. Es müssen Vorkehrungen getroffen sein, durch die die Beschäftigten im Fall einer Störung gegen Gesundheitsgefahren geschützt sind. Werden Klimaanlage oder mechanische Belüftungseinrichtungen verwendet, ist sicherzustellen, dass die Beschäftigten keinem störenden Luftzug ausgesetzt sind.

Ablagerungen und Verunreinigungen in raumluftechnischen Anlagen, die zu einer unmittelbaren Gesundheitsgefährdung durch die Raumluf führen können, müssen umgehend beseitigt werden.

### **2.1.6 Arbeitsstättenrichtlinie ASR 5 – Lüftung**

Ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft ist in Arbeitsräumen dann vorhanden, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht, es sei denn, dass außergewöhnliche Umstände die Außenluftqualität beeinträchtigen. Außergewöhnliche Umstände sind z. B.: enge, sehr verkehrsreiche Straßen in Tallage ohne ausreichend regelmäßige Windbewegungen oder unmittelbare Nähe von Produktionsanlagen mit starker Geruchsbelastung. Extreme Witterungsverhältnisse sind dabei nicht zu berücksichtigen.

Besteht die Gefahr, dass die MAK-Werte nicht eingehalten werden können, sind besondere Maßnahmen vorzusehen, z. B. Absaugungen (s. § 14 ArbStättV).

## Freie Lüftung

Die ASR 5 definiert notwendige Lüftungsquerschnitte für die freie Lüftung in Abhängigkeit von Wirkprinzip und Raumgruppen:

Raumgruppe A	Arbeitsräume mit Arbeitsplätzen für überwiegend sitzende Tätigkeit
Raumgruppe B	Arbeitsräume mit Arbeitsplätzen für überwiegend nicht sitzende Tätigkeit, Verkaufsräume, Friseurräume und vergleichbare Räume
Raumgruppe C	Arbeitsräume mit Arbeitsplätzen für: <ul style="list-style-type: none"><li>• überwiegend sitzende und nicht sitzende Tätigkeit, wobei im Raum betriebsbedingt mit starker Geruchsbelästigung, z. B. durch geruchsintensive Ware, Arbeitsstoffe usw., zu rechnen ist</li><li>• schwere körperliche Arbeit</li></ul>

Tabelle 2-4: Raumgruppen

## Lüftungstechnische Anlagen

Lüftungstechnische Anlagen sind erforderlich, wenn eine freie Lüftung entsprechend nicht möglich ist, insbesondere wenn:

- die Größe der Räume entgegensteht,
- die Lage der Räume entgegensteht, z. B. Tieflage (Fußboden tiefer als 2 m unter der festgelegten Geländeoberfläche) oder umliegende Bebauung,
- eine besondere Nutzung vorliegt (z. B. Arbeitsräume ohne Fenster oder Oberlichter, hohe innere Wärmelast, Gefahr des Überschreitens der MAK-Werte).

Als Außenluftstrom sind zugrunde zu legen:

- 20–40 m<sup>3</sup>/h Person bei überwiegend sitzender Tätigkeit,
- 40–60 m<sup>3</sup>/h Person bei überwiegend nicht sitzender Tätigkeit,
- über 65 m<sup>3</sup>/h Person bei schwerer körperlicher Arbeit.

Zum jeweiligen unteren Wert für den Außenluftstrom sind für zusätzliche Belastungen der Raumluft, z. B. durch belästigende Gerüche, hohe Wärmelast usw., zusätzliche Außenluftmengen vorzusehen. Dabei entspricht der Belastung durch intensive Geruchsverschlechterung ein Außenluftvolumenstrom von 20 m<sup>3</sup>/h Person.

Für Arbeitsräume mit Publikumsverkehr soll eine Personenbesetzung von 0,2 bis 0,3 Personen/m<sup>2</sup> Bodenfläche zugrunde gelegt werden.

Die Außenluftströme können bei Außentemperaturen über 26 °C bis 32 °C und unter 0 °C bis -12 °C um höchstens 50 % linear vermindert werden.



## Raumluftgeschwindigkeit

Die Lüftungstechnischen Anlagen sind so auszulegen, dass an den Arbeitsplätzen keine unzumutbare Zugluft auftritt. Zuglufterscheinungen sind vorwiegend von der Temperatur der Luft, der Luftgeschwindigkeit und der Art der Tätigkeit (d. h. Wärmeerzeugung durch körperliche Arbeit) abhängig. Bis zu einer Temperatur von 20 °C tritt bei einer Luftgeschwindigkeit unter 0,2 m/s üblicherweise keine Zugluft auf.

## Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit soll nachstehende Werte nicht überschreiten:

Lufttemperatur [°C]	relative Luftfeuchtigkeit [%]
20	80 <sup>1</sup>
22	70
24	62
26	55

Tabelle 2-5: Luftfeuchtigkeit nach Arbeitsstättenrichtlinie

## Luftreinigung

Bei Lüftungstechnischen Anlagen ist die Zuluft (Außenluft/Umluft) vor der Zuführung in die zu lüftenden Räume durch Luftfilter zu reinigen. Die Auswahl der Filter richtet sich nach der Art, Konzentration und Teilchengrößenverteilung der abzuscheidenden Stoffe. Im Regelfall sind für die technische Lüftung Luftfilter der Güteklasse B1 (entspricht G2) ausreichend. Bei erhöhten Anforderungen an die Reinheit der Zuluft können Filter der Güteklasse B2 (G3 bis F5), ggf. kombiniert mit Filtern der Klasse C (F6 bis F8), erforderlich werden. Es sind ausschließlich typgeprüfte Filter nach DIN EN 779 einzusetzen.

## 2.2 Energieeinsparverordnung

In Deutschland wird im Rahmen der EnEV 2009 im Zusammenhang mit den einzuhaltenden Energiebedarfsausweisen auf die DIN V 18599 verwiesen. Dabei wird ein so genanntes Referenzverfahren angewandt. Wenn man von der Forderung ausgeht, dass der einzuhaltende Raumkomfort in die Bewertung einfließen muss, dann müssen Referenzgebäude und tatsächliches Gebäude im Hinblick auf diese Behaglichkeitsparameter gleichwertig sein. Was dies für die Praxis des Referenzverfahrens nach DIN V 18599 bezüglich der vorhandenen technischen Gebäudeausrüstung bedeutet, wird nachfolgend beschrieben.

### 2.2.1 Fensterbelüftetes, nicht gekühltes Gebäude

- Minimale Raumtemperatur nach DIN V 18599, Teil 10, und keine Begrenzung nach oben
- Referenzanlagentechnik: Heizungstechnik
- Mindestaußenluftvolumenstrom nach DIN V 18599, Teil 10, Tabelle 4

<sup>1</sup> Neuere Forschungsergebnisse begrenzen das lokale Maximum in Abhängigkeit vom Baustandard zur Schimmelpilzvermeidung auf ca. 70 %

## 2.2.2 Fensterbelüftetes Gebäude mit Kühlung

- Minimale und maximale Raumtemperatur nach DIN V 18599, Teil 10
- Referenzanlagentechnik: Klimakältetechnik
- Mindestaußenluftvolumenstrom nach DIN V 18599, Teil 10, Tabelle 4

## 2.2.3 Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage ohne Kühlung

- Minimale Raumtemperatur nach DIN V 18599, Teil 10, und keine Begrenzung nach oben
- Referenzanlagentechnik: Heizungs- und Lüftungstechnik
- Mindestaußenluftvolumenstrom nach DIN V 18599, Teil 10, Tabelle 4
- Sofern die Belegungsdichten von den Werten nach DIN V 18599, Teil 10, abweichen, sind die Außenluftvolumenströme im Referenzfall nach planerischen Gesichtspunkten festzulegen (im informativen Anhang A finden sich Angaben in  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pers})$ )

## 2.2.4 Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage mit Kühlung

- Minimale und maximale Raumtemperatur nach DIN V 18599, Teil 10
- Referenzanlagentechnik: Heizungs-, Lüftungs- und Klimakältetechnik
- Mindestaußenluftvolumenstrom nach DIN V 18599, Teil 10, Tabelle 4
- Sofern die Belegungsdichten von den Werten nach DIN V 18599, Teil 10, abweichen, sind die Außenluftvolumenströme im Referenzfall nach planerischen Gesichtspunkten festzulegen. (Im informativen Anhang A finden sich Angaben in  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pers})$ ).

## 2.2.5 Gebäude mit Lüftungsanlage mit Kühlung und Be- und Entfeuchtung

- Minimale und maximale Raumtemperatur nach DIN V 18599, Teil 10
- Referenzanlagentechnik: Lüftung, Befeuchtung und Klimakältetechnik
- Mindestaußenluftvolumenstrom nach DIN V 18599, Teil 10, Tabelle 4
- Sofern die Belegungsdichten von den Werten nach DIN V 18599, Teil 10, abweichen, sind die Außenluftvolumenströme im Referenzfall nach planerischen Gesichtspunkten festzulegen. (Im informativen Anhang A finden sich Angaben in  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pers})$ ).

Die EnEV 2009 ist dem Grundsatz des Referenzverfahrens bis auf die folgenden Ausnahmen gefolgt. Für die Nutzungsarten:

- Büro (Nutzungsarten 1–3),
- Klassenzimmer (Nutzungsart 8),
- Bettzimmer (Nutzungsart 10),
- WC, Neben- und Verkehrsflächen (Nutzungsarten 16–20),
- Turnhallen (Nutzungsart 31),

darf im Referenzfall der Kühlbedarf nur zu 50 % angesetzt werden. Bei der Veränderung von bestehenden Gebäuden und bei der Erstellung von Energieausweisen kann der Referenzwert mit Kühlung jedoch als Vergleichswert verwendet werden.

In der Praxis müssen demnach voraussichtlich im Energieausweis von klimatisierten Bürogebäuden drei Kennwerte aufgeführt werden:

- Referenzbedarf ohne Kühlung,
- Referenzbedarf mit Kühlung und
- berechneter Bedarf.

Einfacher, ausgewogener und transparenter wäre in jedem Fall die Anrechnung der Werte nach planerischen Grundsätzen, da schon die Frage, ob eine Raumkühlung notwendig, gefordert oder sinnvoll ist, nicht mit den Instrumenten EnEV und DIN V 18599 beantwortet werden kann. Gleiches gilt auch für die einzuhaltenden Außenluftvolumenströme.

Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass mit den Methoden der EnEV und der DIN V 18599 eine Bewertung der Behaglichkeitsparameter nicht möglich ist.

### Raumlufttemperaturen nach DIN V 18599

Die Raumtemperatur-Sollwerte Heizung und Kühlung sind die jeweiligen Sollwerte als Monatsmittelwerte (Tabelle 2-6). Diese Werte sind nicht mit den jeweiligen tatsächlich einzuhaltenden oder geplanten Temperaturen zu verwechseln. Sie beziehen sich lediglich auf die Mittelwerte im Rahmen der rechnerischen Bilanz nach DIN V 18599.

Raum-Solltemperatur Heizung $\vartheta_{i,h,soll}$	21 °C
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $\Delta\vartheta_{i,NA}$	4 K
Raum-Solltemperatur Kühlung $\vartheta_{i,c,soll}$	24 °C
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $\vartheta_{i,h,min}$	20 °C
Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\vartheta_{i,c,max}$	26 °C

Tabelle 2-6: Raum-Bilanztemperaturen nach DIN V 18599

### Raumluftfechtigkeiten nach DIN V 18599

Das Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599 berücksichtigt nicht die Raumluftfeuchtigkeit. Im Rahmen der Berechnung des Nutzenergieaufwandes der Außenluftaufbereitung wird der Energieaufwand bis zur Erreichung einer festgelegten absoluten Zulufffeuchte berechnet. Der zugehörige Abluftzustand ist festgelegt.

Dieses Verfahren ist nicht dazu geeignet, die tatsächlichen oder planerischen Auslegungswerte für die Raumluftfechtigkeiten festzulegen oder zu bewerten. Es ist lediglich dazu geeignet, einen Referenzenergiebedarf für die festgelegten Fälle aufzuzeigen.

	Zuluft x [g/kg <sub>tr.Luft</sub> ]		Abluft x [g/kg <sub>tr.Luft</sub> ]	
	Befeuchtung	Entfeuchtung	Befeuchtung	Entfeuchtung
Keine Feuchteanforderung	$x_{Außenluft}$	$x_{Außenluft}$	1,0	12,0
Feuchteanforderung mit Toleranz	6,0	10,0	6,0	11,0
Feuchteanforderung ohne Toleranz	8,0	8,0	8,0	8,0

Tabelle 2-7: Raum-Bilanzfeuchten nach DIN V 18599

## 2.3 Europäische Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Artikel 1 der European Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) fordert, dass in den Methoden zum Nachweis der Gesamtenergieeffizienz die jeweiligen außenklimatischen Anforderungen sowie die Anforderungen an das Innenraumklima Berücksichtigung finden. Dies bedeutet, dass die für den Raumkomfort und die Behaglichkeit wichtigen Größen Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte und die Raumluftqualität (in der Praxis meist der Außenluftvolumenstrom) bei der energetischen Bewertung von Gebäuden gleichrangig betrachtet werden müssen. Dieser Umstand wurde im Rahmen der mandatierten CEN-Normung zur EPBD schon frühzeitig berücksichtigt und im Rahmen der DIN EN 15251 umgesetzt.

### 2.3.1 DIN EN 15251 – Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden

Die DIN EN 15251 „Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“ vom August 2007 gibt Empfehlungen, wie die Parameter des Innenraumklimas im Zusammenhang mit energetischen Aspekten dargestellt werden können.

Der Energieverbrauch von Gebäuden hängt in erheblichem Maße vom Entwurf für das Innenraumklima (Temperatur, Lüftung und Beleuchtung) und den für den Betrieb des Gebäudes geltenden Kriterien ab. Eine Deklaration des Energieverbrauchs oder Energiebedarfs im Rahmen eines Energieausweises ist ohne eine Deklaration zum Innenraumklima sinnlos. Zu diesem Zweck existieren nationale und internationale Normen sowie technische Berichte, die Kriterien für die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität festlegen (EN ISO 7730, CR 1752). Diese Normen definieren verschiedene Parameter, die einen erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf haben können.

Die DIN EN 15251 legt fest, wie diese Auslegungskriterien für die Anlagendimensionierung erstellt und verwendet werden können. Darüber hinaus definiert sie die Hauptparameter, die als Eingangswerte für die Gebäudeenergieberechnung und die Langzeitbewertung des Innenraumklimas verwendet werden können. Schließlich benennt diese Norm Parameter, die zur Überwachung des Innenraumklimas entsprechend der europäischen Energieeffizienzrichtlinie zu verwenden sind.

Erstmalig definiert die DIN EN 15251 auch zulässige Temperaturen für Gebäude ohne maschinelle Kühlung (Abbildung 2-1). Analog definiert die Norm notwendige Lüftungsraten (Außenluftvolumenstrom) in Abhängigkeit von der Personenanzahl (Tabelle 2-8) und den Gebäudeemissionen (Tabelle 2-9).

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Norm hierzu keine verbindlichen Aussagen trifft, da die einzuhaltenden Randbedingungen lediglich beispielhaft dargestellt sind. Nationale Normen und Vorschriften haben Vorrang. Sie entbinden den Planer jedoch nicht von der Pflicht, diese Randbedingungen zu definieren und sie dem Nutzer, Eigner oder Betreiber des Gebäudes sowie auch den ausführenden Fachfirmen zu nennen. Dies ist ein sehr wichtiger Aspekt für die zukünftige Planung von Gebäuden.

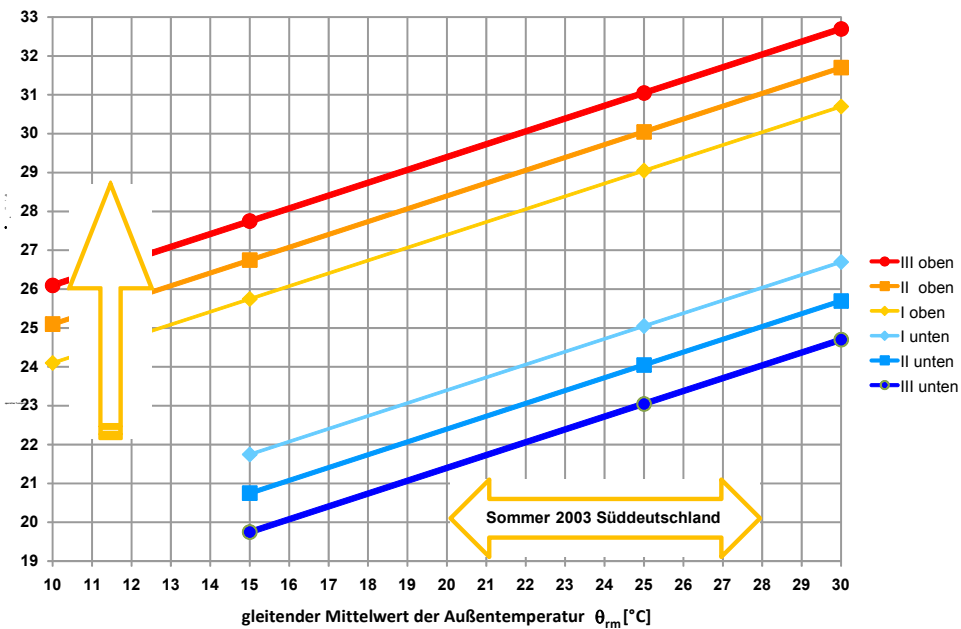


Abbildung 2-1: Auslegungswerte für die operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage über dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur

Kategorie	Beschreibung	Erwarteter Prozentsatz Unzufriedener [%]	Luftstrom je Person [m <sup>3</sup> /h]
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	15	36
II	Normales Maß an Erwartungen; empfohlen für neue und renovierte Gebäude	20	25,2
III	Annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewandt werden	30	14,4
IV	Werte außerhalb der Kategorien I bis III; sollte nur einen begrenzten Teil des Jahres angewandt werden	> 30	< 14,4

Tabelle 2-8: Lüftungsdaten für Personen nach DIN EN 15251

Emission	Sehr schadstoffarme Gebäude	Schadstoffarme Gebäude	Nicht schadstoffarme Gebäude
Flüchtige organische Verbindungen TVOC	< 0,1 mg/(m <sup>2</sup> · h)	<b>&lt; 0,2 mg/(m<sup>2</sup> · h)</b>	> 0,2 mg/(m <sup>2</sup> · h)
Formaldehyd	< 0,02 mg/(m <sup>2</sup> · h)	<b>&lt; 0,05 mg/(m<sup>2</sup> · h)</b>	> 0,05 mg/(m <sup>2</sup> · h)
Ammoniak	< 0,01 mg/(m <sup>2</sup> · h)	<b>&lt; 0,03 mg/(m<sup>2</sup> · h)</b>	> 0,03 mg/(m <sup>2</sup> · h)
Krebserregende Verbindungen	< 0,002 mg/(m <sup>2</sup> · h)	<b>&lt; 0,005 mg/(m<sup>2</sup> · h)</b>	> 0,005 mg/(m <sup>2</sup> · h)
Unzufriedenheit in Bezug auf Geruch	< 10 %	<b>&lt; 15 %</b>	> 15 %

Tabelle 2-9: Definition von Gebäuden bzgl. ihrer Emissionen aus Baustoffen nach DIN EN 15251 – für die Betrachtungen in diesem FGK Status-Report wird das schadstoffarme Gebäude als Referenz verwendet.

Kategorie	Sehr schadstoffarme Gebäude	Schadstoffarme Gebäude	Nicht schadstoffarme Gebäude
I	1,80 m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )	<b>3,60 m<sup>3</sup>/(h · m<sup>2</sup>)</b>	7,20 m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )
II	1,26 m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )	<b>2,52 m<sup>3</sup>/(h · m<sup>2</sup>)</b>	5,04 m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )
III	1,08 m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )	<b>1,44 m<sup>3</sup>/(h · m<sup>2</sup>)</b>	2,88 m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )

Tabelle 2-10: Lüftungsraten für Gebäude – für die Betrachtungen in diesem FGK-STATUS-REPORT wird das schadstoffarme Gebäude als Referenz verwendet.

## 2.4 Anlagentechnische Randbedingungen

Die DIN EN 13779 beschreibt die anlagentechnischen Randbedingungen zur Einhaltung eines behaglichen Raumklimas. Für die Bewertung wird die Einhaltung dieser Norm vorausgesetzt (Definition der anlagentechnischen Randbedingungen).

Ebenfalls wird die Einhaltung der VDI 6022 „Hygiene in RLT-Anlagen“ als eine wesentliche Grundlage der Behaglichkeit vorausgesetzt.

In der VDI 3804 sind ergänzende Hinweise für die Planung und die Darstellung von System- und Anlagenvergleichen enthalten.

## 2.5 Leistungsfähigkeit des Menschen in Abhängigkeit vom Raumklima

Bisher wurde in der Regel postuliert, dass in Räumen, in denen Komfort erreicht wird, auch ein für eine Leistungserbringung optimales raumklimatisches Arbeitsumfeld herrscht. Verschiedene Studien zur menschlichen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der verschiedenen Behaglichkeitsparameter zeigen oftmals uneinheitliche Ergebnisse. Der Grund dafür liegt wesentlich in den Verfahren zur Ermittlung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit, die sich sehr stark unterscheiden. Die Studie „Menschliche Behaglichkeit in Innenräumen und deren Einfluss auf die Produktivität am Arbeitsplatz“ [13] ist eine systematische Sammlung verschiedener Studien zu diesem Thema. Betrachtet wurden Untersuchungen von Romm und Browning (1994), Wargocki et al. (2004), Djukanovic et al. (2002), West Bend Mutual Insurance Company (1991), welche als reale Studien u. a. in Büros und Call-Centern durchgeführt wurden, sowie Studien von Wargocki et al. (1999, 2000), Bako-Biro et al. (2004), Fang et al. (2004), und Sakr et al. (2006), die als quasi-reale Experimente mit simu-



lierter Büroarbeit durchgeführt wurden. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Produktivität von Büromitarbeitern gesteigert werden kann, wenn auf ein gutes Raumklima Wert gelegt wird, was auch von den Berufsgenossenschaften (Fachausschuss Einwirkungen und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren, 2005) gefordert wird. Verschiedene Studien schreiben auch der Möglichkeit der Nutzer, „ihr“ Raumklima zu beeinflussen, einen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit zu.

Die BG-Information “Beurteilung des Raumklimas“ [12] richtet sich an kleine und mittlere Unternehmen, um auf eine einfache Weise eine mögliche Belastung durch das thermische Raumklima festzustellen und zu bewerten (Abbildung 2-2). Ziel ist das Erkennen und Beseitigen oder Verringern von raumklimatischen Problemen. Nach dem Arbeitsschutzgesetz ist es zudem Aufgabe des Arbeitgebers, die Gefährdungen am Arbeitsplatz zu beurteilen. Dabei sind auch die so genannten Arbeitsumgebungsfaktoren zu berücksichtigen, wozu unter anderem das Raumklima zählt.

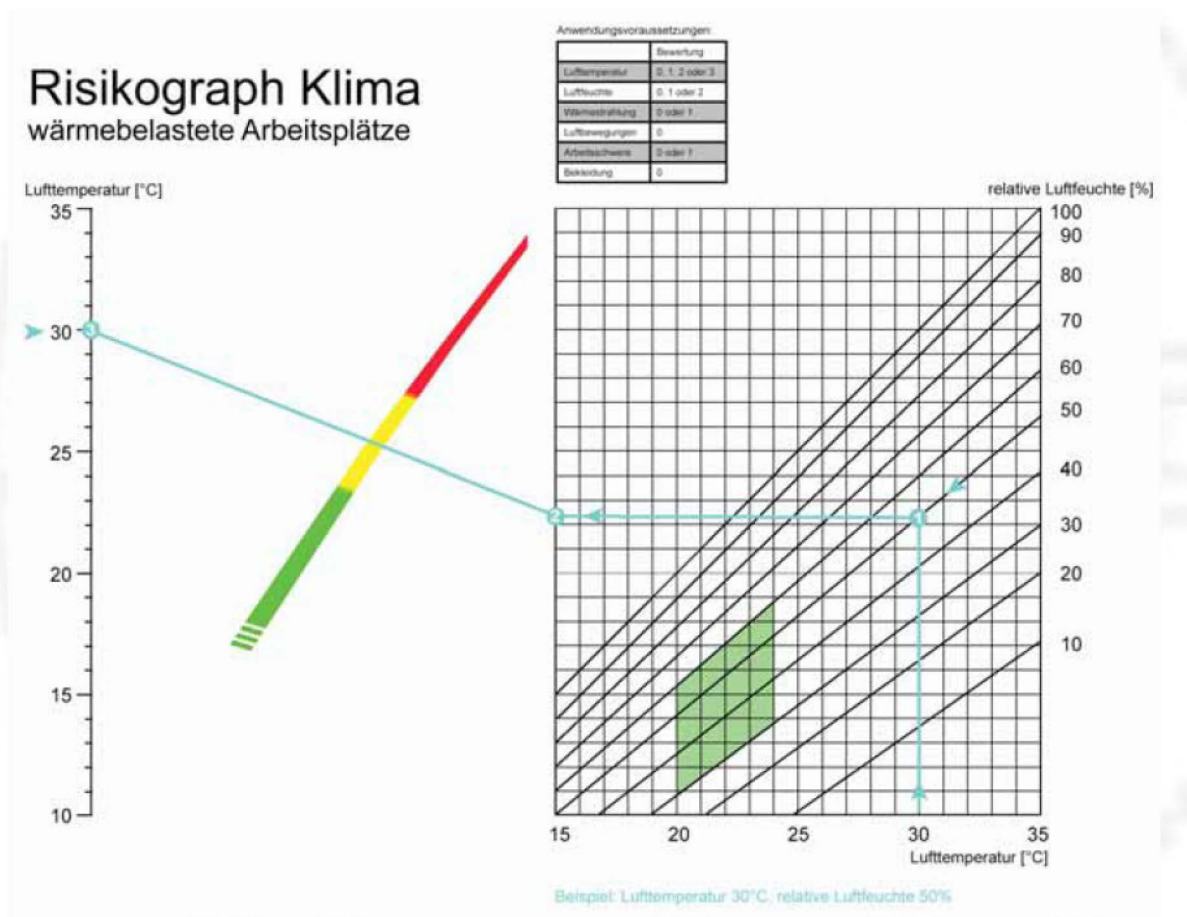


Abbildung 2-2: Beispiel Risikograph Klima [12]

In [14] wird darauf hingewiesen, dass die individuelle Leistungsfähigkeit eines Menschen von der Arbeitsumgebung, der persönlichen Motivation und der Fähigkeit, eine bestimmte Arbeit auszuführen, beeinflusst wird. Die Arbeitsumgebung umfasst das Innenraumklima wie Temperatur, Belüftung, Lärm, Beleuchtung und den Service im Gebäude wie Infrastruktur, Arbeitsplatzgestaltung usw. Die psychosozialen Aspekte und die Wahrnehmung der Arbeitsplatzumgebung durch die Nutzer sind gleich wichtig (Abbildung 3-2).

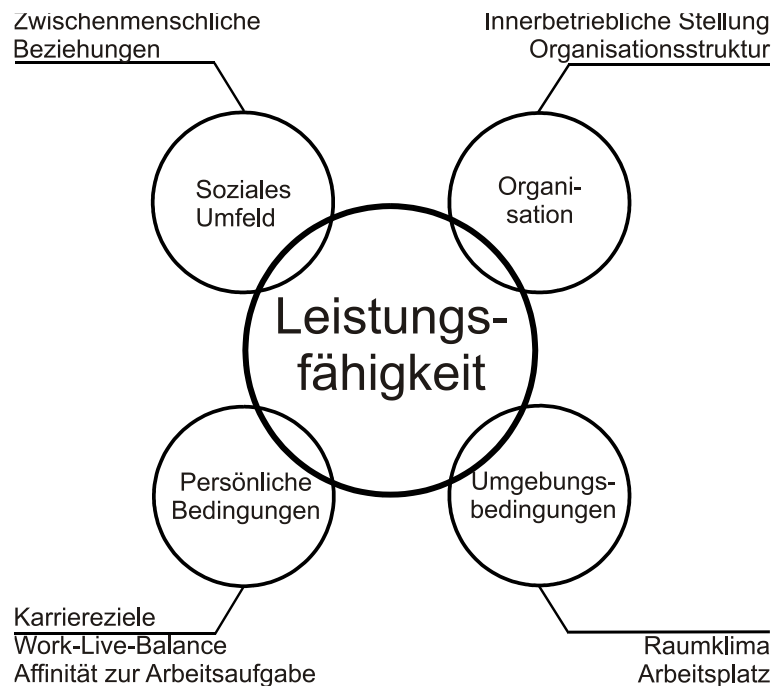


Abbildung 2-3: Faktoren, die die individuelle Leistungsfähigkeit beeinflussen (nach Clemenst-Croome in [21], Grafik Fraunhofer IBP)

## 2.6 Akustik

Das akustische Umfeld spielt eine wichtige Rolle für die Behaglichkeit der Personen. Ursache und Wirkung sind im Gebäude sehr vielfältig und gewerkeübergreifend. Aufgrund der vielschichtigen Wechselwirkungen wird deshalb derzeit auf eine Bewertung der Akustik verzichtet. Die einzuhaltenden Kennwerte sind jedoch in den entsprechenden Verträgen zu dokumentieren. Hinweise für die einzuhaltenden Grenzwerte sind in DIN EN 13779, DIN EN 15251 und DIN 4109 gegeben.

### 3. Bewertung des Innenraumklimas

Nutzer und Bauherren haben bestimmte Erwartungen an das Innenraumklima. Architekten, Planer und Betreiber sollen diese Erwartungen beim Bau und beim Betrieb erfüllen. Leider werden in der Praxis die Erwartungen und die tatsächlichen Möglichkeiten nur unzureichend kommuniziert. Das folgende Bewertungsschema soll helfen, die Kommunikation zwischen den am Bau Beteiligten zu verbessern und ein einfaches Komfortkriterium zu definieren. Die Sicherstellung der Behaglichkeit ist wie die der Hygiene ein wesentlicher Bestandteil des Gesundheitsschutzes.

#### 3.1 Parameter für die Bewertung des Innenraumklimas

Für die Bewertung des Innenraumklimas wurden die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Parameter ausgewählt. Grundlage für die Bewertung ist im Allgemeinen die sitzende Tätigkeit, wie sie bei Bürotätigkeit und vergleichbarer Arbeit vorkommt. Die Randbedingungen der industriellen Tätigkeiten sind nicht Gegenstand der Ausführungen. Somit erstreckt sich der Geltungsbereich etwa vergleichbar zu dem der EnEV.

Im Folgenden wird bewusst auf eine vollständige Beschreibung der Parameter verzichtet, da es im Rahmen einer Bewertung im Sinne dieses Reports nicht immer mit einem vertretbaren Aufwand möglich ist, alle ausgewählten Parameter komplett und vollständig zu erarbeiten. Auch die DIN EN 15251 lässt hier Freiheitsgrade. Wichtig für eine Kommunikation ist eine Angabe, nach welchem Verfahren ein Parameter festgestellt wird. Es obliegt den Beteiligten, ein Verfahren auszuwählen und dieses dann zu benennen. Die Parameter können durch die folgenden Verfahren ermittelt werden:

- Berechnung
  - Auslegungsdaten (z. B. im Sommer Kühllast und im Winter Heizlast)
  - Gradstunden
  - Stundensimulation
- Messung
- Subjektive Bewertungen, z. B. durch Befragungen (wird in diesem Report nicht verwendet)

##### 3.1.1 Raumtemperatur

Der Nutzer erwartet, dass die Raumtemperaturen in der Heiz- und Kühlperiode innerhalb bestimmter Grenzwerte bleiben. Für die Bewertung wird die operative Raumtemperatur (gefühlte Temperatur) verwendet, die sich aus der Raumlufthtemperatur und der Temperatur der Umschließungsflächen zusammensetzt [3]. Zulässige Abweichungen definiert die DIN EN 15251 in Anhang G. Es ist jedoch auch möglich, sich auf die Raumlufthtemperatur zu beziehen.

### 3.1.2 Individuelle Raumtemperaturregelung

Nicht alle Nutzer fühlen sich bei den gleichen Raumtemperaturen behaglich. Individuelle Eigenschaften, Bekleidung und die Aktivität haben einen wesentlichen Einfluss auf die bevorzugte Raumtemperatur. Raumkonditionierungssysteme können in Abhängigkeit von der Anlagentechnik und der Raumgestaltung eine individuelle Raumtemperaturregelung innerhalb gewisser Grenzen sicherstellen. Dies gilt jedoch nur sehr begrenzt für Nutzungseinheiten, in denen sich mehrere Personen gleichzeitig aufhalten, die unterschiedliche Temperaturanforderungen stellen.

### 3.1.3 Raumlufffeuchte

Die Raumlufffeuchtigkeit ist als Behaglichkeitsparameter derzeit noch nicht so exakt definiert wie die Raumtemperatur. Trotzdem erwarten die Nutzer, dass sich die Raumlufffeuchtigkeit innerhalb gewisser Grenzen einstellen soll. Ausgehend von der Tatsache, dass sich Personen bei Raumtemperaturen zwischen 21 °C und 22 °C bei 40 bis 50 % relativer Luftfeuchtigkeit am wohlsten fühlen, wird die Raumfeuchte als Planungsgröße definiert. Da einfache Rechen- und Simulationsmethoden bezüglich der relativen Raumlufffeuchtigkeit nicht vorliegen, wird eine Bewertung der absoluten Raumlufffeuchtigkeit auf Basis der Zuluftfeuchtigkeit, der Außenluftfeuchtigkeit, des Außenluftvolumenstromes und der Auslegungsfuchtelasten definiert.

$$x_{Raum} = x_{Zuluft} + \Delta x_{f,Personen} + \Delta x_{f,sonstige} \quad \text{mit} \quad \Delta x_{f,Personen} = \frac{\dot{G}_D}{\dot{V}_A \times \rho_L}$$

$x_{Zuluft}$  : Zuluftfeuchte auf Basis der Auslegungswerte Befeuchtung und Entfeuchtung. Bei natürlich belüfteten Gebäuden ist statt der Zuluftfeuchtigkeit die Außenluftfeuchtigkeit  $x_A$  anzusetzen.

$x_A$  : Maximale und minimale Außenluftfeuchtigkeit nach Referenzwetterdaten (Angabe der Datenquelle z. B.: DIN 4710, Testreferenzjahr, Meteororm, usw.)

$\Delta x_{f,Personen}$  : Feuchtelasten durch die Personenbelegung

$\Delta x_{f,sonstige}$  : Sonstige Feuchtelasten (nur soweit bekannt und quantifizierbar)

$\dot{G}_D$  : Wasserdampfabgabe von Personen gemäß Abbildung 4-8

$\dot{V}_A$  : Außenluftvolumenstrom pro Person. Bei ventilatorgestützten Lüftungssystemen ist der geplante oder tatsächliche Außenluftvolumenstrom zu verwenden, bei natürlichen Lüftungssystemen ist der Mindestaußenluftvolumenstrom nach Tabelle 2-8 anzusetzen.

$\rho_L$  : Luftdichte (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

Aus der absoluten Raumlufffeuchte und der Raumtemperatur nach Abschnitt 3.1.1 kann näherungsweise die relative Luftfeuchtigkeit festgestellt werden. Weitere Hinweise zur Raumlufffeuchtigkeit sind im FGK-STATUS-REPORT Nr. 8 enthalten.

### 3.1.4 Hedonische Bewertung der Raumluftqualität

Wie in der Außenluft gilt auch für die Innenraumluft die hedonische Bewertung der empfundenen Qualität der Luft. Die empfundene Hedonik im Gebäude übt einen nicht zu ignorierenden positiven oder negativen Einfluss auf das Wohlbefinden der Raumnutzer aus. Hieraus können im negativen Fall Leistungsverlust und Abwesenheit durch Krankheit entstehen und somit zu einem erheblichen wirtschaftlichen Verlustfaktor werden, wohingegen im positiven Fall eine Steigerung der Leistung und eine Reduzierung der Krankheits- und Abwesenheitsrate erreicht wird. Daher ist ein sinnesphysiologischer ganzheitlicher Ansatz unabdingbar. Dieses ist durch zahlreiche Studien untermauert worden [14].

#### Hedonische Wirkung

Die hedonische Wirkung ist die Wirkung eines Geruchsstoffes, der im Sinne von VDI 3882, Blatt 2 [15], durch eine einordnende Bewertung des Reizes zwischen den Merkmalspolen „äußerst angenehm“ und „äußerst unangenehm“ erfasst wird. Der positiv stimulierende Gehalt der Luft – Empfindung einer natürlichen Frische – unterstützt das Wohlbefinden der Raumnutzer.

Die sinnesphysiologische positive Hedonik spiegelt die Harmonisierung aller Sinne wie Olfaktorik (Geruch), Haptik (Materialien), Optik (Design, Farbe) und Akustik (Geräusch) wider.

#### Geruchsintensität in Verbindung mit Temperatur und Feuchte

Die Geruchskonzentration gibt die Geruchsintensität nicht wieder. Messungen von Geruchskonzentrationen sind daher unerheblich für das Wohlbefinden. Messungen geben über die empfundene Intensität keine Auskunft [24] – es sei denn, der Grenzwert der Stoffe ist bekannt, insbesondere da sich die Intensität von Gerüchen bei Temperatur und Feuchte verändert.

Eine Komfortklimatisierung ist eine Klimatisierung, die es erlaubt, nicht zu verhindernde Emissionen von Materialien, Maschinen und Menschen so zu verdünnen oder abzuführen, dass die Luft bei einer Bewertung auf der Hedonischen Skala wenigstens bei +2 bis +4 liegt.

Der Sinneseindruck „Frische einer Luft“ entsteht durch positive Stimulanzen, wie sie in der freien Natur zu finden sind.

Die hedonische Bewertung der Innenraumluft wird durch subjektive Befragungen ermittelt und analog der Außenluftbewertung nach der VDI Richtlinie 3882, Blatt 1 und 2, durchgeführt [15]. Alternativ kann das Verfahren nach [16] angewendet werden, das auch vom amerikanischen Verfahren zur Nachhaltigkeitsbewertung LEED genutzt wird (weitere Informationen [22], [23], [25], [26], [27] und [28]).

### 3.1.5 Kühllasten

Die Kühllast in Innenräumen wird durch die Gebäudehülle und die Nutzung der Räume bestimmt. Um die gewünschten Raumtemperaturen und Raumluftfeuchten in den Räumen einhalten zu können, werden raumluftechnische Anlagen und Raumkühlsysteme eingesetzt. Diese beeinflussen wiederum in Bezug auf die Raumluftgeschwindigkeit und die Strahlungsasymmetrie die Behaglichkeit, so dass es erforderlich wird, das geeignete raumluftechnische System in Abhängigkeit von der Kühllast zu wählen.

In Räumen mit kleinen bzw. mittleren Kühllastdichten bis zu  $60 \text{ W/m}^2$  können mit allen raumluftechnischen Systemen behagliche Raumluftzustände geschaffen werden. Bei höheren Kühllasten ist dies mit Luftsystemen, die im Raum eine tangentielle Mischlüftung erzeugen (sog. Raumluftwalzen), i. d. R. nicht mehr möglich, da diese zu großen Raumluftgeschwindigkeiten führen. Wird als Raumluftsystem eine diffuse Mischlüftung gewählt, ist bei einer Kühllastdichte von ca.  $80 \text{ W/m}^2$  die Grenze erreicht, ab der die Raumluftgeschwindigkeiten zu groß werden (siehe Abbildung 4-7). Kühllastdichten von mehr als  $80 \text{ W/m}^2$  lassen sich in der Regel nur durch Kombination eines Luftsystems mit einem Flächenkühlsystem abführen, ohne dass die Raumluftgeschwindigkeiten zu große Werte annehmen. Da auch durch Flächenkühlsysteme Raumluftströmungen erzeugt werden, sind extrem hohe Kühllastdichten von mehr als  $120 \text{ W/m}^2$  in der Regel mit keinem raumluftechnischen oder Raumkühlsystem abführbar, ohne dass es zu einer Beeinträchtigung der Behaglichkeit kommt. Hinweise zu den einzelnen Systemen finden sich auch in VDI 3804 [17].

Wird die Raumkühllast durch die äußere Kühllast bestimmt (große Fensterflächen), kann den dadurch verbundenen negativen Strahlungseinflüssen durch die Auswahl eines Flächenkühlsystems entgegengewirkt werden.

Die Kühllastdichte in Bürogebäuden mit üblichen inneren Lasten liegt im Regelfall bei maximal  $80 \text{ W/m}^2$ . Höhere Kühllastdichten erfordern lastmindernde Maßnahmen, z. B. Reduzierung der äußeren Lasten durch einen wirksamen Sonnenschutz.



## 3.2 Checkliste Innenraumklima

Nr.	Kriterium	Kategorie				Quelle
		1	2	3	4	
<b>1.</b>	<b>Raumtemperaturen und Raumlufffeuchten</b>					
1.1	Minimale Raumtemperatur Heizperiode Winter (Bekleidungs­dämmung 1 clo)	22 °C	21 °C	20 °C	< 20 °C	[1] Verfahren angeben
1.2	Maximale Raumtemperaturen im Winter	23 °C	24 °C	25 °C	> 25 °C	[1] Verfahren angeben
1.3	Maximale Raumtemperatur Kühlperiode /Sommer (Bezugswert 33 °C Außenlufttemperatur und 0,5 clo)	25 °C	26 °C	27 °C	> 27 °C	[1] Verfahren angeben
1.4	Individuelle Raumtemperaturregelung bezieht sich auf die regeltechnische Ausstattung und nicht auf die Auslegung	± 3 K	± 2 K	Nicht möglich	Nicht möglich	
1.5	Raumlufffeuchtigkeit im Winter <sup>1)</sup>	> 40 %	> 30 %	> 20 %	nicht klassifiziert	Verfahren angeben
1.6	Raumlufffeuchtigkeit im Sommer	< 50 %	< 60 %	< 65 %	nicht klassifiziert	Verfahren angeben
1.7	Raumlufffeuchtigkeit im Sommer	< 11 g/kg	< 12 g/kg	X <sub>Außen</sub>	nicht klassifiziert	Verfahren angeben
<b>3.</b>	<b>Außenluftvolumenstrom</b>					
3.1	Außenluftvolumenstrom Gebäude m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> q <sub>b</sub> (Referenz schadstoffarmes Gebäude)	≥ 3,6	≥ 2,52	≥ 1,44	< 1,44	[1]
3.2	Außenluftvolumenstrom personenabhängig m <sup>3</sup> /h pro Person q <sub>p</sub>	≥ 36	≥ 25,2	≥ 14,4	< 14,4	[1]
3.3	Summe aus 3.1 und 3.2 ist zu verwenden (Personenbelegung ist festzulegen)	$q_{tot} = n \times q_p + A \times q_b$				
<b>4</b>	<b>Anlagentechnische Randbedingungen</b>					
4.1	Luftfilterung	IDA 1	IDA 2	IDA 3/4	nicht klassifiziert	[2]
4.2	Dichtigkeit des Luftverteilsystems	B	C	D	nicht klassifiziert	[2]
<b>5</b>	<b>Weitere Behaglichkeitsparameter</b>					
5.1	Zugluffrate DR Einhaltung der Werte nach Abschnitt	10 %	20 %	30 %	nicht klassifiziert	[3]
5.2	Warmer oder kalter Fußboden	$19 \leq \vartheta_{Fußboden} \leq 29 \text{ °C}$				[17]
5.3	Temperaturgradient	2 K/m	3 K/m	4 K/m	nicht klassifiziert	
5.4	Schall	$\leq 35 \text{ dB}$ , Hinweis auf DIN 4109				[1]
5.5	Hedonische Bewertung nach VDI 3882 Blatt 2	+4 bis > 2	+2 bis 0	< 0 bis -2	nicht klassifiziert	[15]

<sup>1)</sup> Höhere Raumlufffeuchten als 50 % können im Winter bei kalten Außentemperaturen und schlechten Dämmeigenschaften der Gebäudehülle zu erhöhten Werten der relativen Feuchte (> 70 %) auf Bauteiloberflächen und damit zu einem erhöhten Schimmelpilzrisiko führen.

Tabelle 3-1: Bewertungsschema zur Bewertung des Innenraumklimas

## 3.3 Bewertung und Gewichtung der Parameter

Jeder Bauherr oder Nutzer wird seine eigene Gewichtung der einzelnen Parameter zur Bewertung des Innenraumklimas vornehmen. Einzelne Aspekte werden vielleicht weniger individuelle Bedeutung haben, andere eine größere. Wichtig ist an dieser Stelle die Transparenz und die klare Definition für alle am Bau Beteiligten.

Aufbauend auf den Festlegungen in Tabelle 3-1 können die einzelnen Parameter in Klassen von 1 bis 4 eingeteilt werden, wobei die Klasse 1 hohe Anforderungen und die Klasse 4 keine Anforderungen bedeutet. Eine Darstellung der Parameter im Netzdiagramm erhöht die Transparenz.

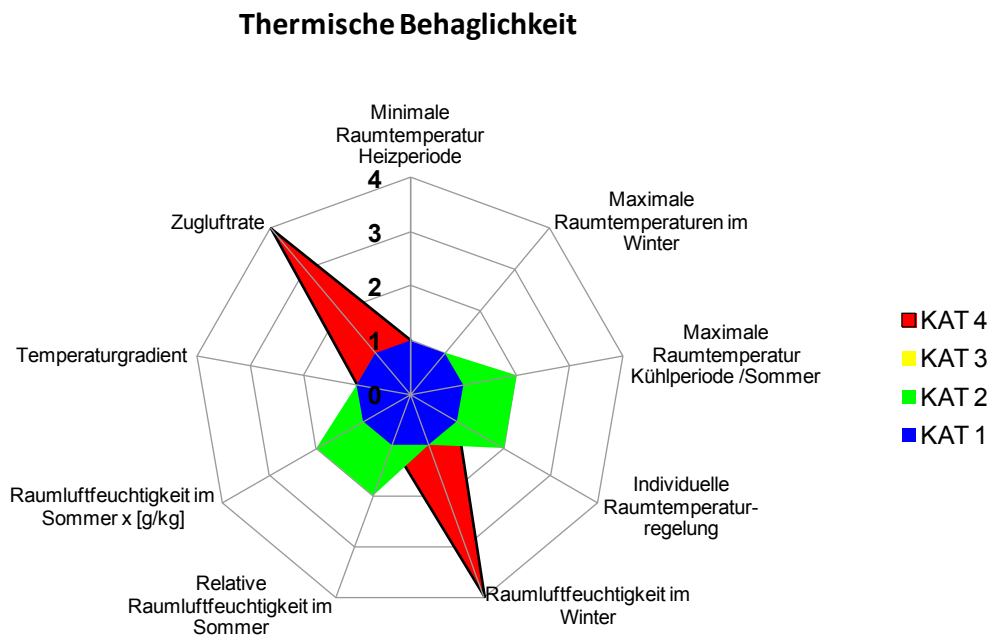


Abbildung 3-1: Beispiel Netzdiagramm der thermischen Behaglichkeitsparameter

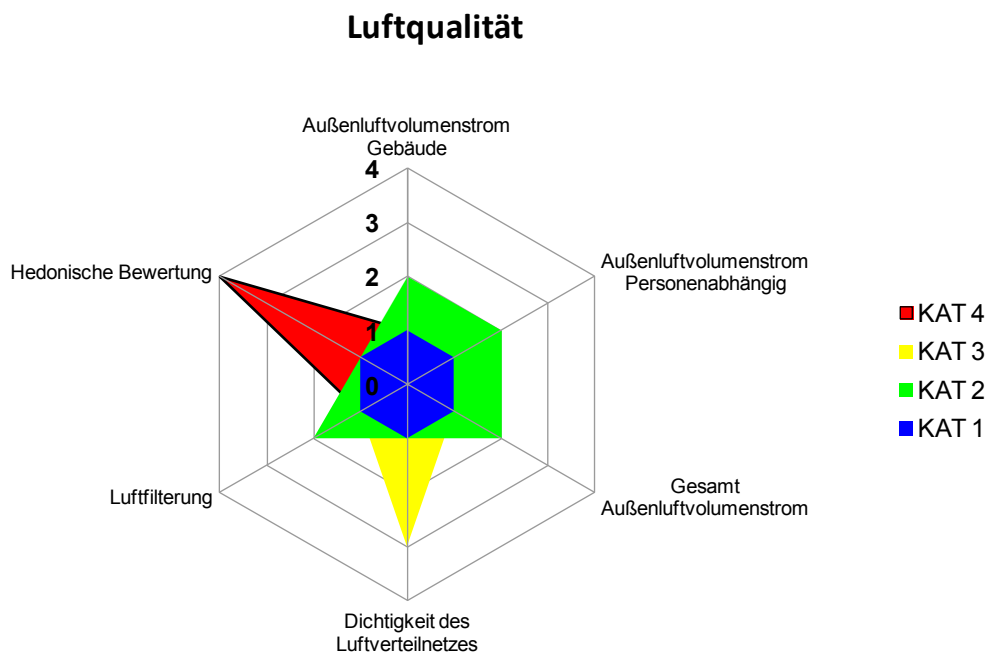
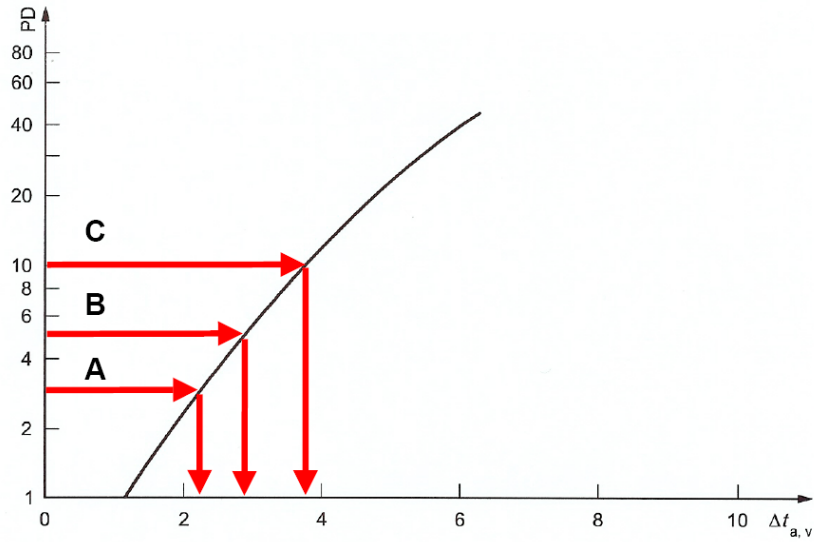


Abbildung 3-2: Beispiel Netzdiagramm zur Luftqualität und Lüftung

## 4. Hilfsmittel für die Bewertung

### 4.1 Behaglichkeitsparameter

#### 4.1.1 Temperaturen der Oberflächen und Temperaturgradienten

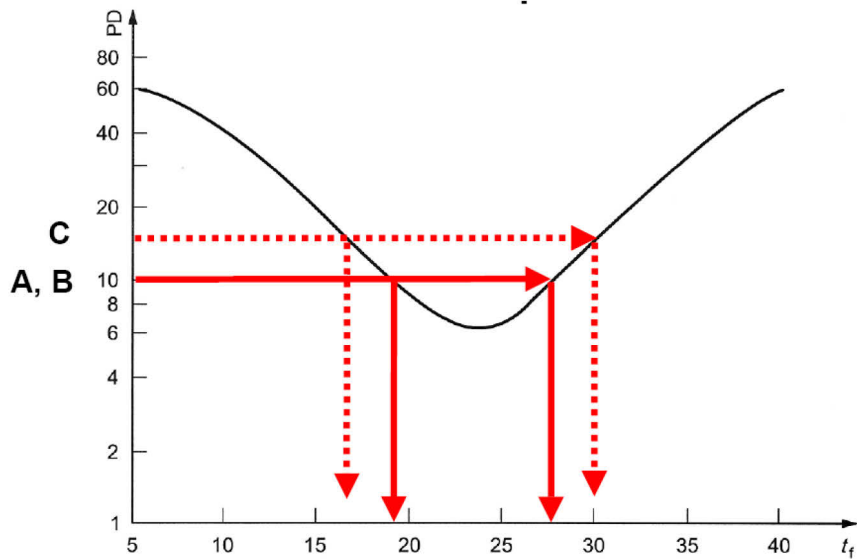


#### Legende

PD Prozentsatz an Unzufriedenen, %

$\Delta t_{av}$  Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Füßen, °C

Abbildung 4-1: Prozentsatz Unzufriedener in Abhängigkeit des vertikalen Temperaturgradienten



#### Legende

PD Prozentsatz an Unzufriedenen, %

$t_f$  Fußbodentemperatur, °C

Abbildung 4-2: Prozentsatz Unzufriedener in Abhängigkeit der Bodentemperatur

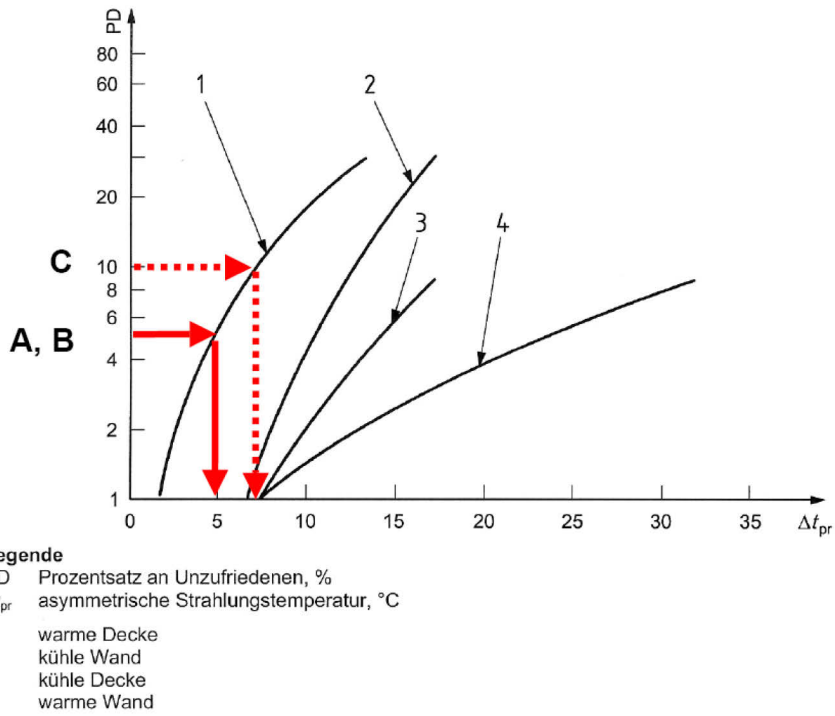


Abbildung 4-3: Prozentsatz Unzufriedener in Abhängigkeit der Strahlungsasymmetrie

#### 4.1.2 Zugluftrate

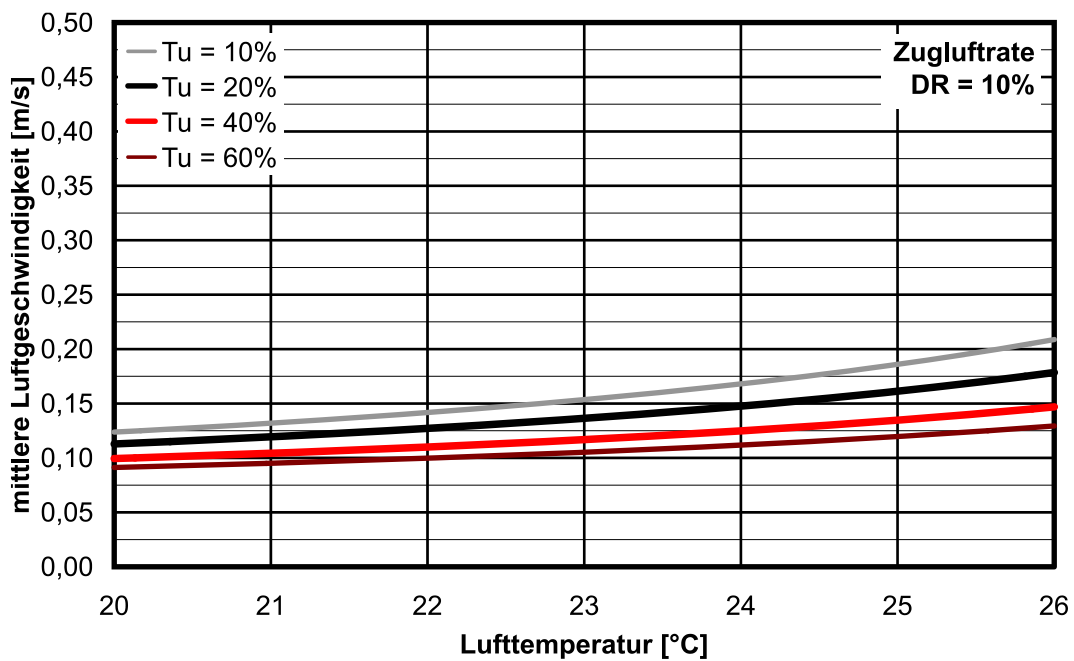


Abbildung 4-4: Maximale Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad ( $T_u$ ) nach DIN ISO 7730 – Kategorie A entspricht DR = 10 %

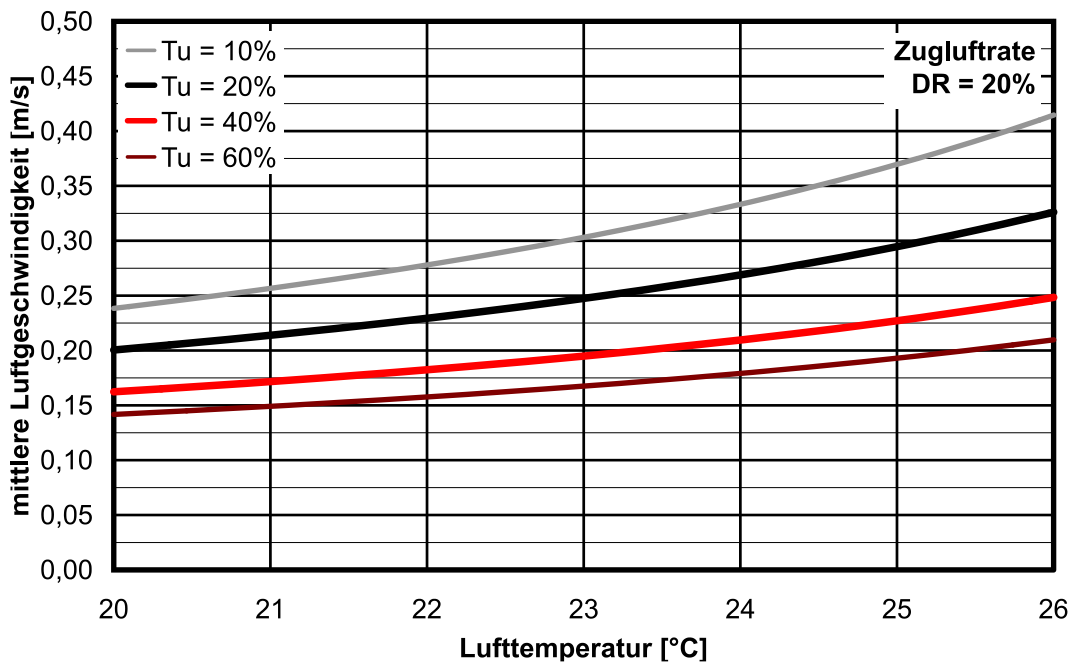


Abbildung 4-5: Maximale Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad (Tu) nach DIN ISO 7730 – Kategorie B entspricht DR = 20 %

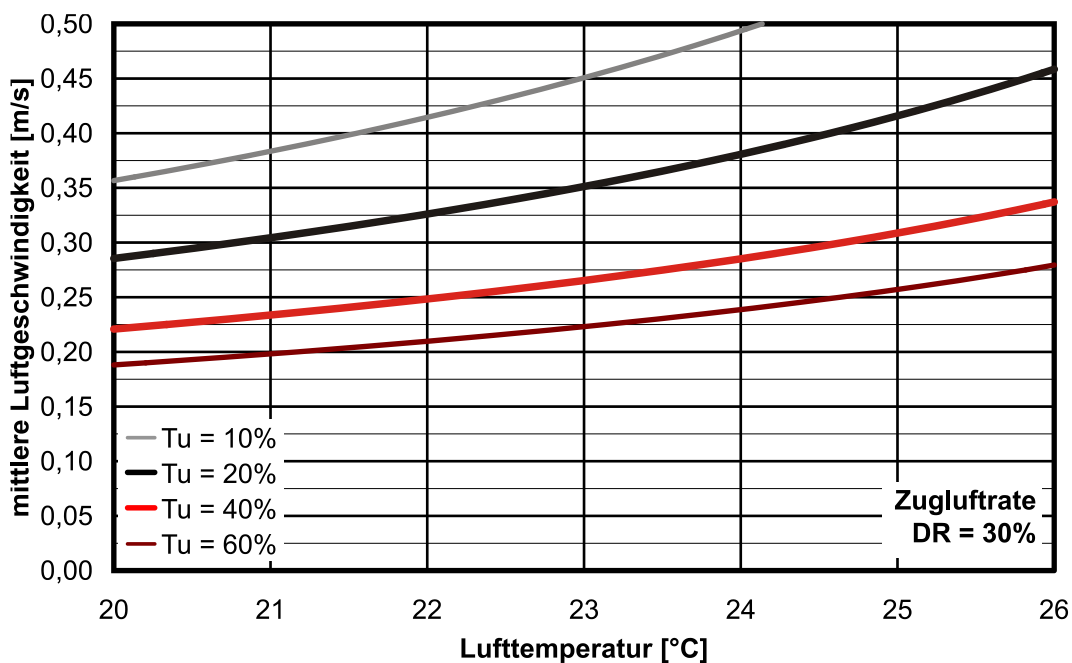


Abbildung 4-6: Maximale Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der lokalen Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad (Tu) nach DIN ISO 7730 – Kategorie C entspricht DR = 30 %

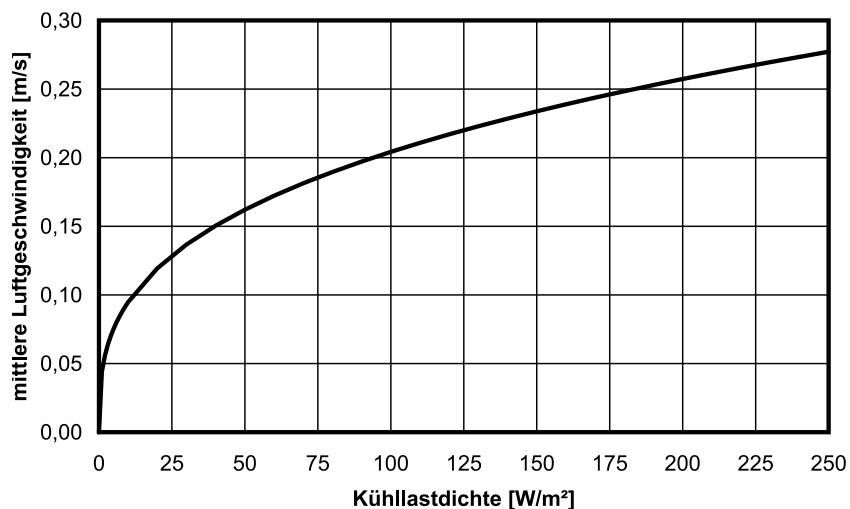


Abbildung 4-7: Mittlere Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kühllastdichte [19] für turbulente Mischlüftung

## 4.2 Raumlufffeuchtigkeit

Tätigkeit	Lufttemperatur	°C	18	20	22	23	24	25	26
körperlich nicht tätig bis leichte Arbeit im Stehen	$\dot{Q}_{tr}$ (trocken)	W	100	95	90	85	75	75	70
	$\dot{Q}_f$ (feucht)	W	25	25	30	35	40	40	40
	$\dot{Q}_{ges}$	W	125	120	120	120	115	115	115
	Wasserdampfabgabe	g/h	35	35	40	50	60	60	65
schwere körperliche Tätigkeit	$\dot{Q}_{ges}$	W	270	270	270	270	270	270	270
	$\dot{Q}_{tr}$ (trocken)	W	155	140	120	115	110	105	95

Abbildung 4-8: Wärme- und Wasserdampfabgabe des Menschen nach [20]



## 5. Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 15251 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; August 2007
- [2] DIN EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme; September 2007
- [3] DIN EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit; Mai 2006
- [4] Thermische Behaglichkeit – Luftgeschwindigkeit  
Dr.-Ing. Ulrich Finke, KLIMAKONZEPT Ingenieurgesellschaft Berlin, CCI-Symposium zu VDI 3804; 2008
- [5] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV vom 12.08.2004)
- [6] Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 5 Lüftung; Oktober 1979
- [7] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5; Juni 2010
- [8] Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 7/1 Sichtverbindung nach außen; April 1976
- [9] Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 7/3 Künstliche Beleuchtung; November 1993
- [10] Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättV); Fassung Juni 2005
- [11] Bayrische Gaststättenverordnung – GastV vom 22. Juli 1986 (GVBl. S. 295), zuletzt geändert durch VO vom 27. Dezember 2004 (GVBl. S. 539)
- [12] Beurteilung des Raumklimas – BGI 7003, Carl Heymanns Verlag, Köln; Januar 2008
- [13] Menschliche Behaglichkeit in Innenräumen und deren Einfluss auf die Produktivität am Arbeitsplatz –  
Dr.-Ing. Sylvia Schädlich, Fritz-Steimle-Stiftung, FGK FIA Report Nr. 127; August 2006
- [14] Indoor Climate and Productivity in Offices (How to integrate productivity in life-cycle-cost-analysis of building services  
Buch: REHVA Derivation of European Heating and Air Conditioning Association, Guidebook 6, ISBN 2-9600468-5-4, 2006)
- [15] VDI 3882 Blatt 1 und 2 Olfaktometrie; Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung, Beuth Verlag, Berlin; Oktober 2008
- [16] ASHRAE Handbook Fundamentals ODORS, Chapter 13, 13.1. to 13.8; USA 2005
- [17] VDI 3804 2009-03 Raumlufttechnik – Bürogebäude (VDI-Lüftungsregeln)
- [18] DIN 4109 1989-11 Schallschutz im Hochbau
- [19] Fitzner, K.: Wandlung der Lüftungskonzepte von Büros durch verringerte thermische Lasten. *gi Gesundheits-Ingenieur*, Jg.: 124 (2003) Nr. 5, Seite 223-231
- [20] VDI 2078 1996-07 Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)
- [21] Clemenst-Cromme, Derek, Buch: *Creating The Productive Workplace*, pp11, ISBN 0-419-23690-2; 2000
- [22] von Kempster, Diotima: „Olfactory Comfort Awareness (OCA) – Eine neue Maßeinheit zur Beurteilung der Luftqualität?“, in: *DKV Tagungsband IV, Tagungsbericht 2005*
- [23] von Kempster, Diotima: „Air And Well Being – A Way To More Profitability“, in: *Proceedings Healthy Buildings 2003*, Singapore; December 2003
- [24] L.J. van Gemert, *Odour thresholds. Compilations of odour threshold values in air, water and other media* (Edition 2003), Oliemans, Punter & Partners BV; 2006
- [25] von Kempster, Diotima: „Why positive olfactory perception is an issue for evaluation of buildings“, in: *Proceedings of the 9th Rehva Congress Clima 2007 – Well-Being Indoors*, Helsinki; Finland 2007
- [26] von Kempster, Diotima: „Added Value - Soft-Factor Wohlbefinden – Ein wichtiger Bestandteil des Gebäudemanagements“ *Facility Management*, HLK Facility Management, Fachmedien Verlag GmbH, Österreich; Oktober 2002
- [27] Smeets, M, et al. *The Odor Awareness scale: A new Scale for Measuring Positive and Negative Odor Awareness*, *Chemical Senses* 33: pp 725-734; 2008
- [28] von Kempster, Diotima: „The engineer: A caterer for the brain – How to achieve well-being“ *Indoor Air 2008 Proceedings*, Copenhagen; Denmark 2008

## Weitere Schriften aus der Reihe STATUS-REPORT:

Best.-Nr.

01	Raumluftechnische Anlagen – Instandhaltung, Reinigung, Entsorgungsaufgaben	9
02	Moderne Klimaanlage: Die Wohlfühltechnik!	106
03	Klimaanlagen: Die unsichtbaren Problemlöser!	107
04	DIN EN 13779 – Lüftung von Nichtwohngebäuden	108
05	Energetische Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage	113
06	Energetische Inspektion von Kälteanlagen zur Klimatisierung	120
07	Bewertung der Außenluftqualität	121
08	Fragen und Antworten zur Raumlufftfeuchte	139
09	Hygiene in Wohnungslüftungsanlagen	129
10	Regenerative Energien in der Klima- und Lüftungstechnik	136
11	EU-Verordnung NR. 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase	
	FREQUENTLY ASKED QUESTIONS	137
12	Verbindliche Temperaturen	140
13	Zertifizierung Instandhaltung und Reinigung von RLT-Anlagen	144
14	Definition von Klimaanlage nach EnEV und EPBD	146
15	Raumluftechnische Anlagen – Leitfaden für die Durchführung von Hygieneinspektionen nach VDI 6022	143
16	Informationen zur Hygiene in RLT-Anlagen	145
17	Bewertung des Innenraumklimas	154
18	Wohnungslüftung	159
19	Rehva Guidebook No 8: Die Sauberkeit von Lüftungsanlagen(deutsche Version)	150
20	Die Bewertung von Wärmerückgewinnung und Regenerativen Energien in RLT-Anlagen für Nichtwohngebäude nach EEWärmeG	162
21	Software zur Auslegung von Wohnungslüftungssystemen	180
22	Lüftung von Schulen	174
23	Anforderungen an RLT-Geräte in hocheffizienten Nichtwohngebäuden	176
24	Hinweise für die CE-Kennzeichnung von Wohnungslüftungsgeräten	177
25	EG-Konformitätsbewertung von raumluftechnischen Produkten	178
26	Qualitätssiegel Raumklimageräte	179
27	Checkliste für die Abnahme von Klima- und Lüftungsanlagen	170
28	Spezifische Leistungsaufnahme von Ventilatoren	186
29	Einheitliche Herstellerdeklaration für Wohnungslüftungsgeräte nach DIN 4719	187
30	Richtiges Lüften in Haus und Wohnung	185

### Eine Information der Arbeitsgruppe Raumklima und Behaglichkeit im Fachverband Gebäude-Klima e. V.

Danziger Str. 20  
74321 Bietigheim-Bissingen  
Tel.: +49 7142 78 88 99 0  
Fax: +49 7142 78 88 99 19  
E-Mail: info@fgk.de  
Internet: www.fgk.de



Fachverband  
Gebäude-Klima e. V.