

## **Natürliche Lüftung großer Räume**

Richtlinie 10:                      Ausgabe August 2014

Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V.

Technische Angaben und Empfehlungen dieser Richtlinie beruhen auf dem Kenntnisstand bei Drucklegung. Eine Rechtsverbindlichkeit oder eine irgendwie geartete Haftung können daraus nicht abgeleitet werden.

Herausgeber:  
Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V.  
Ernst-Hilker-Straße 2  
32758 Detmold

© FVLR, Detmold 2014



**Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V.**

Erarbeitet durch den  
Arbeitskreis Technik des FVLR

## Inhaltsverzeichnis

Allgemeines .....	4
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweise .....	4
3 Begriffe und Definitionen .....	5
3.1 Abluft .....	5
3.2 Arbeitsplatzlüftung .....	5
3.3 Außenluft.....	5
3.4 bedarfsgeregelte Lüftung.....	5
3.5 Effektivtemperatur .....	5
3.6 Exfiltration (Leckage).....	5
3.7 Feuchtelast.....	6
3.8 Freie Lüftung (natürliche Lüftung).....	6
3.9 Fortluft .....	6
3.10 Gerät für Zuluftöffnung.....	6
3.11 Infiltration (Leckage).....	6
3.12 Lufttemperatur.....	6
3.13 Luftdurchsatz (erforderlicher Volumenstrom $V_{\text{erf}}$ ) .....	6
3.14 Luftwechselrate $\beta$ .....	6
3.15 Lüftung .....	6
3.16 Lüftungsanlage.....	7
3.17 Lüftungsgerät (natürliche Lüftung).....	7
3.18 Lüftungsrate .....	7
3.19 Nutzer/Anwender.....	7
3.20 NRWG .....	7
3.21 Raumluft.....	7
3.22 Raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) .....	7
3.23 Raumtemperatur.....	7
3.24 RWA .....	7
3.25 Temperaturgradient .....	8
3.26 Wärmelast (Kühllast) .....	8
3.27 Zugluft .....	8
3.28 Zuluft.....	8
4 Symbole und Einheiten .....	8
5 Grundlagen .....	10
5.1 Zusammenhang zwischen Raumklima und Produktivität.....	10
5.2 Zusammenhang zwischen Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur.....	11
5.3 Übersicht über Luftwechselraten .....	12
5.4 Prinzip der natürlichen Lüftung .....	13
5.5 Systeme der freien Lüftung .....	14
5.6 Schichtlüftung .....	15
5.7 Zuluft.....	16
5.8 Grenzen einer natürlichen Lüftung .....	16
6 Dimensionierung der freien Lüftung.....	17
6.1 Wärmeaufkommen/Wärmelast.....	17
6.1.1 Innere Wärmelast $Q_i$ .....	17
6.1.2 Äußere Wärmelast $Q_a$ .....	19
6.2 Temperaturanstieg über die Raumhöhe.....	19
6.3 Luftdurchsatz (erforderlicher Volumenstrom $V_{\text{erf}}$ ) .....	20
6.4 Thermische Auftriebsgeschwindigkeit $w_{\text{th}}$ .....	21
6.5 Wirksame Abluftfläche $A_{\text{wirk}}$ .....	21
6.6 Zuluftfläche .....	21
7 Gerätebemessung.....	21
7.1 Vereinfachte Bemessung .....	21

<b>7.2 Bemessung der Lüftungsgeräte</b> .....	<b>22</b>
7.2.1 Geometrisch freie Fläche $A_{G, \text{vorhanden}}$ .....	22
7.2.2 Aerodynamisch wirksame Fläche $A_w$ .....	22
7.2.3 Ermittlung der erforderlichen Lüftungsgeräteanzahl .....	23
<b>7.3 Bemessung der Zuluftgeräte</b> .....	<b>23</b>
<b>8 Anordnung und Betrieb der Geräte</b> .....	<b>23</b>
<b>9 Zusammenwirken zwischen Lüftungs- und RWA-Geräten</b> .....	<b>24</b>
<b>10 Pflege und Wartung</b> .....	<b>24</b>
<b>11 Rechtsgrundlagen</b> .....	<b>24</b>
<b>12 Literatur</b> .....	<b>25</b>
<b>Anlage 1: Diagramme zur Berechnung der äußeren Wärmelast</b> .....	<b>26</b>
<b>Anlage 2: Erfahrungswerte für außenluftbezogene Luftwechselzahlen nach [6]</b> .....	<b>27</b>
<b>Anlage 3: Checkliste für eine Lüftungsplanung</b> .....	<b>30</b>

## Allgemeines

Einen großen Teil des Tages verbringt der Mensch am Arbeitsplatz. Menschengerechte Arbeitsbedingungen und ein angenehmes Raumklima sind die Voraussetzungen für die Erhaltung der Gesundheit und eine Förderung der Leistungsfähigkeit. Das richtige Raumklima ist nicht nur ein wesentlicher Bestandteil eines humanen Arbeitsumfeldes, sondern zugleich ein wichtiger Produktivitätsfaktor. Ein Mensch kann nur dann optimale Arbeitsergebnisse erzielen, wenn auch das Klima an seinem Arbeitsplatz stimmt. Schlechte Lüftungs- und Temperaturverhältnisse bewirken auch eine Minderung des Wohlbefindens und der Reaktionsfähigkeit. Die Folgen sind die Zunahme von Arbeitsunfällen und Fehlern sowie die Abnahme der Leistungsfähigkeit. Die natürliche Be- und Entlüftung durch Lichtkuppeln und Lichtbänder kann hier helfen, auf wirtschaftliche Weise sinnvoll die Luftverhältnisse am Arbeitsplatz zu verbessern.

Die Berechnung einer natürlichen Lüftung unter Verwendung von Lichtkuppeln, Dachlichtbändern oder Jalousien ist komplex und umfangreich. Die Fachberater der Mitgliedsfirmen des FVLR stehen Ihnen dabei gerne unterstützend zur Seite. Falls Sie für Ihr Objekt eine unverbindliche Projektierung einer natürlichen Gebäudelüftung benötigen, füllen Sie bitte die vorbereitete Checkliste in Anlage 3 dieser Richtlinie aus und schicken diese an eines unserer Mitgliedsunternehmen.

## 1 Anwendungsbereich

Diese FVLR-Richtlinie regelt die natürliche Lüftung von Räumen mit Abmessungen, die über die in der Technischen Regel für Arbeitsstätten festgelegten Maße (max. 10 m bei System I, max. 20 m bei System II) hinausgehen. Das sind in der Regel großflächige oder hallenartige Räume. Sie beschreibt zudem die Grundlagen für die Dimensionierung einer freien Lüftung und gibt die dazu notwendigen Rechenregeln an.

## 2 Normative Verweise

DIN 1946-6 *Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung*

DIN EN 13779 *Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme*

DIN EN 15241 *Lüftung von Gebäuden. Berechnungsverfahren für den Energieverlust aufgrund der Lüftung und Infiltration in Nichtwohngebäuden*

DIN EN 15242 *Lüftung von Gebäuden. Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration*

DIN EN 15251 *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*

DIN V 18599-7 *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau*

VDI 2086 Blatt 1 *Raumlufttechnische Anlagen für Druckereien – Tiefdruckbetriebe*

VDI 3802 Blatt 1 *Raumlufttechnische Anlagen für Fertigungsstätten*

### **3 Begriffe und Definitionen**

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

#### **3.1 Abluft**

Luftstrom, der den behandelten Raum verlässt  
[Quelle: DIN EN 13779]

#### **3.2 Arbeitsplatzlüftung**

Austausch von verunreinigter gegen saubere Luft. Der Austausch kann über maschinelle (technische) Lüftung oder freie (natürliche) Lüftung erfolgen.  
[Quelle: BGI 5121]

#### **3.3 Außenluft**

unbehandelte Luft, die von außen in eine Öffnung einströmt  
[Quelle: DIN EN 13779]

#### **3.4 bedarfsgeregelte Lüftung**

Lüftungsanlage, bei der der Luftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Luftqualität, der Feuchte, der Belegung oder einem anderen Indikator für den Lüftungsbedarf geregelt ist  
[Quelle: DIN EN 13779]

#### **3.5 Effektivtemperatur**

Behaglichkeitsmaßstab, der das subjektive Temperaturempfinden des menschlichen Körpers bei unterschiedlicher Luftgeschwindigkeit, Luft- und Feuchttemperatur sowie Bekleidung beschreibt

#### **3.6 Exfiltration (Leckage)**

Luftaustritt aus dem Gebäude über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle  
[Quelle: DIN EN 13779]

### 3.7 Fensterlüftung

freie Lüftung durch das Öffnen von Fenstern  
[Quelle: DIN EN 15242]

### 3.8 Feuchtelast

Betrag (Differenzwert), um den die Raumluft feuchter ist als die Außenluft

ANMERKUNG: Man kann drei Stufen der Feuchtelast unterscheiden:  
niedrige Feuchtelast (bis 2 g/m<sup>3</sup>)  
normale Feuchtelast (zwischen 2 und 4 g/m<sup>3</sup>)  
hohe Feuchtelast (über 4 g/m<sup>3</sup>)

### 3.9 Freie Lüftung (natürliche Lüftung)

Lüftung mit Förderung der Luft durch Druckunterschiede infolge Wind oder Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen, z. B. Fensterlüftung, Schachtlüftung, Dachaufsatzlüftung und Lüftung durch sonstige Öffnungen

### 3.10 Fortluft

Luftstrom, der ins Freie strömt  
[Quelle: DIN EN 13779]

### 3.11 Gerät für Zuluftöffnung

Im unteren Außenwandbereich eines Gebäudes oder eines Raumes angeordnete, normalerweise verschlossene Öffnung, die im Lüftungs- oder Brandfall mittels eines kraftbetätigten Antriebes geöffnet eine möglichst bodennahe Nachströmung von Frischluft sicherstellen soll

### 3.12 Infiltration (Leckage)

Lufttritt in das Gebäude über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle  
[Quelle: DIN EN 13779]

### 3.13 Lufttemperatur

die Temperatur der den Menschen umgebenden Luft ohne Einwirkung von Wärmestrahlung

### 3.14 Luftdurchsatz (erforderlicher Volumenstrom $V_{\text{erf}}$ )

gibt an, wie viel Luft (in m<sup>3</sup>) pro Zeiteinheit (in s) bewegt werden muss

### 3.15 Luftwechselrate $\beta$

gibt das Vielfache des Raumvolumens pro Zeiteinheit in [1/h] an, das zu- und abgeführt wird

ANMERKUNG: Für die Festlegung einer Luftwechselrate ist die Art der Raumnutzung wichtig.

### 3.16 Lüftung

Erneuerung der Raumluft durch direkte oder indirekte Zuführung von Außenluft. Die Lüftung kann durch eine freie Lüftung oder durch raumluftechnische Anlagen erfolgen.

### 3.17 Lüftungsanlage

Kombination von Geräten zur Versorgung von Innenräumen mit Außenluft und zur Abführung belasteter (erwärmter und/oder verschmutzter) Raumluft

ANMERKUNG: Lüftungsanlage kann sich auch auf Anlagen für die freie Lüftung beziehen, bei denen Temperaturunterschiede und Wind über Zuluftöffnungen in Verbindung mit einer maschinellen Entlüftung (z. B. in Korridoren, Toiletten usw.) genutzt werden. Sowohl die maschinelle als auch die freie Lüftung kann mit automatisierten Lüftungsgeräten (z. B. Fenster, Lichtkuppeln, Lichtbandflügeln, Jalousien, o. ä.) kombiniert werden. Eine Kombination von maschinellen und nichtmaschinellen Bauteilen ist möglich (Hybridanlagen).  
[vgl. auch DIN EN 13779]

### 3.18 Lüftungsgerät (natürliche Lüftung)

Im Außenwand- oder Dachbereich eines Gebäudes oder eines Raumes angeordnete, normalerweise verschlossene Öffnung, die mittels eines kraftbetätigten Antriebes geöffnet eine natürliche Be- oder Entlüftung sicherstellen soll

### 3.19 Lüftungsrate

Größe des Stroms von Außenluft in einen Raum oder ein Gebäude entweder durch die Lüftungsanlage oder durch Infiltration durch die Gebäudehülle. Die Angabe der Lüftungsrate kann auf die Personen [ $l/s/pers$  oder  $m^3/h/pers$ ] oder auf eine Fläche [ $l/s/m^2$  oder  $m^3/h/m^2$ ] bezogen erfolgen.  
[Quelle: DIN EN 15251]

### 3.20 Nutzer/Anwender

Person(en), die im täglichen Betrieb oder bei Bedarf Öffnungsbewegungen der Abdeckungen auslösen

### 3.21 NRWG

Abkürzung für natürliches Rauch- und Wärmeabzugsgerät

### 3.22 Raumluft

Luft im behandelten Raum oder Bereich  
[Quelle: DIN EN 13779]

### 3.23 Raumlufthechnische Anlagen (RLT-Anlagen)

Anlagen mit maschineller Förderung der Luft, Luftreinigung (Filtern) und mindestens einer thermodynamischen Luftbehandlungsfunktion (Heizen, Kühlen, Befeuchten oder Entfeuchten)

### 3.24 Raumtemperatur

die vom Menschen empfundene Temperatur.

ANMERKUNG: Sie wird u. a. durch die Lufttemperatur und die Temperatur der umgebenden Flächen (insbesondere Fenster, Wände, Decke, Fußboden) sowie die Luftgeschwindigkeit bestimmt.

### 3.25 RWA

Abkürzung für Rauch- und Wärmeabzugsanlage

### 3.26 Stoßlüftung

kurzzeitiger, intensiver Luftaustausch zur Beseitigung von Lasten aus Arbeitsräumen

ANMERKUNG: Nach ASR A3.6 wird unter kurzzeitig ein Zeitraum von ca. 3 bis 10 Minuten verstanden.  
[Quelle: ASR A3.6 Lüftung]

### 3.27 Temperaturgradient

gerichtete physikalische Größe, die beschreibt, wie stark die Temperatur vom Ort abhängt und in welcher Richtung sie am stärksten steigt. Die Angabe erfolgt in Kelvin pro Meter (K/m).

### 3.28 Wärmelast (Kühllast)

die Wärmemenge, die aus einem Raum abgeführt werden muss, um den Raumluftzustand in einem bestimmten Temperaturbereich zu halten. Die Angabe erfolgt in Kilowatt (kW).

ANMERKUNG: Die Wärmelast kann entweder durch messtechnische Analyse in einem vergleichbar genutzten Gebäude oder durch Berechnung über die installierten Maschinen- und sonstigen Energieanschlussleistungen ermittelt werden.

### 3.29 Zugluft

störende Luftbewegung, die zu einer lokalen Abkühlung, insbesondere an unbedeckten Körperflächen führt.

ANMERKUNG: Zugluft kann sowohl durch freie Lüftung als auch durch RLT-Anlagen hervorgerufen werden.

### 3.30 Zuluft

Luftstrom, der in den behandelten Raum eintritt  
[Quelle: DIN EN 13779]

## 4 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Einheiten.

Größe	Symbol	Einheit
Restdachfläche	$A_{FD}$	[m <sup>2</sup> ]
geometrisch freie Fläche	$A_{G,vorhanden}$	[m <sup>2</sup> ]
geometrisch freie Fläche des gewählten Zuluftgerätes	$A_{G,zul}$	[m <sup>2</sup> ]
Gebäudegrundfläche	$A_H$	[m <sup>2</sup> ]
aerodynamisch wirksame Öffnungsflächen	$A_w$	[m <sup>2</sup> ]
ermittelte wirksame Abluftfläche	$A_{wirk}$	[m <sup>2</sup> ]
Gesamtzuluftfläche	$A_{zul}$	[m <sup>2</sup> ]
Breite der lichten Öffnung (z. B. einer Lichtkuppel)	$B$	[m]
spezifische Wärme der Luft	$c_{pL}$	[kJ/(kg · K)]
Erdbeschleunigung	$g$	[m/s <sup>2</sup> ]
Gesamtenergiedurchlassgrad	$g_e$	[-]

des transparenten Vergleichsmaterials der Dachoberlichter		
Raumhöhe	$h$	[m]
wirksame Raumhöhe	$h_{\text{wirk}}$	[m]
Hubhöhe des Aufstellaggregates	$H$	[m]
Sonnenintensität	$I$	[kW/m <sup>2</sup> ]
Versprossungsfaktor der Oberlichter	$k_1$	[-]
Verschmutzungsfaktor der Oberlichter	$k_2$	[-]
Länge der lichten Öffnung (z. B. einer Lichtkuppel)	$L$	[m]
Anzahl der weiblichen Mitarbeiterinnen	$m$	[-]
Anzahl der männlichen Mitarbeiter	$n$	[-]
erforderliche Anzahl an Lüftungsgeräten	$n$	[-]
erforderliche Anzahl an Zuluftgeräten	$n$	[-]
Spezifische Wärmeabgabe von Personen	$q_i$	[W/Person]
Äußere Wärmelast	$Q_a$	[kW]
Wärmelast infolge Solarstrahlung durch Dachoberlichter	$Q_{DL}$	[kW]
Gesamtwärmelast	$Q_{\text{ges}}$	[kW]
Innere Wärmelast	$Q_i$	[kW]
Wärmelast infolge Solarstrahlung durch Restdachfläche	$Q_{RD}$	[kW]
Temperaturgradient	$r$	[K/m]
installierte Leistung von Maschinen	$R_i$	[kW]
Außentemperatur	$T_a$	[K]
Luftvolumenstrom	$V$	[m <sup>3</sup> /h]
erforderlicher Volumenstrom	$V_{\text{erf}}$	[m <sup>3</sup> /s]
Raumvolumen	$V_R$	[m <sup>3</sup> ]
zulässige Strömungsgeschwindigkeit an der Zuluftöffnung	$v_{\text{zu,zul.}}$	[m/s]
thermische Auftriebsgeschwindigkeit	$w_{\text{th}}$	[m/s]
Strahlungsfaktor	$\gamma$	[-]
Absorptionsfaktor der Dachfläche	$\alpha$	[-]
Luftwechselrate	$\beta$	[1/h]
Temperaturanstieg	$\Delta T$	[K]
Dichte der Luft	$\rho_L$	[kg/m <sup>3</sup> ]

Tabelle 1: Symbole und Einheiten

### 5 Grundlagen

Jeder Mensch braucht ausreichend Sauerstoff und frische Luft, um arbeiten zu können. Dämpfe und Stäube, Hitze, schädliche Gase und Sauerstoffmangel beeinträchtigen die menschliche Gesundheit und damit auch die Leistungsfähigkeit. Schlechte Lüftungs- und Temperaturverhältnisse bewirken eine Minderung des Wohlbefindens und der Reaktionsfähigkeit. Die Folgen sind kurzfristig die Zunahme von Arbeitsunfällen und Fehlern sowie die Abnahme der Leistungsfähigkeit und langfristig eine Zunahme von Erkrankungen.

#### 5.1 Zusammenhang zwischen Raumklima und Produktivität

Klimatische Störfaktoren wie zu hohe Umgebungstemperaturen und verunreinigte Luft wirken sich negativ auf die Effizienz und die Sicherheit der Beschäftigten aus. Untersuchungen von Arbeitspsychologen und Werksärzten haben ergeben: Mit jedem Grad Temperatursteigerung über 20°C sinkt die Produktivität. Bereits ab einer Raumtemperatur von 24 °C setzt eine deutliche Leistungsminderung ein. Sind die klimatischen Umgebungsbedingungen, d.h. Lufttemperatur, Luftbewegung, Luftfeuchtigkeit und Sauerstoffgehalt der Luft, jedoch ausgeglichen, bleibt die Leistung relativ stabil.

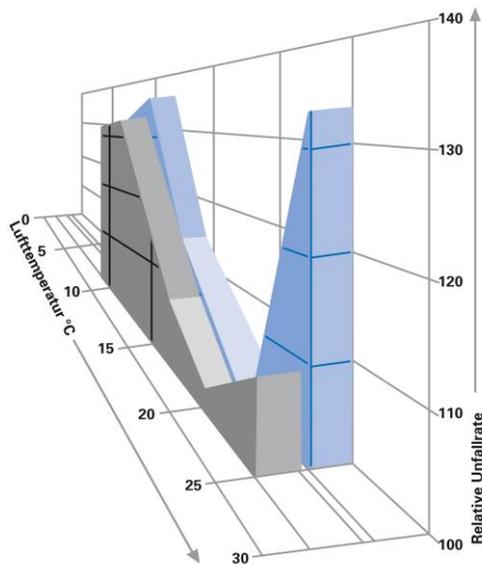


Abbildung 1: Diagramm zur Unfallrate in Abhängigkeit von Umgebungstemperaturen

20 °C ↓ bei 50% rel. Feuchtigkeit ↓ 35-40 °C	1. Behaglichkeitstemperatur	voll leistungsfähig
	2. Unbehaglichkeit Reizbarkeit Konzentrationsmangel Leistungsabfall bei geistiger Arbeit	psychische Störungen
	3. Zunahme von Arbeitsfehlern Leistungsabfall bei Arbeiten, die Geschicklichkeit erfordern Zunahme von Unfällen	psycho-physiologische Störungen
	4. Leistungsabfall bei Schwerarbeit Störung des Wasser- und Salzhaushaltes Starke Belastung von Herz und Kreislauf Starke Ermüdung und drohende Erschöpfung	physiologische Störungen
	5. Höchsterträgliche Temperaturgrenze	arbeitsunfähig

Abbildung 2: Tabelle zum Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Raumtemperatur

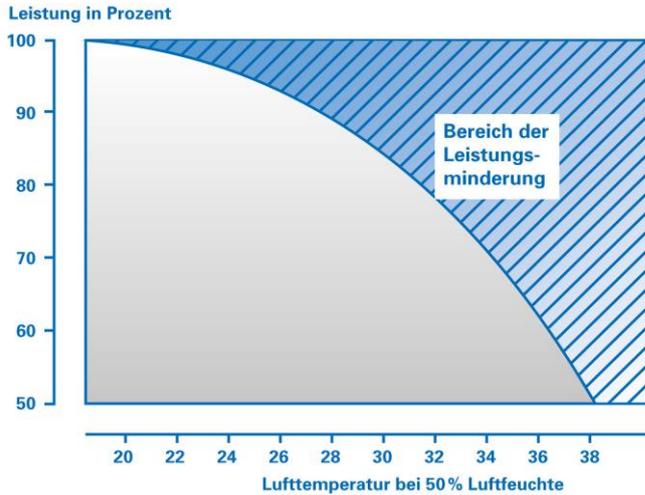


Abbildung 3: Diagramm zum Leistungsabfall in Abhängigkeit von der Raumtemperatur

### 5.2 Zusammenhang zwischen Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur

Das Behaglichkeitsempfinden ist bei allen Menschen unterschiedlich und von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängig. Die wichtigsten Daten zur Definition eines bestimmten Luftzustandes sind die Effektivtemperatur sowie Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur.

Die Effektivtemperatur ist ein Behaglichkeitsmaßstab, der das subjektive Temperaturempfinden des menschlichen Körpers bei unterschiedlicher Luftgeschwindigkeit, Luft- und Feuchttemperatur sowie Bekleidung beschreibt.

Die relative Luftfeuchte beeinflusst die Wärmetransportvorgänge an der Oberfläche der menschlichen Haut. Soll der Mensch sich wohlfühlen, ist die relative Luftfeuchte – bei einer Normaltemperatur von 20 bis 22°C – zwischen 35 und 65 % zu halten. Bei höheren Raumtemperaturen bis zu 26°C sollte sie nicht über 55 % liegen. Unterhalb eines Wertes von 30 % für die relative Feuchte der Luft können gesundheitliche Beeinträchtigungen (z. B. trockene Schleimhäute) und störende, statische Aufladungen auftreten.

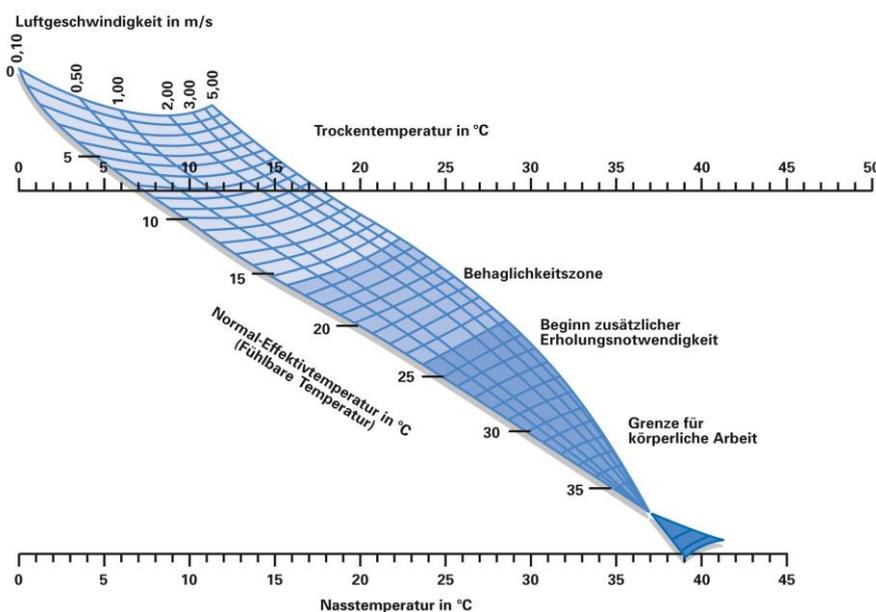


Abbildung 4: Diagramm zum subjektiven Temperaturempfinden

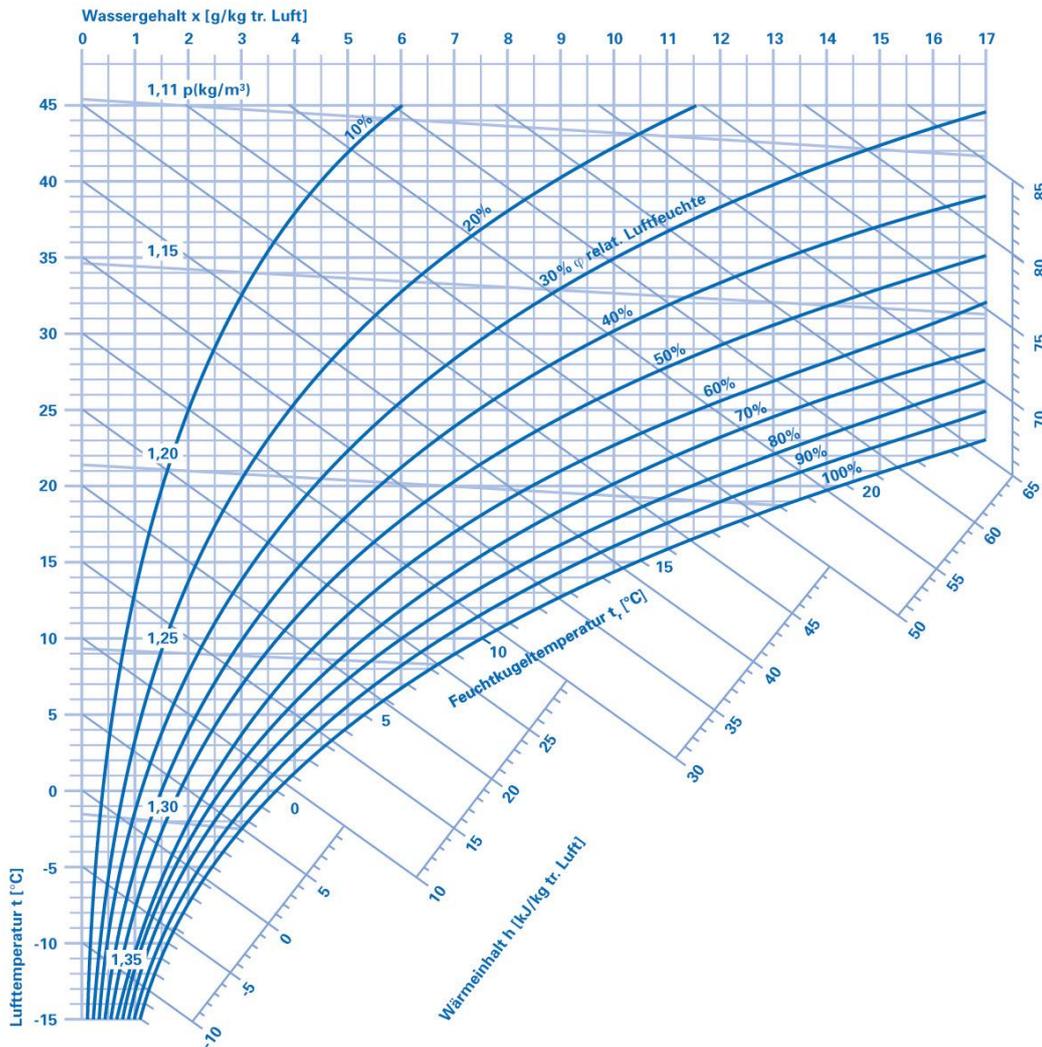


Abbildung 5: Das Mollier-Diagramm (oder hx-Diagramm) verdeutlicht die komplexen Zusammenhänge zwischen der Lufttemperatur und dem relativen bzw. absoluten Feuchtegehalt der Luft

**5.3 Übersicht über Luftwechselraten**

Der Luft-Austausch pro Stunde wird als Luftwechselrate  $\beta$  bezeichnet, dessen Einheit 1/h ist. Wird das gesamte Luftvolumen des umbauten Raumes innerhalb einer Stunde genau einmal ausgetauscht wird, ist die Luftwechselrate 1/h.

$$\beta = \frac{V}{V_R} [1/h] \tag{1}$$

Dabei ist

- V Luftvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h
- V<sub>R</sub> Raumvolumen in m<sup>3</sup>

Empfehlungen für die Luftwechselrate $\beta$ [1/h]	
Lagerhalle Maschinenbau	1 - 2
Werkstätten allgemein	2 - 5
Schweißereien	5 - 8
Lagerhalle Lebensmittel	4 - 10
Papier- und Druckindustrie	6 - 15
Lackierereien	10 - 30

Tabelle 2: Empfehlungen für die Luftwechselrate  $\beta$  je nach Nutzung

Anlage 2 listet weitere Erfahrungswerte für außenluftbezogene Luftwechselzahlen in Abhängigkeit von der Nutzung auf.

### 5.4 Prinzip der natürlichen Lüftung

Unter freier Lüftung ist eine Lufterneuerung (Luftaustausch) zu verstehen, die durch Ausnutzung der natürlichen Druckunterschiede infolge Wind und/oder Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen ohne Verwendung von kraftgetriebenen Ventilatoren hervorgerufen wird. Die „freie“ Lüftung wird im Allgemeinen auch als „natürliche“ Lüftung bezeichnet.

Die freie Lüftung kann als Stoßlüftung oder kontinuierliche Lüftung erfolgen.

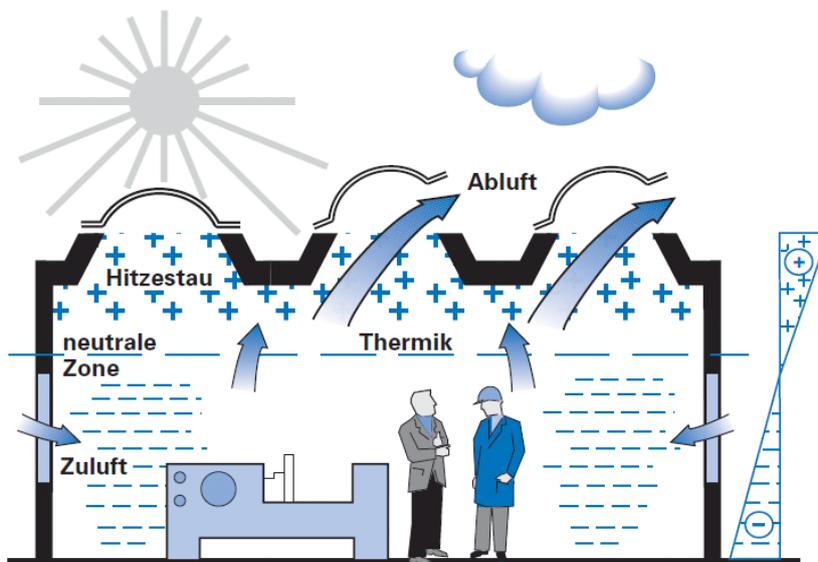


Abbildung 6: Funktionsprinzip einer natürlichen Lüftung

Der thermische Auftrieb ist sozusagen der „Motor“ der freien Lüftung. In Abhängigkeit von der Gebäudehöhe und dem Temperaturanstieg ist er das Maß für die Geschwindigkeit, mit der die warme Luft nach oben steigt und durch die Dachöffnungen abströmt. Wird die warme Luft durch Dachöffnungen abgeleitet und kann von unten frische Außenluft nachfließen, kommt es auf natürliche Weise zu einer kontinuierlichen Lufterneuerung.

Das Prinzip der natürlichen Lüftung durch öffnenbare Lichtkuppeln und Lichtbänder ist in nahezu allen Betrieben anwendbar. Einmal installiert, verursacht das Lüftungssystem keine Betriebskosten mehr, denn es arbeitet weitgehend energie- und wartungsfrei. Es muss jedoch – wie jedes Lüftungssystem – professionell konzipiert werden, um einen spürbaren Nutzeffekt gewährleisten zu können.

Eine freie Lüftung gilt immer dann als ausreichend, wenn z. B. Arbeiten

- geringen Umfanges,
- mit kleinen Mengen,
- mit Stoffen geringen Gefährdungspotentials (gesundheitsbelastend),
- in Räumen mit hohem Raumvolumen durchgeführt werden.

Bauliche Gegebenheiten oder Arbeitsverfahren können die freie Lüftung in ihrer Wirksamkeit einschränken. Anwendungsbeschränkungen sind z. B. in speziellen Vorschriften enthalten:

- Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft),
- „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ (BGI 593),
- „Fahrzeug-Instandhaltung“ (BGR 157).

Anlagen zur freien Lüftung müssen so dimensioniert und beschaffen sein, dass die Luft am Arbeitsplatz auch unter jahreszeitlich ungünstigen Witterungsverhältnissen nachstehende Forderungen erfüllt:

- Es muss sichergestellt sein, dass die Luft im Atembereich nicht gesundheitsgefährdend, hygienisch einwandfrei und nicht unangemessen belastigend ist und
- sich am Arbeitsplatz mit brennbaren Luftverunreinigungen keine Brand- und Explosionsgefahr bildet.

### 5.5 Systeme der freien Lüftung

Nach ASR A3.6 „Lüftung“ werden folgende Systeme der freien Lüftung unterschieden:

#### System I

einseitige Lüftung mit Zu- und Abluftöffnungen in einer Außenwand; gemeinsame Öffnungen sind zulässig

#### System II

Querlüftung mit Öffnungen in gegenüberliegenden Außenwänden oder in einer Außenwand und der Dachfläche

Dem System I ist die einfachste Form der freien Lüftung, die Fensterlüftung, zuzurechnen. Sie hat vor allem in Räumen von Büro- und Verwaltungsgebäuden eine hohe Akzeptanz, falls die Öffnung der Fenster von den Beschäftigten selbst bestimmt werden kann.

Dem System II wird die in dieser Richtlinie abgehandelte Form der Querlüftung über Zuluftöffnungen in Wand- oder Fassadenflächen und Abluftöffnungen über Lüftungsgeräte in Dachoberlichtern in Form von Lichtkuppeln oder innerhalb von Dachlichtbändern zugerechnet.

Die unten dargestellte Tabelle 3 gibt dabei die geometrischen Mindestöffnungsflächen zur Sicherung des Mindestluftwechsels in Abhängigkeit von der jeweiligen Lüftungsart an. In Abschnitt 7.2.1 wird die Berechnung der geometrischen Öffnungsfläche anhand einer lüftbaren Lichtkuppel erläutert. In Abschnitt 7.2.2 wird dem gegenüber die aerodynamisch wirksame Öffnungsflächen ( $A_w$ ) erklärt.

System	Maximal zulässige Raumtiefe bezogen auf die lichte Raumhöhe (h) [m]	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels	
		für kontinuierliche Lüftung [m <sup>2</sup> /anwesende Person]	für Stoßlüftung [m <sup>2</sup> /10 m <sup>2</sup> Grundfläche]
<b>I</b> einseitige Lüftung	Raumtiefe = 2,5 x h (bei h > 4 m: max. Raumtiefe = 10 m) (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,08 m/s)	0,35	1,05
<b>II</b> Querlüftung	Raumtiefe = 5,0 x h (bei h > 4 m: max. Raumtiefe = 20 m) (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,14 m/s)	0,20	0,60

Tabelle 3: Mindestöffnungsfläche - als Summe aus Zuluft- und Abluftflächen - für eine kontinuierliche Lüftung und eine Stoßlüftung für Raumtiefen bis max. 20 m (Quelle: ASR A3.6)

### 5.6 Schichtlüftung

Als besonders geeignet für die Lüftung von Industriehallen hat sich in den letzten Jahren die Schichtlüftung herausgestellt. Hierbei werden die natürlichen, an thermischen Quellen entstehenden Konvektionsströmungen zum Aufbau der Raumluftströmung genutzt.

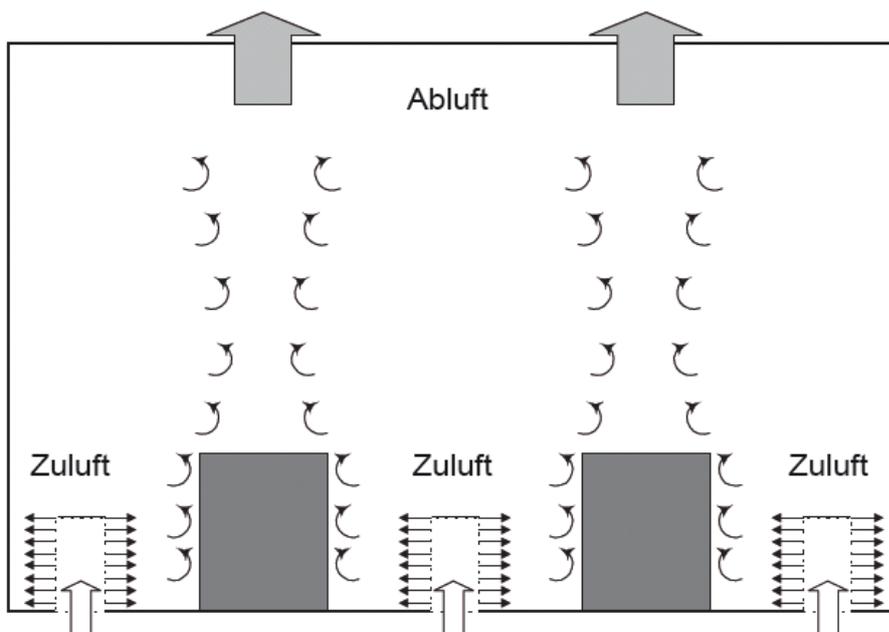


Abbildung 7: Optimale Luftführung durch Schichtenströmung [Quelle: BGI 5121]

Die Zuluft ist daher so einzubringen, dass die Thermikströmung nicht gestört wird. Mit der an den Wärmequellen entstehenden Konvektionsströmung, die oberhalb der Wärmequelle einen Freistrahlfeld bildet, wird die erwärmte und mit luftfremden Stoffen angereicherte Luft nach oben in einen Bereich gefördert, der außerhalb der Aufenthaltszone des Menschen liegt. [Quelle: VDI 3802-1]

Die meist kühlere Frischluft wird bei der Schichtenströmung nicht von der Decke aus, sondern bodennah und zugluftfrei eingebracht. Man verwendet hierzu spezielle Luftauslässe, so genannte Quellluftdurchlässe. Die kühlere Frischluft breitet sich wegen des spezifisch schweren Gewichts bodennah, also direkt in den Arbeitsbereichen aus. Somit entsteht ein »Frischluffsee«, eine Schicht, die nahezu die Qualität der eingebrachten Frischluft hat. Diese Frischluftschicht erstreckt sich über die Köpfe der Beschäftigten hinweg, wobei gleichzeitig die während der Produktion entstehende Wärme und Feuchte in den Deckenbereich verdrängt und von dort abgeführt wird. Das Klima an den Arbeitsplätzen wird somit hauptsächlich durch die eingebrachte Frischluft geprägt und weniger durch die während der Produktion anfallende Wärme und Feuchte. Dies wirkt sich belastungsmindernd an den Arbeitsplätzen aus, da die raumklimatische Situation verbessert wird und bei ausreichend großen Zuluftflächen Zuglufterscheinungen vermieden werden können.

Wichtigste Voraussetzung für eine Schichtenströmung ist, dass prozesstechnisch Wärme entsteht und im Raum freigesetzt wird (Thermikstrom). Das heißt, es bietet sich immer dann die Schichtenströmung als wirkungsvolle Lüftungsvariante an, wenn Thermikströme entstehen und zugleich unerwünschte Lasten wie Hitze, Feuchte oder Dämpfe in den Raum freigesetzt werden. [5]

## 5.7 Zuluft

Die Zuluftqualität in Gebäuden, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, muss so sein, dass unter Berücksichtigung der zu erwartenden Emissionen aus inneren Verunreinigungsquellen (menschliche Stoffwechsel, Aktivitäten und Arbeitsverfahren, Baustoffe, Möbel) eine geeignete Raumluftqualität erreicht wird.

Im Rahmen der Anlagendimensionierung sind auch die Außenluftvolumenströme und deren Eintrittsfläche festzulegen.

## 5.8 Grenzen einer natürlichen Lüftung

Da die natürliche Lüftung von den gerade herrschenden äußeren klimatischen Bedingungen (Wind, Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbelastung etc.) abhängig ist, kann mit ihr keine gleichmäßige Versorgung zuverlässig zu jeder Tages- und Nachtzeit garantiert werden, wie dies etwa bei einer steuerbaren mechanischen Lüftungsanlage eventuell mit einer Luftbehandlung (Erwärmung bzw. Kühlung, Be- und Entfeuchtung, Luftreinigung) möglich wäre.

Unabdingbare Notwendigkeit für ein Funktionieren der natürlichen Lüftung ist das Vorhandensein einer ausreichend großen Druckdifferenz (siehe Abbildung 6). Fehlt diese Druckdifferenz „fördert“ die natürliche Lüftung keinen Luftvolumenstrom.

Auch bergen Änderungen der Nutzung Risiken, wenn z. B. in einer großen Halle nachträglich Raumteiler eingebaut werden, die eventuell die projektierte Luftströmung unterbrechen. Insofern ist stets bei solchen baulichen Änderungen zu überprüfen, ob durch die Maßnahme die Raumlüftung betroffen ist.

Dennoch sollte aufgrund der unbestrittenen Vorteile einer natürlichen Lüftung nicht auf diese verzichtet werden und eine mechanische Lüftungsanlage auch aus Kostengründen nur dort installiert und betrieben werden, wo sie aufgrund spezieller Gegebenheiten unbedingt notwendig ist.

## 6 Dimensionierung der freien Lüftung

Die Frage nach der Art des Lüftungskonzepts, der Ausführung, der notwendigen Menge und der Anordnung der Lüftungsöffnungen für die Lichtkuppeln, Dachlichtbänder und Jalousien auf der Dachfläche richtet sich einerseits nach dem geplanten Nutzungszweck, nach wirtschaftlichen Aspekten des Bauherrn, im Wesentlichen aber nach den Bedürfnissen und Forderungen der Nutzer.

Die Berechnung einer natürlichen Lüftung unter Verwendung von Lichtkuppeln, Dachlichtbändern oder Jalousien ist komplex und umfangreich. Die Fachberater der Mitgliedsfirmen des FVLR stehen Ihnen dabei gerne unterstützend zur Seite. Falls Sie für Ihr Objekt eine unverbindliche Projektierung einer natürlichen Gebäudelüftung benötigen, füllen Sie bitte die vorbereitete Checkliste in Anlage 3 dieser Richtlinie aus und schicken diese an eines unserer Mitgliedsunternehmen.

### 6.1 Wärmeaufkommen/Wärmelast

Grundlage jeder Lüftungstechnischen Berechnung ist die Bestimmung des zu erwartenden Wärmeaufkommens bzw. der Wärmelast. Die Intensität des Abluftvolumens richtet sich nach dem Dichteunterschied bzw. der Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außenluft sowie der Gebäudehöhe.

Die Größe der Wärmelast kann entweder durch messtechnische Analyse in einem vergleichbar genutzten Gebäude oder durch Berechnung über die installierten Maschinen- und sonstigen Energieanschlussleistungen ermittelt werden. Neben dem inneren, produktionsbedingten Wärmeaufkommen ist im Sommer auch die äußere Wärmelast zu berücksichtigen, die durch Sonneneinstrahlung auf das Gebäude einwirkt.

Die Gesamtwärmelast wird berechnet zu

$$Q_{\text{ges}} = Q_i + Q_a \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

Dabei ist

$Q_i$  innere Wärmelast in kW  
 $Q_a$  äußere Wärmelast in kW

Die Gesamtwärmelast aus innerer Wärmelast und äußerer Wärmelast ist über die natürliche Lüftung abzuführen.

#### 6.1.1 Innere Wärmelast $Q_i$

Die innere Wärmelast setzt sich zusammen aus den Wärmelasten von Personen, der Beleuchtung und installierten Geräten und Maschinen.

Die körperliche Aktivität eines Menschen beeinflusst seine Wärmeabgabe. Bei sitzender Tätigkeit erzeugt ein Mensch rund 100 W; bei schwerer körperlicher Tätigkeit können es mehr als 200 W sein. Die nachfolgende Tabelle 4 gibt eine genauere Übersicht über menschliche Wärmeabgaben  $q_i$ .

Maschinen und Beleuchtung tragen in modernen Arbeitsstätten den überwiegenden Teil zum Wärmeaufkommen bei. Als Richtwert kann gelten, dass 30 bis 40 % der im betreffenden Raum installierten Leistung in Form von Wärme an die Raumluft abgegeben werden.

Aktivität	Spezifische Wärme $q_i$ [W/Person] <sup>a</sup>
zurückgelehnt	80
entspannt sitzend	100
sitzende Tätigkeit	125
stehende, leichte Tätigkeit (Leichtindustrie)	170
Stehend, mittelschwere Tätigkeit (Arbeit an Maschinen)	210
<sup>a</sup> : Gerundete Werte für einen menschlichen Körper mit einer Oberfläche von 1,8 m <sup>2</sup> /Person	

Tabelle 4: Wärmeerzeugung durch Personen bei unterschiedlichen Aktivitäten (Lufttemperatur 24 °C) [nach DIN EN 13779]

Anhaltswerte für das Wärmeaufkommen in Abhängigkeit des Produktionsbetriebes zeigt Tabelle 5. Sind individuelle Werte für das nachzuweisende Objekt bekannt, können diese verwendet werden.

Wärmeaufkommen $q_i$	
Gießerei/Putzerei	100 W/m <sup>2</sup>
Glüherei	110 W/m <sup>2</sup>
Maschinenbaubetrieb	120 W/m <sup>2</sup>
Umformtechnik/kalt	150 W/m <sup>2</sup>
Umformtechnik/warm	250 W/m <sup>2</sup>
Gießerei/Druckguss	250 W/m <sup>2</sup>
Kunststoffspritzerei	350 W/m <sup>2</sup>
Gießerei/Formguss	350 W/m <sup>2</sup>
Gießerei/Schmelzbetrieb	400 W/m <sup>2</sup>
Schmiedehalle	400 W/m <sup>2</sup>

Tabelle 5: Anhaltswerte für das Wärmeaufkommen  $q_i$  in W pro Quadratmeter Raumgrundfläche in Abhängigkeit von der Nutzung

Die innere Wärmelast  $Q_i$  berechnet sich bei Verwendung eines Anhaltswerts für  $q_i$  zu

$$Q_i = q_i \cdot A_H \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \tag{3}$$

Dabei ist

- $q_i$  spezifisches Wärmeaufkommen in W/m<sup>2</sup> in Abhängigkeit von der Nutzung
- $A_H$  Gebäudegrundfläche in m<sup>2</sup>

Stehen genauere Angaben über die Ausstattung und die maximale Belegung von großen Räumen zur Verfügung, so berechnet sich die innere Wärmelast  $Q_i$  zu

$$Q_i = 0,4 \cdot \sum_{i=1}^n R_i + m \cdot q_f \cdot 10^{-3} + n \cdot q_m \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \tag{4}$$

Dabei ist

- $R_i$  installierte Leistung von Maschinen in kW
- $m$  Anzahl der weiblichen Mitarbeiterinnen
- $n$  Anzahl der männlichen Mitarbeiter
- $q_f$  spezifische Wärmeabgabe weiblicher Mitarbeiter in W (Anhaltswert 90 W/Mitarbeiterin)
- $q_m$  spezifische Wärmeabgabe männlicher Mitarbeiter in W (Anhaltswert 150 W/Mitarbeiter)

Gegebenenfalls ist noch ein Teil der installierten Leistung der Raumbeluchtungsanlage zusätzlich zu berücksichtigen.

### 6.1.2 Äußere Wärmelast $Q_a$

Im Rahmen dieser Richtlinie sind als äußere Wärmelast die Wärmelast durch Dachoberlichter  $Q_{DL}$  infolge Solarstrahlung sowie die Wärmelast durch Aufheizung des Restdachfläche  $Q_{FD}$  anzusetzen. Die Größe der zu berücksichtigenden Sonnenintensität richtet sich dabei nach der geographischen Lage des Bauwerks. Die Wärmelast durch Lichtkuppeln und Lichtbänder wird durch deren Anzahl und Größe sowie die jeweilige Konstruktion bestimmt. Die Wärmeabgabe nach innen durch eine eventuell von der Sonne bestrahlte Fassadenfläche wird vernachlässigt.

$$Q_a = Q_{DL} + Q_{RD} \quad [\text{kW}] \quad (5)$$

Dabei ist

$Q_{DL}$  Wärmelast infolge Solarstrahlung durch Dachoberlichter in kW

$Q_{RD}$  Wärmelast infolge Solarstrahlung durch Restdachfläche in kW

Die Wärmelast durch Dachoberlichter berechnet sich zu

$$Q_{DL} = A_{DL} \cdot I \cdot g_e \cdot k_1 \cdot k_2 \quad [\text{kW}] \quad (6)$$

Dabei ist

$A_{DL}$  Lichteintrittsfläche der Dachoberlichter in  $\text{m}^2$

$I$  Sonnenintensität in  $\text{kW}/\text{m}^2$  (siehe Anlage 1)

$g_e$  Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Verglasungsmaterials der Dachoberlichter

$k_1$  Versprossungsfaktor der Oberlichter

$k_2$  Verschmutzungsfaktor der Oberlichter

Die Wärmelast durch die Restdachfläche berechnet sich zu

$$Q_{RD} = A_{FD} \cdot I \cdot y \cdot \alpha \quad [\text{kW}] \quad (7)$$

Dabei ist

$A_{FD}$  Restdachfläche in  $\text{m}^2$

$I$  Sonnenintensität in  $\text{kW}/\text{m}^2$  (siehe Anlage 1)

$y$  Strahlungsfaktor (U-Wert abhängig, siehe Anlage 1)

$\alpha$  Absorptionsfaktor der Dachfläche (materialabhängig)

$$A_{FD} = A_H - A_{DL} \quad [\text{m}^2] \quad (8)$$

Dabei ist

$A_H$  Gebäudegrundfläche in  $\text{m}^2$

$A_{DL}$  Lichteintrittsfläche der Dachoberlichter in  $\text{m}^2$

## 6.2 Temperaturanstieg über die Raumhöhe

Infolge des thermischen Auftriebs steigt die warme Luft nach oben. Sie bewirkt einen kontinuierlichen Anstieg der Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Raumhöhe (siehe auch Abb. 7). Der Temperaturanstieg  $\Delta T$  berechnet sich zu

$$\Delta T = h_{\text{wirk}} \cdot r \quad [\text{K}] \quad (9)$$

Dabei ist

- $h_{\text{wirkt}}$  wirksame Raumhöhe in m (gemessen von Mitte-Zuluftöffnung bis Mitte-Abluftöffnung)
- $r$  Temperaturgradient in K/m

Zur Bemessung der täglichen Lüftung gelten für das Maß dieses Temperaturanstiegs je nach Betriebsart die Richtwerte entsprechend Abb. 8.

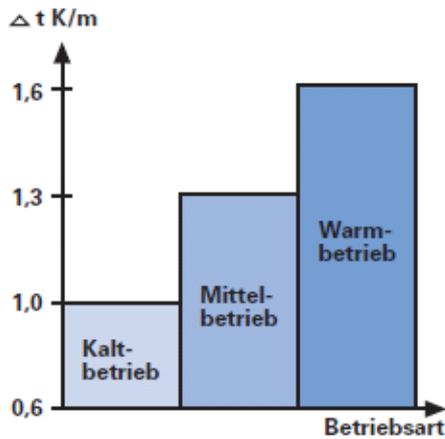


Abbildung 8: Richtwerte des Temperaturgradienten  $r$  in Abhängigkeit vom Betrieb bzw. der Nutzung

In einem Mittelbetrieb steigt die Temperatur also z. B. pro Meter Hallenhöhe um 1,2 K. Bei einer Hallenhöhe von 5 m und einer angenommenen Außentemperatur von +20°C wird sich die Luft infolge des Wärmeaufkommens im Gebäude an der höchsten Stelle der Halle bis auf +26°C erwärmen.

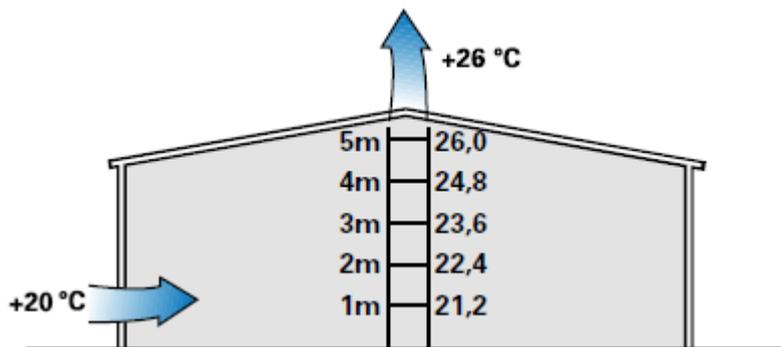


Abbildung 9: Beispielhafter Verlauf des Temperaturgradienten  $r$  über die Hallenhöhe in einem Mittelbetrieb

### 6.3 Luftdurchsatz (erforderlicher Volumenstrom $V_{\text{erf}}$ )

Mit der ermittelten Wärmemenge  $Q_{\text{ges}}$  und dem festgelegten Temperaturanstieg kann die erforderliche Luftmenge  $V_{\text{erf}}$  zur Abführung der Wärmelast bestimmt werden.

$$V_{\text{erf}} = \frac{Q_{\text{ges}}}{\rho_L \cdot c_{pL} \cdot \Delta T} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (10)$$

Dabei ist

- $Q_{\text{ges}}$  Gesamtwärmelast in kW
- $\rho_L$  Dichte der Luft in kg/m<sup>3</sup> (konstant bei 20 °C: 1,2)
- $c_{pL}$  spezifische Wärme der Luft in kJ/(kg · K) (konstant 1,005)
- $\Delta T$  Temperaturanstieg in K

#### 6.4 Thermische Auftriebsgeschwindigkeit $w_{th}$

Die thermische Auftriebsgeschwindigkeit  $w_{th}$  berechnet sich zu

$$w_{th} = \sqrt{0,5 \cdot g \cdot h_{wirk} \cdot \frac{\Delta T}{T_a}} \quad [\text{m/s}] \quad (11)$$

Dabei ist

- $g$  Erdbeschleunigung in  $\text{m/s}^2$  (konstant:  $9,81 \text{ m/s}^2$ )
- $h_{wirk}$  wirksame Raumhöhe in m (gemessen von Mitte-Zuluftöffnung bis Mitte-Abluftöffnung)
- $\Delta T$  Temperaturanstieg in K
- $T_a$  Außentemperatur in K

ANMERKUNG: Z. B. bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  entspricht  $T_a = 293 \text{ K}$

#### 6.5 Wirksame Abluftfläche $A_{wirk}$

Die wirksame Abluftfläche berechnet sich zu

$$A_{wirk} = \frac{V_{erf}}{w_{th}} \quad [\text{m}^2] \quad (12)$$

Dabei ist

- $V_{erf}$  erforderlicher Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{s}$
- $w_{th}$  thermische Auftriebsgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$

#### 6.6 Zuluftfläche

Zuluftöffnungen für die tägliche Lüftung werden üblicherweise zur Verbesserung der Wirksamkeit einer Schwerkraftlüftung möglichst tief angeordnet. Zur Vermeidung von Zugluftbeeinträchtigung der Beschäftigten sind die Größe und die Positionierung der Zuluftöffnungen sorgfältig zu planen. Die Luftgeschwindigkeit sollte in der Regel unter  $0,5$  bis  $1,0 \text{ m/s}$  liegen. Befinden sich Arbeitsplätze in der Nähe der Zuluftöffnungen, so ist durch Vergrößerung der Gesamtzuluftfläche die Geschwindigkeit der Zuluft erheblich unter den vorgenannten Werten zu halten. Üblicherweise wird bei einer Lufttemperatur von  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bei einer Luftgeschwindigkeit unter  $0,2 \text{ m/s}$  keine Beeinträchtigung durch Zugluft empfunden. Dieser Wert ist jedoch stark abhängig von der persönlichen Empfindlichkeit, der Kleidung, dem Grad der körperlichen Anstrengung der Beschäftigten und auch von der Lufttemperatur.

### 7 Gerätebemessung

Querschnitte von Zuluft- und Abluftöffnungen sind so zu wählen, dass ein ausreichender Austausch der Raumluft auch bei ungünstigen Voraussetzungen gewährleistet ist. Bei der Bemessung von hoch liegenden Abluftflächen brauchen mögliche Zuglufterscheinungen in der Regel nicht berücksichtigt werden.

#### 7.1 Vereinfachte Bemessung

Als Orientierungswert für die vereinfachte Dimensionierung einer natürlichen Lüftung kann eine Zuluftfläche und eine gleich große Abluftfläche von jeweils  $2 \%$  der Hallengrundfläche ( $0,02 \text{ m}^2$  je  $\text{m}^2$  Hallengrundfläche) angenommen werden. Unter Berücksichtigung einer nach ASR A3.6 angenommenen Luftgeschwindigkeit von  $0,14 \text{ m/s}$  in der Zu- und Abluftöffnung ergibt sich damit ein erforderlicher Luftdurchsatz von ca.  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  je  $\text{m}^2$  Hallengrundfläche.

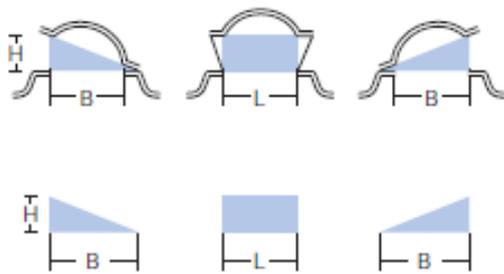
Bei einer beispielhaften Hallenhöhe von 5,0 m wird somit mindestens ein zweifacher Luftwechsel erreicht.

## 7.2 Bemessung der Lüftungsgeräte

Um beurteilen zu können, welche und wie viele Lüftungsgeräte für die Bewältigung einer Lüftungsaufgabe gebraucht werden, muss ermittelt werden, wie groß die mögliche Lüftungs- bzw. Abzugsfläche z. B. einer lüftbaren Lichtkuppel ist. Hierfür kann man einerseits die geometrische Fläche bestimmen, was in der Regel ausreichend ist, oder man ermittelt die sogenannte aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche der lüftbaren Lichtkuppel.

### 7.2.1 Geometrisch freie Fläche $A_{G,vorhanden}$

Eine konventionelle Lichtkuppelhaube ist an einer Seite mit Scharnieren drehbar am Aufsetzkranz befestigt und wird mit einem Aufstellaggregat geöffnet, das eine maximale Hubhöhe  $H$  hat. Gemäß Abb. 10 ist bei einer Lichtkuppel die Öffnungsfläche somit aus zwei Dreiecks- und einer Rechteckfläche zusammensetzt.



$$A_{G \text{ vorhanden}} = H \times (B + L)$$

Abbildung 10: Berechnung der geometrisch freien Fläche  $A_{G,vorhanden}$   
Die geometrisch freie Fläche berechnet sich dann zu

$$A_{G,vorhanden} = H \cdot (B + L) \quad [m^2] \quad (13)$$

Dabei ist

- B Breite der lichten Öffnung in m
- H Hubhöhe des Aufstellaggregates in m
- L Länge der lichten Öffnung in m

Sollte - je nach Öffnungsweite - die Fläche  $A_{G,vorhanden}$  größer sein als die lichte Fläche (=  $B \cdot L$ ), ist die lichte Fläche als geometrisch freie Öffnungsfläche anzusetzen.

### 7.2.2 Aerodynamisch wirksame Fläche $A_w$

Aerodynamisch wirksame Öffnungsflächen ( $A_w$ ) sind aus dem Bereich der Rauch- und Wärmeabzugsgeräte (NRWG) bekannt und werden im Windkanal oder an Modellmessungen ermittelt. Über den festgestellten Wert wird ein Prüfungszeugnis ausgestellt. Er gibt an, um wieviel sich die lichte Öffnungsfläche aufgrund der speziellen strömungstechnischen Konstruktionsart des Bauteils bei Durchfluss verringert. Der  $A_w$ -Wert ist also ein Maß für die tatsächliche strömungstechnische Leistung der Öffnung.

### 7.2.3 Ermittlung der erforderlichen Lüftungsgeräteanzahl

Die erforderliche Anzahl  $n$  an Lüftungsgeräten ermittelt sich zu

$$n = A_{\text{wirk}}/A_{\text{G,vorhanden}} \quad [-] \quad (14)$$

Dabei ist

$A_{\text{G,vorhanden}}$  geometrisch freie Fläche des gewählten Lüftungsgerätes in  $\text{m}^2$   
 $A_{\text{wirk}}$  ermittelte wirksame Abluftfläche in  $\text{m}^2$

### 7.3 Bemessung der Zuluftgeräte

Aus dem erforderlichen Gesamtvolumenstrom  $V_{\text{erf}}$  und einer zulässigen Zuluftgeschwindigkeit an der Austrittsseite lässt sich die erforderliche Gesamtzuluftfläche  $A_{\text{zul}}$  ermitteln.

$$A_{\text{zul}} = V_{\text{erf}}/v_{\text{zu,zul.}} \quad [\text{m}^2] \quad (15)$$

Dabei ist

$V_{\text{erf}}$  erforderlicher Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $v_{\text{zu,zul.}}$  zulässige Strömungsgeschwindigkeit an der Zuluftöffnung in  $\text{m}/\text{s}$

Die erforderliche Anzahl  $n$  an Zuluftgeräten ermittelt sich zu

$$n = A_{\text{zul}}/A_{\text{G,zul}} \quad [-] \quad (16)$$

Dabei ist

$A_{\text{G,zul}}$  geometrisch freie Fläche des gewählten Zuluftgerätes in  $\text{m}^2$   
 $A_{\text{zul}}$  erforderliche Zuluftfläche in  $\text{m}^2$

## 8 Anordnung und Betrieb der Geräte

Die Be- und Entlüftungsöffnungen sind so anzuordnen, dass eine ausreichende gleichmäßige Durchlüftung der Arbeitsräume gewährleistet ist. Durch die Wahl der Luftführung müssen alle durch Luftverunreinigungen belasteten Bereiche erfasst werden. In die Luftführung sind einzubeziehen örtliche Wärmequellen, Entstehungsstellen von Luftverunreinigungen und vorhandene Bewegungen von Luftverunreinigungen.

Zur Unterstützung der Luftführung sind unter anderem folgende Maßnahmen geeignet:

- Zuluftöffnung möglichst tief und Abluftöffnungen möglichst hoch anordnen,
- Zuluftöffnungen möglichst nicht dort anordnen, wo mit einer belasteten Zuluft zu rechnen ist (z. B. an verkehrsreichen Straßen, Ladebereiche, häufig genutzte Kfz-Parkplätze, in der Nähe von Abfallsammelstellen o. ä.),
- Raumbereiche mit großen Entfernungen zu Außenwänden müssen gegebenenfalls eine eigene Luftzufuhr, z. B. über Schächte oder Rohrleitungen über den Boden oder von der Decke aus, erhalten.
- Durch Verstellbarkeit muss eine Verringerung der Lüftungsquerschnitte (Öffnen, Schließen des Zu-/Abluftstromes) möglich sein.

Die Lüftungsfunktion wird meist über einen eigenen Schaltkasten mit separaten Lüftungstastern betrieben. Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn eine manuelle Steuerung der Lüftungsgeräte individuell und arbeitsplatzbezogen möglich ist. In Verbindung mit einer Wind- und Regenautomatik können die Lüftungsgeräte bei Regen oder unzulässig hohen Windgeschwindigkeiten automatisch geschlossen werden.

Durch eine zentrale Aufschaltung auf die Gebäudeautomation (GA) kann z. B. sichergestellt werden, dass sich zu Betriebschluss alle Lüftungsgeräte in geschlossener Stellung befinden oder in eine solche gesteuert werden (Wetter- bzw. Einbruchschutz).

Es ist ratsam, bei lüftbaren Lichtkuppeln oder Lüftungsgeräten in Dachlichtbändern die Scharnierseite zur Hauptwetterseite auszurichten, damit die Flügel entgegen dieser Richtung öffnen. Dies erhöht einerseits die Abzugsleistung, andererseits verhindert es unter Umständen ein Eindringen von Regen.

Es ist auch sicherzustellen, dass der Öffnungsvorgang der Lüftungsgeräte nicht durch außenliegende Sonnenschutzanlagen oder ähnliche Einrichtungen behindert wird.

## 9 Zusammenwirken zwischen Lüftungs- und RWA-Geräten

Wird ein RWA-Gerät zusätzlich mit einer Lüftungsfunktion ausgestattet, ist grundsätzlich in jedem Fall sicherzustellen, dass bei einer parallel vorhandenen RWA-Auslösung im Brandfall diese immer Vorrang vor der Steuerung der täglichen Lüftung und auch einer eventuellen Regen- und Windautomatik hat.

## 10 Pflege und Wartung

Die regelmäßige Wartung von Lüftungsgeräten soll beinhalten:

- Reinigung der Bauelemente,
- Prüfen und eventuelles Ersetzen der Dichtungen,
- Prüfen und Warten und eventuelles Austauschen von Zubehör,
- Warten der Öffnungsvorrichtungen (falls vorhanden).

In jedem Fall sind jedoch vor Beginn aller Arbeiten auf Dachflächen z. B. an und in Lichtkuppeln oder Lichtbändern unbedingt die Herstellervorschriften und -hinweise und die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) der Berufsgenossenschaften zu beachten.

## 11 Rechtsgrundlagen

Die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [1] fordert hinsichtlich einer Lüftung im Anhang unter:

### 3.6 Lüftung

*(1) 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.*

Weiterhin fordert die ArbStättV hinsichtlich der Innenraumtemperatur im Anhang unter:

### 3.5 Raumtemperatur

*(1) 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.*

*(2) Fenster, Oberlichter und Glaswände müssen je nach Art der Arbeit und der Arbeitsstätte eine Abschirmung der Arbeitsstätten gegen übermäßige Sonneneinstrahlung ermöglichen.*

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) konkretisieren im Rahmen des Anwendungsbereichs die Anforderungen der Verordnung über Arbeitsstätten. Vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales wurden im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben:

- ASR A3.5 Raumtemperatur [2]
- ASR A3.6 Lüftung [3]

**12 Literatur**

[1] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV), vom 12. August 2004, BGBl. I S. 2179, ausgegeben am 24. August 2004

[2] Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5 Raumtemperatur, Ausgabe Juni 2010, GMBI 2010, S. 751, Ergänzung GMBI 2012, S. 660

[3] Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.6 Lüftung, Ausgabe Januar 2012, GMBI 2013, S. 359

[4] BGI 5121 Arbeitsplatzlüftung - Entscheidungshilfen für die betriebliche Praxis; Fachausschuss „Einwirkungen und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren“ der BGZ

[5] Das Raumklima ist jetzt deutlich besser, Josef Huber, Akzente 2/2007, Magazin für Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz und Rehabilitation

[6] Bestimmung des Volumenstroms für Lüftungsanlagen nach der Luftwechselzahl; IKZ-HAUSTECHNIK, Ausgabe 4/1999, Seite 58 ff.

Anlage 1: Diagramme zur Berechnung der äußeren Wärmelast

Diagramm 1: Sonnenintensitätskurven für Dach und Wand

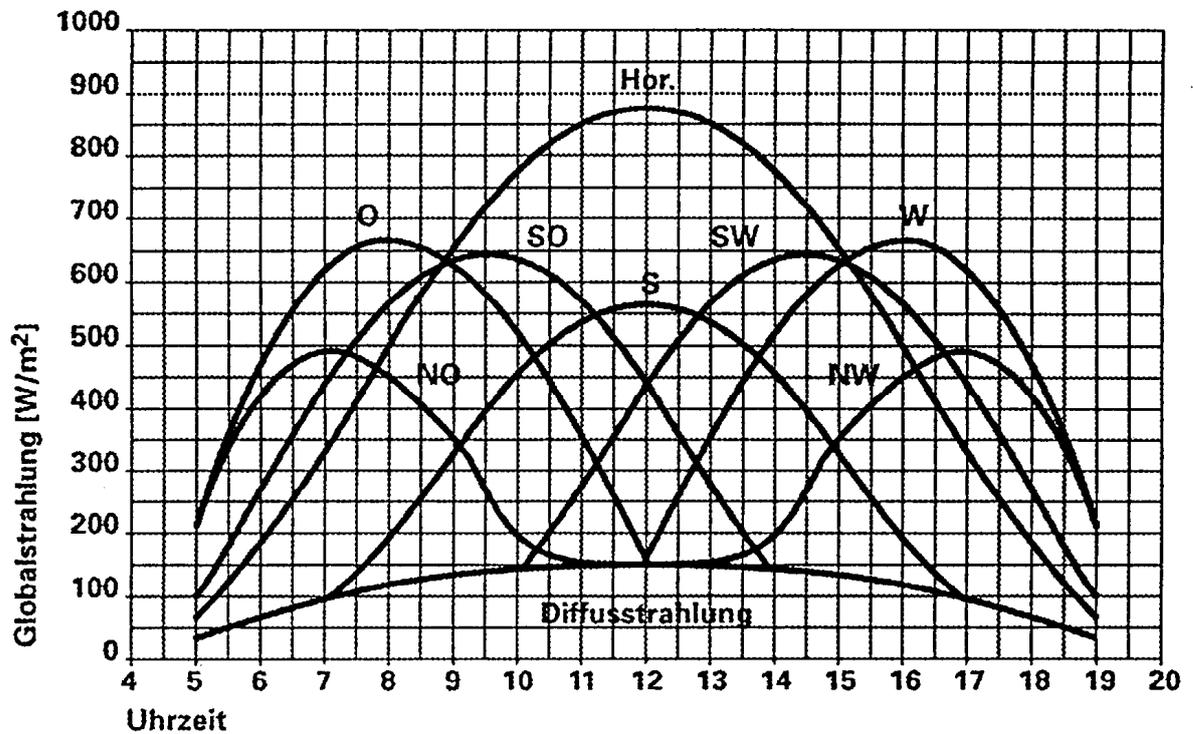
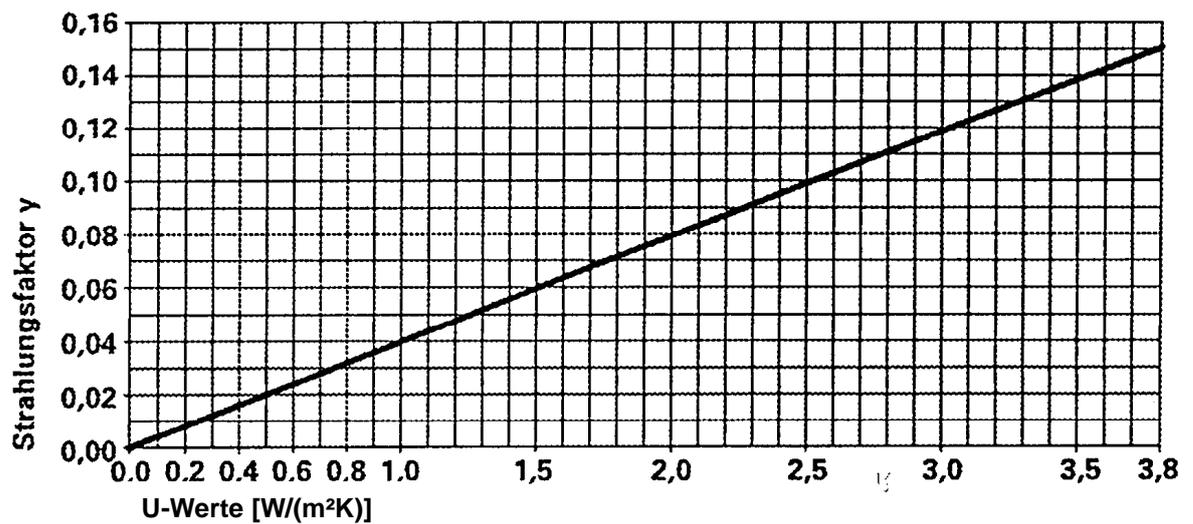


Diagramm 2: Strahlungsfaktor  $\gamma$



**Anlage 2: Erfahrungswerte für außenluftbezogene Luftwechselzahlen nach [6]**

Art des Raumes	Luftwechselzahl
Toiletten: in Wohnungen	4 ... 5
Bürogebäuden	5 ... 8
Fabriken	8 ... 10
Schulen	5 ... 8
öffentliche Gebäude	10 ... 15
Akkumulatorenräume	4 ... 6
Arbeitsräume	3 ... 7
Ausstellungshallen	1,5 ... 3
Backräume	6 ... 15
Baderäume	4 ... 6
Beizereien	5 ... 15
Bibliotheken	3 ... 5
Bügelräume	8 ... 15
Büroräume	3 ... 6
Duschräume	10 ... 30
EDV-Räume	10 ... 40
Entnebelungsanlagen	10 ... 20
Fabrikhallen groß	1,5 ... 3
klein	2 ... 4
Färbereien, je nach Absaugeeinrichtungen	5 ... 15
Farbspritzräume, je nach Absaugeeinrichtungen	20 ... 50
Flure	1 ... 4
Garagen	4 ... 5
Garderoben	3 ... 6
Gasträume	5 ... 10
Gewächshäuser	3 ... 5
Gießereien	8 ... 15
Härtereien	60 ... 100
Hörsäle	8 ... 10
Hotelzimmer	3 ... 5
Kantinen	6 ... 10
Kaufhäuser	4 ... 6

<b>Art des Raumes</b>	<b>Luftwechselzahl</b>
Kino: Raucherlaubnis Rauchverbot	5 ... 8 4 ... 6
Kirchen	1,5 ... 4
Klassenräume	3 ... 6
Krankenhaus (Bettenstation)	2 ... 5
Küchen: Kleinküchen (Wohnungen) Mittel- und Großküchen Kalte Küchen	8 ... 20 10 ... 25 4 ... 8
Laboratorien	6 ... 15
Lackierereien (je nach örtlicher Absaugung)	15 ... 40
Läden	4 ... 8
Lichtpausereien	10 ... 15
Markthallen	1,5 ... 3
Maschinenräume	10 ... 40
Meß- und Prüfräume	8 ... 10
Montagehallen	5 ... 7
Operationsräume	15 ... 20
Schulen (Säle)	3 ... 7
Schwimmballen	3 ... 4
Sitzungszimmer	6 ... 8
Speiseräume	6 ... 8
Telefonzentralen	5 ... 10
Tresore	3 ... 6
Trocknungsanlagen: Lacktrocknung groß Lacktrocknung mittel Lacktrocknung klein Wäschetrocknung Ziegelrocknung	20 ... 30 30 ... 80 bis ... 350 20 ... 40 10 ... 30
Turnhallen	4 ... 6
Überdruckräume zur Verhinderung des Eindringens von Staub des Eindringens von Gerüchen	4 ... 8 1 ... 3
Umkleideräume (Schwimmbad)	6 ... 8
Verkaufsräume	4 ... 8
Versammlungsräume (allgemein)	5 ... 10
Wäschereien	10 ... 15

Art des Raumes	Luftwechselzahl
Warenhäuser	4 ... 6
Wartezimmer	4 ... 7
Werkstätten ohne besondere Luftverschlechterung	3 ... 6
Werkstätten mit besonderer Luftverschlechterung	6 ... 12
Wohnungen	(0,5 ... > 4)

**Anlage 3: Checkliste für eine Lüftungsplanung**

Um eine funktionsgerechte Bemessung einer natürlichen Lüftung durchführen zu können, sollten gewisse Eckdaten bzw. Berechnungsgrößen zur Verfügung stehen. Diese werden für eine Projektierung in folgender Liste abgefragt.

Bitte übermitteln Sie diese Liste ausgefüllt dann an eines unserer Mitglieder zur weiteren Bearbeitung. Die Kontaktdaten (Fax bzw. Email) unserer Mitglieder finden Sie [hier](#).

**Ihre Kontaktdaten:**

Anschrift :		Tel :	
		Fax :	
		E-Mail:	
Objekt :		Planung :	
Datum:			

**Raumdaten:**

Länge L: ..... m    Breite B:..... m    Höhe H: ..... m

Für unmittelbar unter geneigten Dächern gelegene Räume:

Firsthöhe  $H_F$ : ..... m    Traufhöhe  $H_T$ : ..... m

Höhe der Mitte der Zuluftöffnungen über OFF: ..... m

Höhe der Mitte der Abluftöffnungen über OFF: ..... m

**Vorhandene Wärmelasten:**

**Äußere Wärmelasten:**

U-Wert der Dachfläche:

<input type="checkbox"/>	0,20 W/(m <sup>2</sup> K)
<input type="checkbox"/>	0,25 W/(m <sup>2</sup> K)
<input type="checkbox"/>	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)
<input type="checkbox"/>	0,35 W/(m <sup>2</sup> K)
<input type="checkbox"/>	0,40 W/(m <sup>2</sup> K)
<input type="checkbox"/>	0,45 W/(m <sup>2</sup> K)
eigene Angabe	..... W/(m <sup>2</sup> K)

(Zutreffendes bitte ankreuzen!)

Angaben zur Dachoberfläche:

<input type="checkbox"/>	weiß oder creme gefärbte Oberflächen
<input type="checkbox"/>	helle Dachbahnen
<input type="checkbox"/>	dunkle Dachbahnen
<input type="checkbox"/>	Bitumendachbahn, hell besplittet
<input type="checkbox"/>	Bitumendachbahn, dunkel besplittet
<input type="checkbox"/>	Dachsteine, hell
<input type="checkbox"/>	Dachsteine, rot
<input type="checkbox"/>	Dachsteine, braun
<input type="checkbox"/>	Dachsteine, dunkel
<input type="checkbox"/>	Dachpfannen, rot
<input type="checkbox"/>	Metalloberfläche, hell oder nicht beschichtet
<input type="checkbox"/>	Metalloberfläche, mittel beschichtet
<input type="checkbox"/>	Metalloberfläche, dunkel beschichtet
<input type="checkbox"/>	sehr hell gefärbter Zement
<input type="checkbox"/>	Asbest-Zementplatten
<input type="checkbox"/>	Holz, hell
<input type="checkbox"/>	Holzschindel
<input type="checkbox"/>	grün oder braun gestrichene Oberflächen
<input type="checkbox"/>	Schiefer
eigene Angabe	.....

(Zutreffendes bitte ankreuzen!)

Lichtkuppel-/Lichtbanddaten (falls schon bekannt):

<b>Lichtkuppeln</b>				<b>Lichtbänder</b>			
	Anzahl	Abmessungen [m x m]	g-Wert		Anzahl	Abmessungen [m x m]	g-Wert
Typ 1				Typ 1			
Typ 2				Typ 2			
Typ 3				Typ 3			

(Bitte bei Bedarf ergänzen!)

Verschmutzung der Lichtkuppeln bzw. der Lichtbänder:

	Innenfläche	Verschmutzung auf der Außenfläche
<input type="checkbox"/>	gering	gering, z. B. in ländlicher Umgebung
<input type="checkbox"/>	mittel	
<input type="checkbox"/>	stark	
<input type="checkbox"/>	gering	mittel, z. B. in städtischer Umgebung
<input type="checkbox"/>	mittel	
<input type="checkbox"/>	stark	
<input type="checkbox"/>	gering	stark, z. B. in dichtem Industriegebiet
<input type="checkbox"/>	mittel	
<input type="checkbox"/>	stark	

(Zutreffendes bitte ankreuzen!)

**Innere Wärmelasten:**

Geschätztes Wärmeaufkommen für Projektierungsbereich:

<input type="checkbox"/>	Glüherei	110 W/m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	Maschinenbaubetrieb	120 W/m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	Kunststoffspritzerei	350 W/m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/>	Schmiedehalle	400 W/m <sup>2</sup>
Eigene Angabe	.....	..... W/m <sup>2</sup>

(Zutreffendes bitte ankreuzen!)

Alternativ:

Wärmeaufkommen für Projektierungsbereich:

Geschätzte elektr. Anschlussleistung aller installierten Maschinen: ..... kW  
 Geschätzte elektr. Anschlussleistung der Beleuchtungsanlage: ..... kW  
 Ständig anwesende Mitarbeiter im Projektierungsbereich: ..... Personen  
     davon weiblich: ..... Personen  
     davon männlich: ..... Personen

Raumtemperatur:

Durchschnittlich im Projektierungsbereich vorhandene Raumtemperatur: ..... °C

Luftwechselzahl:

im Projektierungsbereich anzustrebender Luftwechsel: ...../h