

Raumluftechnik

Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln)

DIN
1946
Teil 2

Ventilation and air conditioning; Technical health requirements
(VDI ventilation rules)

Ersatz für Ausgabe 01.83

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Raumluftechnische Anlagen (nachfolgend RLT-Anlagen genannt) nach DIN 1946 Teil 1 in Arbeits- und Versammlungsräumen in Gebäuden, sofern die RLT-Anlagen für die festgelegten Luftströme ausgelegt sind und über die jeweils erforderlichen thermodynamischen Behandlungsfunktionen und Einrichtungen zur Luftreinigung verfügen. Sie enthält gesundheitstechnische Anforderungen für die Behaglichkeit von Personen bei sehr leichter Tätigkeit (siehe Tabelle 1, Aktivitätsstufen I und II) im Aufenthaltsbereich (siehe Abschnitt 3) von Räumen. Bei schwererer körperlicher Tätigkeit (siehe Tabelle 1, Aktivitätsstufen III und IV) sind besondere Vereinbarungen zu treffen. Dies gilt auch, wenn die Anforderungen durch ein Arbeitsverfahren, durch ein Produkt oder durch bauliche Gegebenheiten bestimmt werden.

ANMERKUNG: Bei der freien Lüftung können wegen der Abhängigkeit vom Außenklima und von weiteren Außenbedingungen eine ausreichende Luftqualität und Behaglichkeit nicht immer erreicht werden.

2 Allgemeines

RLT-Anlagen für Aufenthaltsräume von Personen sollen ein behagliches Raumklima und eine gesundheitlich verträgliche Raumlufschaffen.

Es ist zu klären, welche Voraussetzungen (siehe Arbeit-StättV, ASR 5) für das Einhalten des geforderten Raumluftzustandes vorliegen müssen und in welchen Bereichen eine zeitweilige Abweichung, z. B. durch den Einfluß des Außenklimas (Sonneneinstrahlung) auftreten kann, bzw. wo innere Schadstoffquellen berücksichtigt werden müssen.

3 Aufenthaltsbereiche

Je nach Baustruktur, Nutzung und Ausstattung ist der Aufenthaltsbereich im Raum unterschiedlich abzugrenzen. Lufttemperatur (siehe DIN 33 403 Teil 1) und Luftbewegung machen diese Abgrenzung erforderlich. Im allgemeinen dürfte die Begrenzung bei 1 m Abstand von Außenwänden, 0,5 m von Innenwänden und bis zu 2 m über Fußboden liegen (siehe VDI 3803 und DIN 1946 Teil 7).

Innerhalb von Verkehrswegen und in der Nähe von Türen können, trotz einer einwandfrei funktionierenden RLT-Anlage, zeitweise Luftzustände auftreten, die nicht den gesundheitlichen Anforderungen entsprechen. Hier sind gegebenenfalls besondere Maßnahmen zur Herstellung behaglicher Raumlufzustände notwendig.

4 Thermische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit (siehe auch DIN 33 403 Teil 1) ist gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluf wünscht (siehe Erläuterungen, [1]).

4.1 Einflußfaktoren auf die thermische Behaglichkeit und Raumlufqualität

Die thermische Behaglichkeit und die Luftqualität in Räumen werden beeinflusst durch

- die Personen in Abhängigkeit von
 - Tätigkeit,
 - Bekleidung,
 - Aufenthaltsdauer,
 - thermische und stoffliche Belastung (z. B. Gerüche) und
 - Belegung bzw. Anzahl
- den Raum in Abhängigkeit von
 - Temperatur der Oberflächen,
 - Lufttemperaturverteilung,
 - Wärmequellen und
 - Schadstoffquellen
- die RLT-Anlage in Abhängigkeit von
 - Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte,
 - Luftaustausch,
 - Reinheit der Luft (Aerosole und Gerüche) und
 - Luftführung.

Mit RLT-Anlagen werden direkt die Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte und die Luftqualität des Raumes beeinflusst. Eine Abschirmung von Räumen gegen direkte Sonneneinstrahlung ist nach Möglichkeit vorzunehmen.

Weitere wesentliche Einflußgrößen auf das physische und psychische Wohlbefinden können die raumakustischen sowie die Lichtverhältnisse und die Farbgebung sein. Darüber wird hier keine Aussage gemacht.

4.1.1 Tätigkeit

Die Gesamtwärmeabgabe einer Person wird von ihrer Tätigkeit beeinflusst (siehe Tabelle 1).

4.1.2 Bekleidung

Der Wärmedurchgang ist durch die Art der Bekleidung beeinflussbar. Anhaltswerte für den Wärmedurchlaßwiderstand der Bekleidung sind in Tabelle 2 enthalten.

Fortsetzung Seite 2 bis 12

Normenausschuß Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Tabelle 1: Gesamtwärmeabgabe je Person in Abhängigkeit von der Tätigkeit
(siehe auch DIN 33 403 Teil 3)

Tätigkeit	Aktivitätsstufe	Gesamtwärmeabgabe ^{1), 2)} je Person — Anhaltswerte W
Statische Tätigkeit im Sitzen wie Lesen und Schreiben	I ³⁾	120
Sehr leichte körperliche Tätigkeit im Stehen oder Sitzen	II	150
Leichte körperliche Tätigkeit	III	190
Mittelschwere bis schwere körperliche Tätigkeit	IV	über 270

¹⁾ Gesamtwärmeabgabe durch Strahlung, Leitung, Verdunstung und Konvektion bei einer Raumtemperatur von 22 °C (siehe VDI 2078).
²⁾ 1 metabolische Einheit des Ruheenergieumsatzes in sitzender Position:
1 met = 58 W/m² Körperoberfläche, wobei für eine Person etwa 1,7 m² zugrundegelegt werden.
³⁾ Die Aktivitätsstufe I entspricht 1,2 met.

Tabelle 2: Wärmedurchlaßwiderstand der Bekleidung
(Siehe auch DIN 33 403 Teil 3; Werte gerundet)

Bekleidung ⁴⁾	Wärmedurchlaßwiderstand R ⁵⁾ m ² K/W
Ohne Kleidung	0
Leichte Sommerkleidung	0,08
Mittlere Kleidung	0,16
Warme Kleidung	0,24

⁴⁾ Siehe auch DIN ISO 7730 (z. Z. Entwurf)
⁵⁾ Eine weitere Einheit des Wärmedurchlaßwiderstandes der Bekleidung ist 1 clo = 0,155 m² K/W.

4.1.3 Temperatur

Im Aufenthaltsbereich ist das Zusammenwirken von Lufttemperatur und Strahlungstemperatur der Umgebungsoberfläche zu berücksichtigen. Die örtliche Temperatur wird als operative Raumtemperatur⁶⁾ bezeichnet und nach der folgenden Näherungsgleichung ermittelt:

$$t_o = 0,5 (t_a + t_r) \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

t_o örtliche operative Raumtemperatur in °C

t_a örtliche Lufttemperatur in °C

$$t_r = \sum_{K=1}^n \varphi_K \cdot t_K \quad \text{örtliche Strahlungstemperatur in } ^\circ\text{C}$$

φ_K Einstrahlzahl zwischen dem Raumpunkt und der Fläche K (siehe Erläuterungen)

t_K Temperatur der Fläche K in °C

ANMERKUNG: Die operative Raumtemperatur ist nicht identisch mit dem in anderen Regelwerken angewandten Begriff „Raumtemperatur“.

Diese Beziehung gilt unter folgenden Voraussetzungen:

- Aktivitätsstufe I oder II (siehe Tabelle 1),
- leichte bis mittlere Bekleidung (siehe Tabelle 2),
- Raumluftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad im zulässigen Bereich (siehe Bild 2) und
- Emissionsverhältnis (Verhältnis der ausgesendeten Strahlungsenergie zur höchstmöglichen Strahlungsemission) der Oberflächen $\varepsilon \approx 0,9$.

Die operative Raumtemperatur ist in den Höhen 0,1 m, 1,1 m und 1,7 m über dem Fußboden zu ermitteln (z.B. mit einem Globe-Thermometer).

Bei der Berechnung der örtlichen Strahlungstemperatur sollen die Oberflächentemperatur und die Flächenanteile nach ihren Einstrahlzahlen gewichtet werden.

4.1.3.1 Bereiche der operativen Raumtemperatur

Der Bereich empfohlener operativer Raumtemperaturen ist in Bild 1 kreuzschraffiert dargestellt.

Bei hohen Außenlufttemperaturen im Sommerbetrieb und bei kurzzeitig auftretenden hohen thermischen Lasten wird ein Anstieg der operativen Raumtemperatur zugelassen.

Häufig wird die Kühllast von Räumen nicht von den Außen-, sondern von den thermischen Innenlasten (z.B. Maschinenwärme) bestimmt. Treten diese Lasten nur kurzzeitig auf, so darf die operative Raumtemperatur unterhalb einer Außentemperatur von 29 °C (d.h. auch im Winterbetrieb) bis 26 °C ansteigen (senkrecht schraffierter Bereich in Bild 1).

Bei bestimmten Lüftungssystemen (z.B. Quelllüftung, siehe [2]) können operative Raumtemperaturen im waagrecht schraffierten Bereich zwischen 20 und 22 °C zugelassen werden.

4.1.3.2 Lufttemperaturschichtung

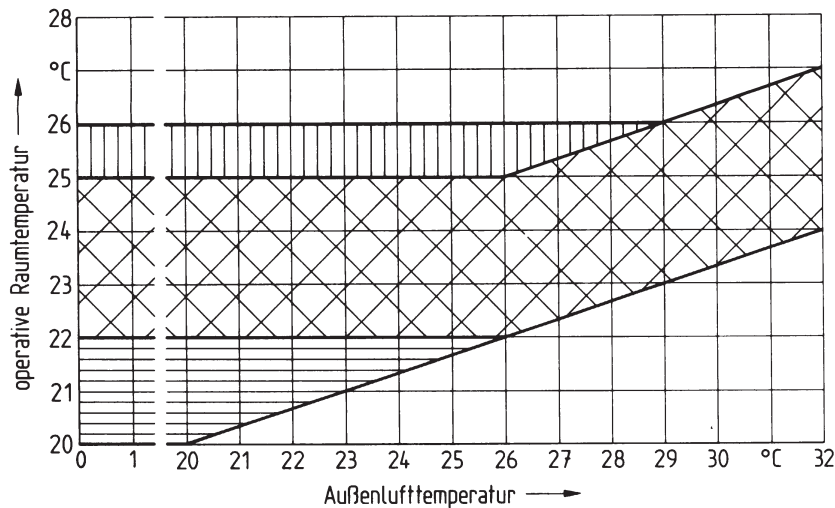
Bei der Lufttemperatur ist neben dem Niveau auch der vertikale Temperaturgradient in der Aufenthaltszone für das Behaglichkeitsempfinden von Bedeutung. Der vertikale Gradient der Lufttemperatur darf höchstens 2 K je m Raumhöhe betragen.

Dabei soll die Lufttemperatur in 0,1 m Höhe über dem Fußboden 21 °C nicht unterschreiten.

4.1.3.3 Strahlungstemperatur-Asymmetrie (siehe Erläuterungen)

Einseitige Erwärmung oder Abkühlung des Menschen durch uneinheitliche Umgebungsoberflächentemperaturen kann zu thermischer Unbehaglichkeit führen. Zu ihrer Beurteilung ist der Raum am Betrachtungsort in zwei Halbräume aufzuteilen und für diese die jeweilige Halbraum-Strahlungstemperatur zu berechnen oder zu messen. Dabei soll die Lage der Trennfläche parallel zur Lage der Oberflächen mit den größten Temperaturunterschieden sein.

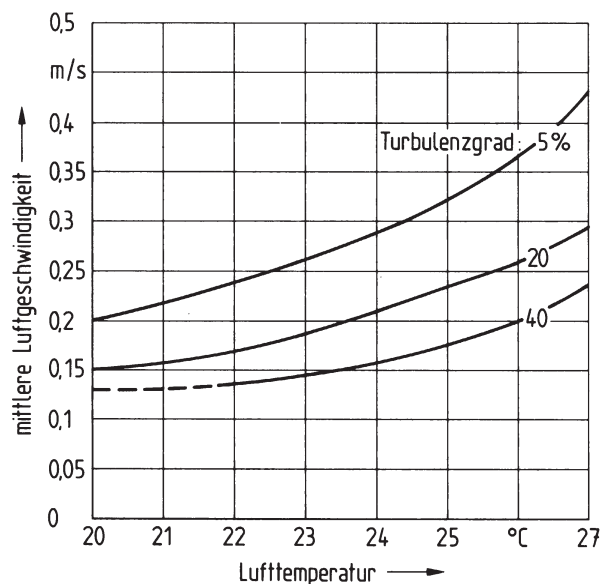
⁶⁾ Auch „empfundene Temperatur“ genannt



Voraussetzungen:

- Aktivitätsstufen I und II
- leichte bis mittlere Bekleidung (siehe Tabelle 2)

Bild 1: Bereiche operativer Raumtemperaturen



Die Werte gelten für Aktivitätsstufe I und einen Wärmedurchlaßwiderstand der Kleidung von etwa $0,12 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Bei höheren Aktivitätsstufen und Wärmedurchlaßwiderständen können die Grenzkurven z.B. VDI 2083 Blatt 5 (z.Z. Entwurf) entnommen werden. Die Kurve für 40% gilt auch für Turbulenzgrade $> 40\%$.

Bild 2: Werte von mittleren Luftgeschwindigkeiten als Funktion von Temperatur und Turbulenzgrad der Luft im Behaglichkeitsbereich (siehe auch ISO/DIS 7730, [3])

Es gilt

$$t_{rH1} = 2 \cdot \sum_{K=1}^m \varphi_K \cdot t_K \quad (2)$$

$$t_{rH2} = 2 \cdot \sum_{K=m+1}^n \varphi_K \cdot t_K \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

t_{rH1} Halbraum-Strahlungstemperatur am Betrachtungsort für den Halbraum 1

t_{rH2} Halbraum-Strahlungstemperatur am Betrachtungsort für den Halbraum 2

$K = 1$ bis m Flächen im Halbraum 1

$K = m+1$ bis n Flächen im Halbraum 2

Als Grenzwerte für die Differenz der Strahlungstemperatur beider Halbräume, bei der noch thermische Behaglichkeit eingehalten werden kann, gelten

- für warme Deckenflächen $|t_{rH1} - t_{rH2}| \leq 3,5 \text{ K}$,
- für kalte Wandflächen $|t_{rH1} - t_{rH2}| \leq 8,0 \text{ K}$,
- für gekühlte Deckenflächen $|t_{rH1} - t_{rH2}| \leq 17,0 \text{ K}$
- für warme Wandflächen $|t_{rH1} - t_{rH2}| \leq 19,0 \text{ K}$.

Die Werte gelten für eine operative Raumtemperatur im Behaglichkeitsbereich und für Personen mit leichter bis mittlerer Bekleidung und sitzender Tätigkeit. Für andere Verhältnisse können zur Zeit keine gesicherten Aussagen gemacht werden.

4.1.4 Luftgeschwindigkeit

Die thermische Behaglichkeit der Personen wird im besonderen Maße von der Luftbewegung im Aufenthaltsbereich mitgeprägt (siehe auch Abschnitt 5.3). Die Grenzwerte der Luftgeschwindigkeit im Behaglichkeitsbereich sind abhängig von der Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad der Strömung und ergeben sich aus Bild 2.

Bei operativen Raumtemperaturen zwischen 20 und 22°C ist, außer bei Mischlüftung (siehe Bild 2, gestrichelter Bereich), die thermische Behaglichkeit noch gegeben, wenn die in Bild 2 angegebenen Luftgeschwindigkeiten nicht überschritten werden.

Der Turbulenzgrad T wird definiert wie folgt:

$$T = \frac{s_v}{\bar{v}} 100 \quad (4)$$

mit

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (5)$$

und

$$s_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (6)$$

Hierin bedeuten:

- T Turbulenzgrad in %
- s_v Standardabweichung der Momentanwerte der Luftgeschwindigkeit
- $\bar{v}$ mittlere Luftgeschwindigkeit (zeitlicher Mittelwert der Luftgeschwindigkeit, siehe auch VDI 2080)
- n Anzahl der Meßpunkte
- v_i Momentanwert der Luftgeschwindigkeit

Die Kurven in Bild 2 stellen die Grenzwerte der zeitlich gemittelten Geschwindigkeiten für die jeweiligen Turbulenzgradbereiche dar.

Eine minimale Luftbewegung ist für den notwendigen konvektiven Wärme- und Stofftransport erforderlich. Sie stellt sich durch freie Konvektion an einer Wärmequelle ein. Mindestwerte können deshalb nicht angegeben werden.

Wird der Wärmedurchlaßwiderstand der Kleidung um 0,032 m² K/W oder die Aktivität um 10 W erhöht, darf die zulässige Luftgeschwindigkeit auf die um etwa 1 K erhöhte zugeordnete Lufttemperatur angehoben werden. Bei gleichbleibender Luftgeschwindigkeit darf die Lufttemperatur entsprechend vermindert werden.

Für die Geschwindigkeitsmessung ist ein richtungsunabhängiges Meßgerät zu verwenden. Die Mittelungszeit beträgt mindestens 100 s (bei digitalen Meßgeräten mindestens 100 Einzelmessungen) und die Ansprechzeit der Sonden, zu der 63% der Endwerte angezeigt werden (t₆₃), soll kleiner als 0,2 s sein. Je Sekunde ist mindestens 1 Meßwert zu erfassen. Die Luftgeschwindigkeit ist in den Höhen 0,1, 1,1 und 1,7 m über dem Fußboden zu messen.

Ohne Messung wird der Turbulenzgrad mit 40% angesetzt (untere Kurve in Bild 2).

4.1.5 Luftfeuchte

Für die Behaglichkeit liegt die obere Grenze des Feuchtegehaltes der Luft bei 11,5 g Wasser je kg trockene Luft und 65% relativer Luftfeuchte.

Über die untere Grenze der relativen Luftfeuchte liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor. Als Behaglichkeitsgrenze können — weitgehend unabhängig von der Lufttemperatur — 30% relative Luftfeuchte gelten; gelegentliche Unterschreitungen sind vertretbar.

4.2 Raumluftqualität

Die Qualität der Raumluft wird einerseits durch die Qualität der Zuluft und andererseits durch nutzungs- und raumbedingte Verunreinigungen bestimmt.

Die Zuluft besteht aus Außen- und gegebenenfalls Umluft, deren Qualität berücksichtigt werden muß.

Umluft sollte nur bei Arbeiten mit geringen durch Arbeitsprozesse bedingten Verunreinigungen angewendet werden, wenn dies durch thermische Lasten erforderlich ist. Dabei ist der Außenluftstrom so zu bemessen, daß ein ausreichendes Abführen der Verunreinigungen sichergestellt ist.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß Umluft die Oberfläche der Luftkanäle verunreinigen kann (z. B. durch Tabakrauch). Es ist deshalb im allgemeinen ratsam, keine Umluft zu verwenden, die aus anderen Räumen stammt.

Verunreinigungen der Luft bestehen aus unbelebten Stoffen und lebenden Organismen wie

- Gase und Dämpfe (z. B. CO, CO₂, SO₂, NO₂, NO_x, O₃, Radon, Formaldehyd, Kohlenwasserstoffe),
- Geruchsstoffe (z. B. mikrobielle Abbauprodukte von organischem Material, durch Fäulnisbakterien, menschliche, tierische und pflanzliche Geruchsstoffe sowie Ausdünstungen, die von Baumaterialien und Arbeitsprozessen herrühren),
- Aerosole (z. B. anorganische Stäube wie Fasern und Schwermetalle, organische Stäube wie Kohlenwasserstoffverbindungen und Pollen),
- Viren,
- Bakterien und ihre Sporen (Legionellen, Gasbranderreger),
- Pilze und Pilzsporen (z. B. Erreger des Befeuchterfiebers und Erreger der Aspergillose).

RLT-Anlagen-bedingte Verunreinigungen sind durch sachgerechte Planung, Ausführung, Wartung und Betrieb der RLT-Anlagen weitgehend zu vermeiden.

Raumbedingte Verunreinigungen können freigesetzt werden durch Menschen, Tiere, Pflanzen, Arbeitsprozesse und Einrichtungen bzw. Baumaterialien.

Die Zuluft soll Außenluftqualität aufweisen, sofern die Außenluft nicht durch außergewöhnliche Belastungen verunreinigt ist.

Im Bereich von Aufenthaltsräumen ohne besondere Freisetzung von Arbeitsstoffen ist der Umluftanteil so zu begrenzen, daß hygienische Höchstwerte (z. B. 0,15% für die CO₂-Volumenkonzentration) nicht überschritten werden. Bezüglich der Konzentration der durch Arbeitsprozesse am Arbeitsplatz entstehenden Verunreinigungen in der Raumluft sind die einschlägigen Bestimmungen (z. B. MAK-Werte) einzuhalten.

4.2.1 Lüftungseffektivität

Die Luftströmung im Raum soll so geführt werden, daß der Austausch der Raumluft gegen zugeführte Zuluft sowie der Abtransport von Verunreinigungen und Geruchsstoffen möglichst wirkungsvoll erfolgen kann.

Als Beurteilungskriterium dient die Lüftungseffektivität ε_v , die wie folgt definiert ist:

$$\varepsilon_v = \frac{1}{\mu_{RA}} = \frac{C_{AB} - C_{ZU}}{C_{AZ} - C_{ZU}} \quad (7)$$

Hierin bedeuten:

- μ_{RA} Raumbelastungsgrad (siehe DIN 1946 Teil 4)
- C_{AB} Schadstoffkonzentration im Abluftkanal
- C_{ZU} Schadstoffkonzentration in der Zuluft
- C_{AZ} Schadstoffkonzentration in der Aufenthaltszone

Ein Lüftungssystem führt um so wirkungsvoller Verunreinigungen ab, je größer die Lüftungseffektivität ist (siehe [2]). Es läßt sich zeigen, daß für die ideale Mischströmung $\varepsilon_v = 1$ und für die Verdrängungsströmung $\varepsilon_v > 1$ gilt.

Liegen keine Werte für die Lüftungseffektivität vor, so muß von $\varepsilon_v = 1$ ausgegangen werden. Die Lüftungseffektivität kann mit Hilfe von Spurengas ermittelt werden (z. B. OP-Räume in Krankenhäusern nach DIN 4799).