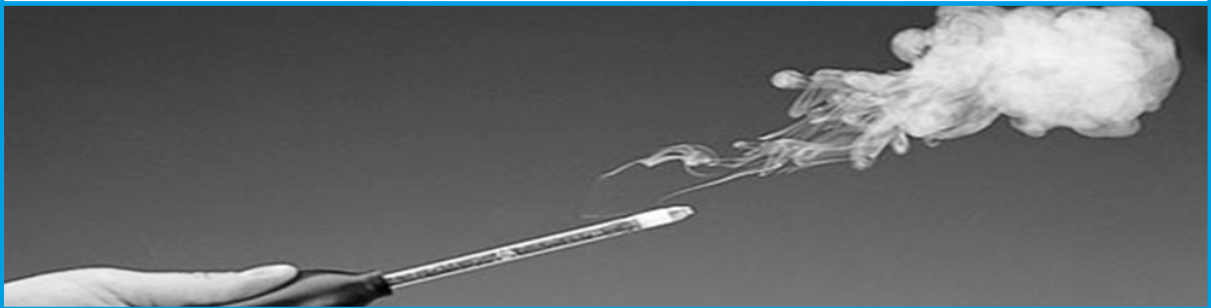


FORMELSAMMLUNG



RAUMLUFSTRÖMUNG

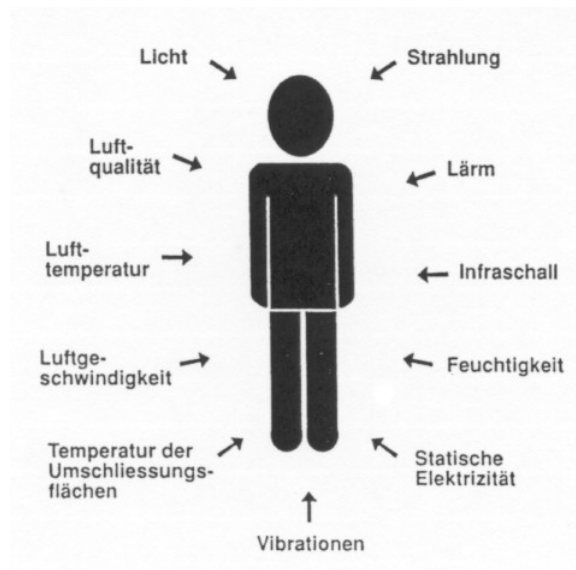
by Marcel Laube

1. Allgemeines	4
1.1 Einflussgrößen die das Raumklima beeinflussen.....	4
1.2 Aufgaben von RLT-Anlagen.....	4
1.3 Behaglichkeit.....	4
2. Raumluftrömungen	5
2.1 Aufenthaltsbereich	5
2.2 Messen und beurteilen von Raumluftrömungen	5
2.3 Luftführungssysteme.....	6
3. Horizontaler Freistrahler / Düsen	7
3.1 Allgemeines.....	7
3.2 Berechnungsgrundlage für isotherme Luftstrahlen.....	8
3.3 Die Mischzahl.....	9
3.4 Die Archimedeszahl	9
3.5 Berechnungsgrundlage für nicht-isotherme Luftstrahlen	9
4. Diffusionsgitter	10
4.1 Induktion am Gitter.....	10
4.2 Induktion am Gitter.....	10
4.3 Strahlauslenkung	10
4.4 Gittereinbau.....	10
4.5 Coanda-Effekt.....	11
4.6 Zusammenfassung.....	11
5. Brüstungsauslässe / Klimakonvektoren	12
5.1 Klimakonvektoren (Kliko's).....	12
5.2 Blasluftanlagen.....	13
6. Gelochte Rohre / Textilschläuche	14
6.1 Berechnungsgrundlagen für isothermen Betrieb	14
6.2 Dimensionierungshinweise Textilschläuche	15
7. Vertikaler Freistrahler	16
8. Dralldurchlässe	17
8.1 Zusammenfassung.....	17
9. Säle / Auditorien / Theater / Hallen	18
9.1 Von Oben nach Unten	18
9.2 Horizontal	18
9.3 Von Unten nach Oben	18
10. Mikroklimasystem	19
11. Lüftungsdecken	21
11.1 Auslegunggrundlagen	21
11.2 Anordnung der Einblasöffnungen	22
12. Schlitzdurchlässe	23
13. Bodenluftdurchlässe	24
14. Quelllüftung	25
14.1 Frischluftzone.....	25
14.2 Mischzone	25
14.3 Abluftschicht / Verdrängungszone	26
14.4 Auslegung	27
14.5 Luftqualität.....	28
14.6 Spezialsysteme	30
14.7 Zusammenfassung.....	31

15. Kühldecken	32
15.1 Komfort.....	32
15.2 Systeme	34
15.3 Leistung / Auslegung	35
15.4 Raumluftfeuchtigkeit / Ersatzluftanlage	36
15.5 Lufteinführung / Raumluftströmung.....	36
15.6 Luftqualität.....	36
15.7 Regelung.....	37
15.8 Energieverbrauch / Investitionskosten	37
15.9 Heizung	37
15.10 Allgemeine Hinweise.....	37
15.11 Spezialsysteme	38
16. Numerische Strömungssimulation	39
17. Allgemeine Auslegungsgrundlagen	40

1. Allgemeines

1.1 Einflussgrößen die das Raumklima beeinflussen



1.2 Aufgaben von RLT-Anlagen

- Zugfreies Zuführen von sauberer Luft
- Direkter Abtransport von Schadstoffen
- Regeln der Raumtemperaturen (heizen, kühlen)
- Regeln der Raumluftfeuchtigkeit (be- und entfeuchten)

1.3 Behaglichkeit

Wärmeabgabe von Personen

Bei ca. 20-24°C gibt der Mensch seine Wärme in etwa wie folgt ab:

- 30% durch Konvektion
- 45% durch Strahlung
- 25% durch Verdunstung

Zugerscheinungen

Von Zugerscheinungen spricht man bei Raumluftgeschwindigkeiten ab ca. **0.15m/s**.

2. Raumluftrömungen

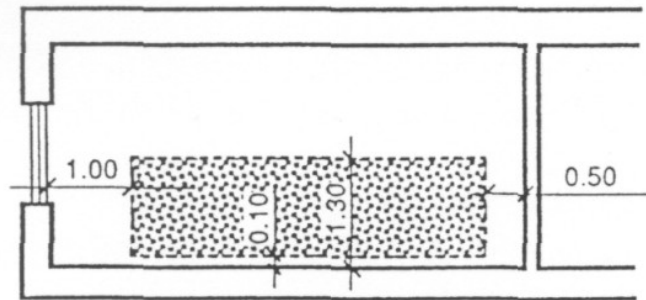
Eine der wesentlichsten Grössen, welche das thermische Wohlbefinden beeinflussen, ist die Luftbewegung im Aufenthaltsbereich. Dafür können folgende Ursachen verantwortlich sein

- Bewegung und Auftrieb von Personen und Wärmequellen
- schlecht wärmegeämmte Gebäudehüllen sowie Oberflächen mit Über- bzw. Untertemperatur
- frei in den Raum ausblasende interne Lüftungen von Maschinen
- Windanfall bei undichten Fenstern
- Auftriebsströmungen in undichten Gebäuden
- geöffnete Fenster und Türen
- falsch ausgelegte Lufteinführungen

2.1 Aufenthaltsbereich

Folgende Bereiche gehören ohne besonderen Vereinbarungen nicht zum Aufenthaltsbereich:

- Durchgangszonen
- Im Bereich von offenen bzw. häufig benützten Türen
- Im Bereich von Geräten mit hoher Wärmeabgabe bzw. grosser Luftumwälzung
- In unmittelbarem Bereich von Zuluftdurchlässen



2.2 Messen und beurteilen von Raumluftrömungen

Der xx%-Zeitwert gibt an, dass während xx% der gesamten Messzeit die Raumlufthgeschwindigkeit **kleiner** als nn cm/s war.

Turbulenzgrad:

$$T_u = \frac{W_{84\%} - W_{50\%}}{W_{50\%}}$$

Gemäss SIA V 382/1 gelten folgende Grenzwerte:

Zulässige 50%-Zeitwerte der Raumlufthgeschwindigkeit für Büroaktivität (1.2 met) und einer Unzufriedenheitsrate von 15%.

“ Winterbetrieb “ clo = 1.0	“ Sommerbetrieb “ clo = 0.5
$t_i = 19 - 24^\circ\text{C}$ 0.12 m/s	$t_i = 22 - 28^\circ\text{C}$ 0.15 m/s

2.3 Luftführungssysteme

Verdrängungsströmung

Kolbenströmung:

Die Luft strömt turbulenzarm, horizontal oder vertikal durch einen Raum. Das Ziel ist, dass möglichst keine bzw. kleine Querströmungen auftreten. Wird in OP's, Reinräumen usw. verwendet.

Thermisch bestimmte Luftströmungen:

Die Zuluft wird über grossflächige Luftdurchlässe im Bodenbereich turbulenzarm eingeführt. Sie verteilt sich gleichmässig und strömt durch den Auftrieb der Wärmequellen in den Deckenbereich, wo die warme und schadstoffbelastete Luft abgesaugt wird.

Misch-/Verdünnungsströmung

Bei diesen Systemen wird die Luft mit hoher Geschwindigkeit eingeblasen. Das Ziel ist eine möglichst intensive Vermischung mit der Raumlufth (hohe Induktion).

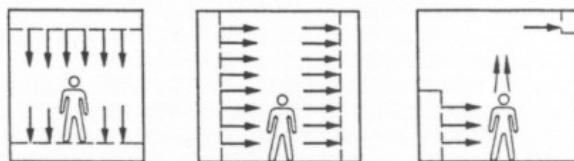
Tangentiale Strömung (Walzen):

Die Luft wird tangential zu einer Wand oder Decke eingeblasen, es bildet sich im Allgemeinen eine raumfüllende Luftwalze (z.B. Gitter, Klimakonvektoren).

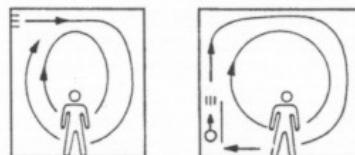
Diffuse Strömung:

Bei diesen Systemen wird so eingeblasen, dass sich keine Raumlufthwalze bilden kann. Die Induktion ist sehr gross. Dadurch ist der Abbau der Geschwindigkeit und der Temperaturdifferenz des Strahles sehr schnell (z.B. Schlitz- oder Dralldurchlässe).

Verdrängungsprinzip,
rechts als Quelllüftung



Mischungsprinzip,
tangentele Strömungswalzen



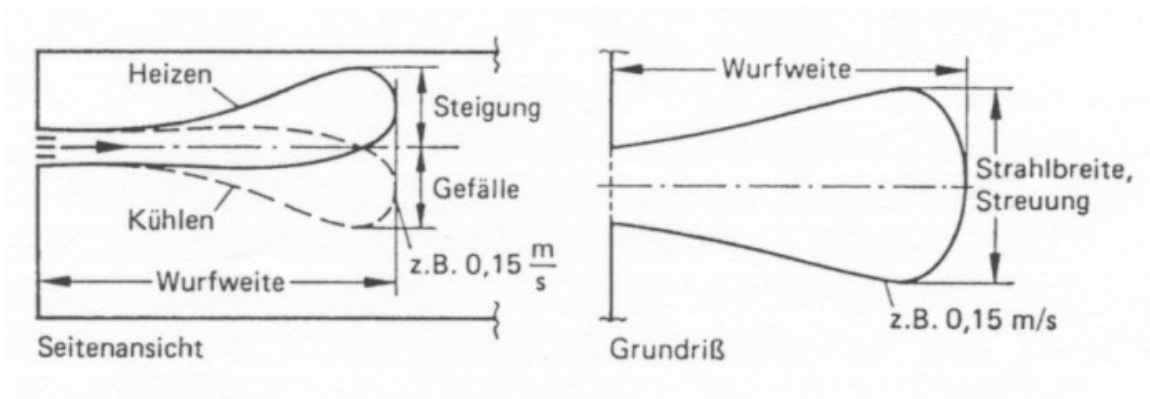
Mischungsprinzip,
diffuse Strömungswalzen



3. Horizontaler Freistrah / Düsen

3.1 Allgemeines

- Luftdurchlass: Öffnung durch welche Luft in den Raum ein- bzw. ausströmt.
- Freier Querschnitt: derjenige Querschnitt durch den die Luft strömt, oft in % des Gesamtquerschnittes angegeben.
- Kontraktionszahl (μ): Einschnürung eines Strahles aufgrund der Durchlasskonstruktion.
- Freistrah: Luftstrahl der sich ungehindert ausbreiten kann, d.h. ein Luftstrahl im „freien Raum“.
- Primärluft: die durch den Luftdurchlass einströmende Luft.
- Sekundärluft: die durch Induktion dem Zuluftstrahl beigemischte Raumluft.
- Mischzone: Randbereich des Zuluftstrahles in dem sich in stark wirbelnden Bewegungen die Raumluft mit der Primärluft mischt.
- Strahlmittengeschwindigkeit: Luftgeschwindigkeit auf der Strahlachse.
- Wurfweite: Entfernung vom Luftdurchlass, bei welcher die Strahlmittengeschwindigkeit auf einen gewissen Wert abgesunken ist (z.B. 0.5 m/s).
- Eindringtiefe: Entfernung vom Luftdurchlass bei welchen sich der Strahl auflöst bzw. zurückströmt (wird mit Rauchversuchen ermittelt).
- Strahlbreite: Ausbreitung eines Zuluftstrahles bei einer definierten Strahlgeschwindigkeit im Randbereich (z.B. 0.1 m/s).



3.2 Berechnungsgrundlage für isotherme Luftstrahlen

Der Ausbreitungswinkel:

$$\alpha = 2.5 * \tan^{-1} (m)$$

Die Kernlänge:

$$x_0 = \frac{d}{m}$$

Die Mittengeschwindigkeit:

$$w_x = w_0 * \frac{x_0}{x}$$

$$w_x = w_0 * \frac{d}{m * x}$$

(Isotherm)

Die Mittengeschwindigkeit:

$$w_x = w_0 * \left(\frac{x_0}{x} + \sqrt{\frac{Ar}{m} \left(1 + \ln \frac{2 * x}{x_0} \right)} \right)$$

(nicht Isotherm)

Volumenstrom im Strahl bewegt:

$$\dot{V}_x = \dot{V}_0 * 2 * \frac{x}{x_0}$$

$$\dot{V}_x = \dot{V}_0 * 2 * m * \frac{x}{d}$$

Temperaturabnahme:

$$\Delta T_x = \Delta T_0 * \frac{3}{4} * \frac{x_0}{x}$$

$$\Delta T_x = \Delta T_0 * \frac{3}{4} * \frac{d}{m * x}$$

(nicht isothermen Strahl)

Erklärungen:

α	=	Ausbreitungswinkel in	°
m	=	Mischzahl in	---
d	=	Durchmesser in	m
x	=	Entfernung von Öffnung in	m
x_0	=	Kernlänge in	m
w_0	=	Geschwindigkeit in Öffnung in	m/s
w_x	=	Geschwindigkeit bei Abstand x in	m/s
Ar	=	Archimedeszahl in	---
V_0	=	Volumenstrom in Öffnung in	m ³ /h
V_x	=	Volumenstrom bei Abstand x in	m ³ /h
ΔT_0	=	Zwischen Strahl und Umgebung in Öffnung in	K
ΔT_x	=	Zwischen Strahl und Umgebung bei Abstand x in	K

3.3 Die Mischzahl

Die Mischzahl ist abhängig von der Bauart des Luftdurchlasses (scharfe Kanten, freier Querschnitt, Luftleit- oder Drallelemente usw.) also von der Turbulenz unmittelbar im Austrittsquerschnitt. Sie wird in Versuchen bestimmt. Einige Werte sind:

Auslasstyp	Mischzahl m
Düsen	0.16 ... 0.19
Rechteckige freie Durchlässe	0.19 ... 0.23
Schlitzdurchlass b/h = 20 ... 25	0.23 ... 0.28
Lochbleche	
R = 0.1 bis 0.2	0.25 ... 0.32
R = 0.01 bis 0.1	0.32 ... 0.45
Lamellengitter gerade	20°
Divergierend	40°
	60°
	90°
	0.21 ... 0.28
	0.32
	0.45
	0.56

3.4 Die Archimedeszahl

Die Archimedeszahl:

$$Ar = \frac{\text{Schwerkraft}}{\text{Trägheitskraft}} \approx \frac{w_A^2}{w_0^2}$$

Runde Einzelstrahlen:

$$Ar = \frac{g * \Delta T_0 * d}{T_u * w_0^2}$$

Ebene Einzelstrahlen:

$$Ar = \frac{g * \Delta T_0 * h}{T_u * w_0^2}$$

3.5 Berechnungsgrundlage für nicht-isotherme Luftstrahlen

Nach Regenscheit:

$$y = \pm 0.065 * d * Ar * \left(\frac{x}{d}\right)^3$$

Erklärungen:

Ar	=	Archimedeszahl in	---
g	=	Erdbeschleunigung in	m/s ²
d	=	Strahldurchmesser in	m
h	=	Strahldicke in	m
T _u	=	Umgebungstemperatur in	K
w ₀	=	Strahlaustrittsgeschwindigkeit in	m/s
w _A	=	thermische Auftriebsgeschwindigkeit in	m/s
ΔT ₀	=	Zwischen Raum und Zuluft in	K
x	=	Entfernung von Luftdurchlass in	m
y	=	Gefälle / Steigung der Strahlachse in	m

4. Diffusionsgitter

4.1 Induktion am Gitter

- gerade Lamellen ca. 1.2
- divergierende Lamellen ca. 1.3 ... 1.5
- paarweise gegeneinander gestellte Lamellen ca. 1.6

- gegeneinander gestellte Lamellen bei gleichem Gitterquerschnitt vergrössern die Wurfweite um ca. 20 %. Gleichzeitig erhöht sich der Schallpegel.

4.2 Induktion am Gitter

Grundsätzlich müssen bei Gittern zwei Einbauvarianten unterschieden werden:

- unmittelbar unter der Decke (mit Coanda-Effekt)
- „ungestörte“ Strahlausbreitung

Dabei muss beachtet werden, dass die Wurfweite beim unmittelbar unter der Decke angeordneten ca. 1.5 mal grösser ist als bei „ungestörter“ Strahlausbreitung.

4.3 Strahlauslenkung

- die Austrittsgeschwindigkeit darf nicht zu klein gewählt werden, dies gilt vor allem bei VAV-Anlagen.
- Verwendung von vielen kleinen Gittern anstelle eines grossen und eher längliche (keine Bänder) als quadratische, damit die Oberfläche des Strahles vergrössert wird.
- Erreichen einer grossen Induktionswirkung durch geeignete Lamellenstellung.
- Ausnutzung des Coanda-Effektes im Kühlfall.
- die Auslenkung des Luftstrahles kann durch entsprechende Einstellung der horizontalen Lamellen korrigiert werden, diese Verstellung kann bei stark variierenden Betriebsverhältnissen auch motorisiert und aufgrund der Temperaturdifferenz geregelt werden.

4.4 Gittereinbau

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei Anströmvarianten. Bei der Firma Hesco sind diese wie folgt definiert:

Druckkanal: Grosser Kanalquerschnitt. Die Luftgeschwindigkeit im Kanal (w_K) ist kleiner als die Ausblasgeschwindigkeit am Gitter (w^*).

- keine Umlenkelemente erforderlich
- sehr gute Luftverteilung, wenn: $w_K < 0.5 * w^*$

Strömungskanal: Der häufigere Fall, nämlich kleiner Kanalquerschnitt, d.h. die Luftgeschwindigkeit im Kanal ist höher als die Ausblasgeschwindigkeit am Gitter.

- Umlenkelemente erforderlich, z.B. DG 5 (Achtung Geräusche !)
- sehr gute Luftverteilung, wenn: $w_K < 1.8 ... 2.5 * w^*$

4.5 Coanda-Effekt

Strömt ein Luftstrahl entlang einer Fläche, bzw. mit einem geringen Abstand zu dieser, so kann der Strahl nur einseitig Sekundärluft induzieren. Dies führt zu einem Unterdruck auf der Wandseite und als Folge klebt sich der Halbstrahl an die Begrenzungsfläche.

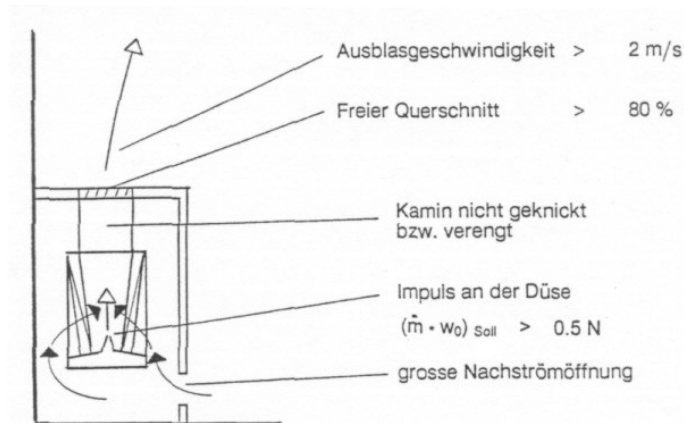
Dasselbe passiert, wenn der Strahl unter einem zu flachen Winkel ausgeblasen wird oder der Abstand zwischen zwei benachbarten Strahlen zu gering ist.

4.6 Zusammenfassung

Einsatzgebiet	Restaurant, Turnhallen, Garderoben, Schulzimmer, einfache Anlagen	
Randbedingungen Komfort		
Raumhöhe	> 2.8 ... 3.0	m
Spez. Luftvolumenstrom	< 20	m ³ /h*m ²
Raumlftwechsel	< 6 ... 7	h ⁻¹
Untertemperatur der Zuluft	4 ... 6	K
Spez. Kühllast	< 30 ... 40	W/m ²
Luftvolumenstrom pro Durchlass	< 200 ... 300	m ³ /h*Durchlass
Randbedingungen Industriet	Verstellbar !!	
Raumhöhe	6 ... 8	m
Spez. Luftvolumenstrom	20	m ³ /h*m ²
Raumlftwechsel	3 ... 4	h ⁻¹
Untertemperatur der Zuluft	- 6 / + 8	K
Spez. Kühllast	40 ... 50	W/m ²
Luftvolumenstrom pro Durchlass	500 ... 800	m ³ /h*Durchlass
Bemerkungen	Theater: zusätzliche Lamellen, evtl. Filtereinbau	
Lieferanten	Hesco, Schako, Trox, SM-Heag, Radiag usw.	

5. Brüstungsauslässe / Klimakonvektoren

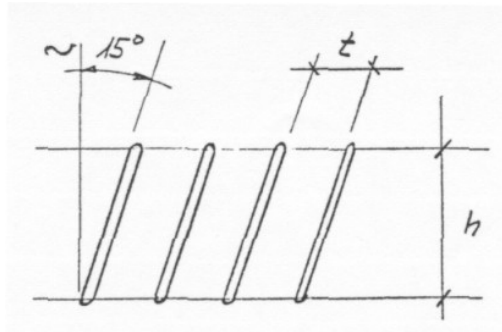
5.1 Klimakonvektoren (Kliko's)



Die kühle Zuluft wird gegen die Decke geblasen und dort umgelenkt (Impulsverlust). Ist dieser Verlust zu gross, löst sich der Zuluftstrahl von der Decke und strömt, statt eine Walze zu bilden, direkt in den Aufenthaltsbereich.

Ob sich eine Walze bildet und wie stabil sie ist hängt vor allem von/vom ab:

- Impuls an der/den Primärluftausblasdüse/n, aus Erfahrung muss dieser für eine stabile Raumluftströmung über 0.5 N liegen.
- Zuluftgitter, welches einen möglichst grossen freien Querschnitt ($>80 \%$), strömungstechnisch gute geformte Lamellen (15° geneigt oder wenn möglich verstellbar) und ein Verhältnis von Lamellenhöhe zu Lamellenabstand von > 1.5 haben muss.



- Widerstand an den Sekundärluftöffnungen sowie von der Verschmutzung der Wärmetauscher.
- der Kühlleistung bzw. der Untertemperatur der Zuluft ($< 6 \text{ K}$).
- der Oberfläche der Fassadeninnenseite, welche möglichst glatt sein muss.
- Störungen im Umlenk- oder Deckenbereich.
- der inneren Oberflächentemperatur der Fassade.

Impuls an der Primärdüse:

$$I = m' * w_0$$

$$I = A * w_0 * \delta$$

Ausblasgeschwindigkeit:

$$w_0 \approx h_R - h_{\text{Brüst.}}$$

5.2 Blasluftanlagen

Kaltluftabfall an einer Wand

Temperaturdifferenz:

$$\Delta t = t_{\text{Raum}} * t_{\text{Wand}}$$

Geschwindigkeit:

$$w_{\text{max}} = 0.1 * \sqrt{h * \Delta t}$$

Grenzschichtdicke:

$$d = 0.063 * h^{0.7} * \left(\frac{t_{\text{Raum}}}{\Delta t} \right)^{0.1}$$

Luftmenge:

$$q = 10 * h^{1.2} * \Delta t^{0.4}$$

Impulsstrom:

$$p = 2.4 * 10^{-4} * h^{1.7} * \Delta t^{0.9}$$

Erklärungen:

I	=	Impuls in	N
m'	=	Primärluftmassenstrom in	kg/s
w_0	=	Düsenaustrittsgeschwindigkeit in	m/s
A	=	Düsenquerschnitt in	m ²
δ	=	Dichte in	kg/m ³
h_R	=	Raumhöhe in	m
$h_{\text{Brüst.}}$	=	Brüstungshöhe in	m
Δt	=	Temperaturdifferenz in	K
h	=	Laufänge in	m
w_{max}	=	Maximalgeschwindigkeit in	m/s
d	=	Grenzschichtdicke in	m
q	=	Luftmenge in	m ³ /h*m
p	=	Impulsstrom in	N/m

6. Gelochte Rohre / Textilschläuche

6.1 Berechnungsgrundlagen für isothermen Betrieb

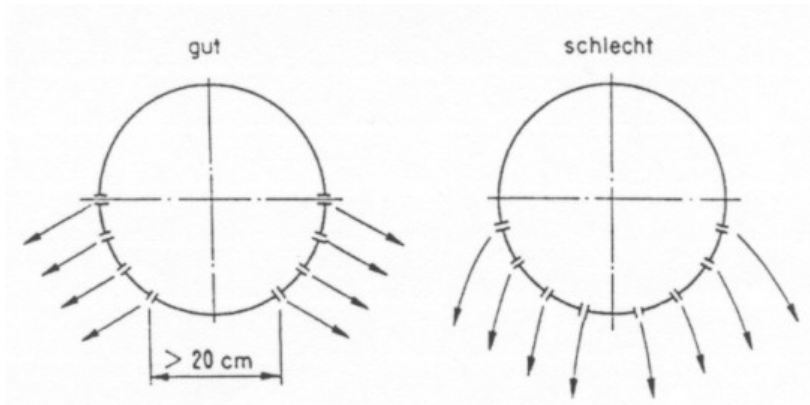
Ausblasgeschwindigkeit: w_0 ca. Raum-/Einbauhöhe

Lochdurchmesser: d ca. 15 mm

Kontraktionszahl (ohne Tüllen): μ ca. 0.65

Rohrgeschwindigkeit: $w < 0.7 \dots 0.5 * w_0$

- Damit sich zwei unabhängige Luftstrahlen bilden (Coanda-Effekt !) muss zwischen den beiden Zonen mindestens ein Abstand von 200 mm eingehalten werden.



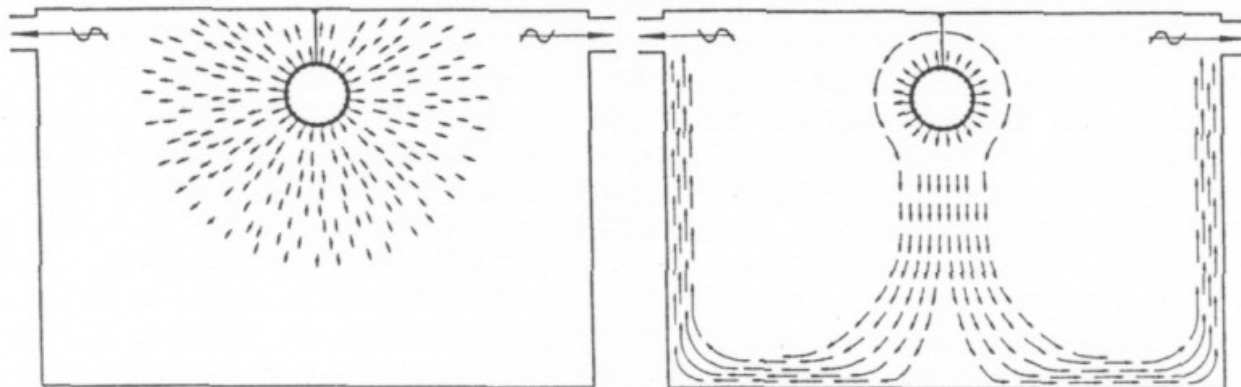
- bei Industrieanlage sind spez. Luftbelastungen von bis zu 200 ... 250 m³/h möglich.
- max. Untertemperatur im Kühlbetrieb < 6 K. Vorsicht bei Systemen mit Heiz- und Kühlbetrieb.

6.2 Dimensionierungshinweise Textilschläche

	stationäre Arbeitsplätze	leichte körperliche Arbeit	Lager	
Einblasgeschwindigkeit	< 0.08	< 0.15	> 0.15	m/s
Untertemperatur der Zuluft	< 3	< 5	---	°C

- bei Komfortanlagen können Wärmelasten bis zu 150 W/m² Bodenfläche abgeführt werden.
- bei Industrieanlagen können Wärmelasten bis zu 250 W/m² Bodenfläche abgeführt werden.
- nicht geeignet für Heizzwecke.
- Einströmgeschwindigkeit in den Schlauch normalerweise 6 ... 8 m/s
- Überdruck im Schlauch von 60 ... 120 Pa.
- Als Vorfilter sollte mindestens eine Klasse F7 eingesetzt werden.

Strömungsbild „isotherm“ und „kühlen“ / $\Delta\theta = 3\text{ K}$



7. Vertikaler Freistrah

Für runde Strahlen gilt:

Kernlänge:

$$x_0 = \frac{d}{m}$$

Strahlmittengeschwindigkeit:

$$w_x = w_0 * \left[\frac{x_0}{x} \pm \sqrt{\left\{ \frac{Ar}{m} * \left(1 + \ln 2 * \frac{x}{x_0} \right) \right\}} \right]$$

max. Eindringtiefe im Heizfall:

$$x_{max} = \frac{1.6 * d}{\sqrt{Ar}}$$

Eindringtiefe bei 20 °C:

$$x_{max} = \frac{8.74 * d * w_0}{\sqrt{d * \Delta t_0}}$$

Erklärungen:

x_0	=	Kernlänge in	m
x	=	Strahlweg in	m
w_x	=	Strahlmittengeschw. Im Abst. x in	m/s
w_0	=	Strahlaustrittsgeschwindigkeit in	m/s
Ar	=	Archimedeszahl in	---
m	=	Mischzahl in	---
d	=	Durchmesser in	m
Δt_0	=	Temperaturdifferenz t_{ZUL} zu t_R in	K

8. Dralldurchlässe

8.1 Zusammenfassung

Einsatzgebiet	Büro, Läden, Garderoben, Hallen, Säle, Sport, Industrie	
Randbedingungen Komfort		
Raumhöhe	2.6 ... 3.5	m
Spez. Luftvolumenstrom	< 25 ... 30	m ³ /h*m ²
Raumluftwechsel	6 ... 8	h ⁻¹
Untertemperatur der Zuluft	8	K
Spez. Kühllast	< 50	W/m ²
Luftvolumenstrom pro Durchlass	200 ... 300	m ³ /h*Durchlass
Randbedingungen Industriet	Verstellbar !!	
Raumhöhe	10 ... 15	m
Spez. Luftvolumenstrom	40 ... 50	m ³ /h*m ²
Raumluftwechsel	5	h ⁻¹
Untertemperatur der Zuluft	-+ 8	K
Spez. Kühllast	60 ... 80	W/m ²
Luftvolumenstrom pro Durchlass	1000 ... 8000	m ³ /h*Durchlass
Bemerkungen	- Geeignet für VAV-Anlagen (min. 50%) - Im Heizfall am Boden absaugen	
Lieferanten	Hesco, Durrer, Schako, Trox, SM-Heag, Radiag, Barcolair usw.	

9. Säle / Auditorien / Theater / Hallen

Der Aufenthaltsbereich beträgt nur ca. 1.3 m, da die Personen sitzen. Es können Wärmelasten von über 100 W/m², bei einer Belegungsdichte von 0.5 ... 1.0 Personen pro m², auftreten.

9.1 Von Oben nach Unten

- es werden vor allem hochinduzierende Drallauslässe oder Weitwurfdüsen verwendet.
- der Zuluftstrahl arbeitet gegen die Thermik.
- Untertemperaturen von bis zu 8 ... 10 K.
- verstellbare Zuluftdurchlässe verwenden oder bei VAV-Anlagen die Untertemperatur auf den Volumenstrom abstimmen.
- Beleuchtung muss in die Kühllastberechnung miteinbezogen werden.

9.2 Horizontal

- es werden Düsen oder Gitter verwendet.
- Anordnung an Seitewänden, Rückwand oder Balkonfront.
- bei diesem System besteht die Gefahr der Walzenbildung, was zu Zugerscheinungen führen kann.
- Beleuchtung muss in die Kühllastberechnung miteinbezogen werden.

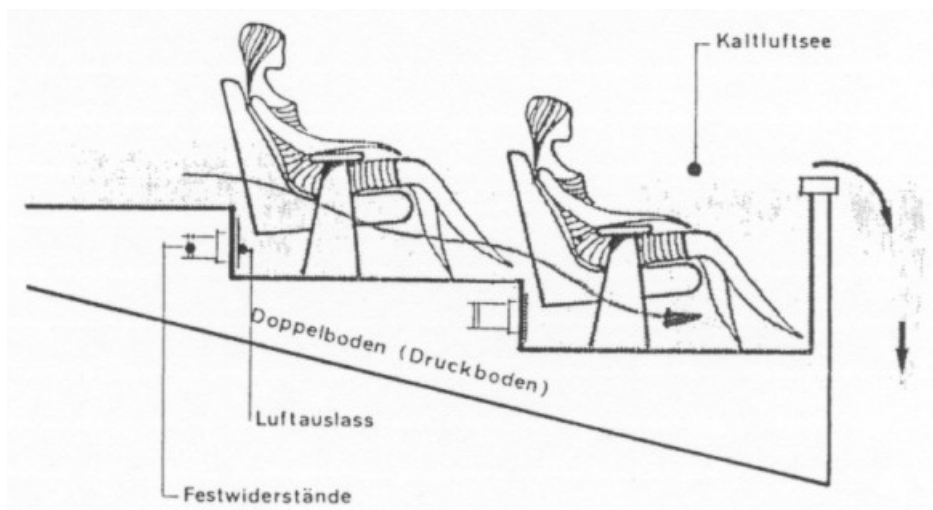
9.3 Von Unten nach Oben

- Zuluft einbringung im Aufenthaltsbereich.
- Verwendung des natürlichen Auftriebes, die Raumströmung ist darum überhaupt nicht lastabhängig.
- dieses System fällt unter den Begriff Mikroklima.

10. Mikroklimasystem

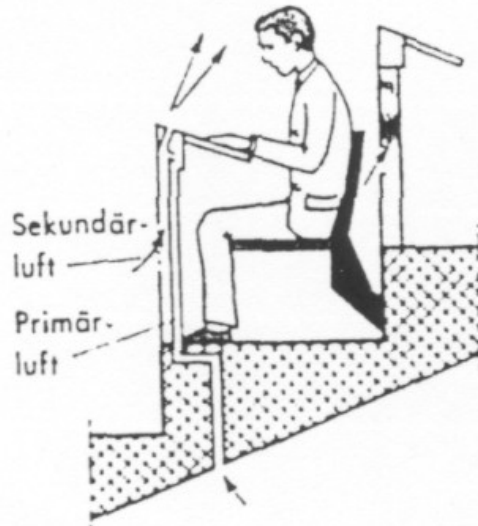
Luftzuführung von unten:

- Verwendung von Spezialluftdurchlässen, welche nur den Wärmeeintrag der Personen abführen.
- es ist ein Volumenstrom pro Person ca. 34 ... 45 m³/h notwendig.
- Konstruktion der Luftdurchlässe so, dass die Geschwindigkeit sowie die Untertemperatur innerhalb weniger cm abgebaut wird.
- Bei zu geringem Abbau der Untertemperatur besteht die Gefahr von Kaltluftabfall („Wasserfall“), was zu Zugerscheinungen und kalten Füßen führen kann.
- Untertemperatur darf nicht höher als 3 ... 4 K betragen, d.h. die Zulufttemperatur muss in Funktion der Raumtemperatur geschoben werden.
- Ideale Raumtemperatur beträgt 22 ... 24 °C.
- damit mit knapp dimensionierten Anlagen angenehme Bedingungen erreicht werden, sollte der Raum vor Beginn der Veranstaltung leicht unterkühlt werden (20 ... 21 °C).
- VAV-Betrieb ist für die untere Luftzuführung geeignet.
- bei Druckböden muss auf eine gleichmässige Luftverteilung geachtet werden. Ein Druckabfall von ca. 30 ... 40 Pa über den Luftdurchlass ist notwendig, welcher mit Festwiderständen (Blenden, Düsen usw.) aufgebaut wird. Schallpegel im Raum beachten ca 25 ... 30 dBA.



Lufteinführung am Arbeitsplatz:

- Lufteinführung über der Pultkante.
- der Primärluft wird durch Induktion Sekundärluft beigemischt, um die Untertemperatur abzubauen.
- es ist ein Volumenstrom pro Person ca. $50 \text{ m}^3/\text{h}$ notwendig.
- die Untertemperatur beträgt max. 3 K.
- in Büro's muss neben der Personenlast auch die Wärmeabgabe der Apparate und Maschinen abgeführt werden. Deshalb kann nur ein Teil der Zuluft über die Tischauslässe eingblasen werden. Den Rest muss über schwachinduzierende Bodenauslässe zugeführt werden.
- die Untertemperatur darf 4 K nicht überschreiten.



11. Lüftungsdecken

Die aktive Ausblasfläche beträgt bei einer Lüftungsdecke nur ungefähr 1 % der Gesamtfläche.

11.1 Auslegungsgrundlagen

- Verwendung von Lochplatten mit freien Querschnitten von 10 ... 20 %.
- die zulässigen Lochdurchmesser sind abhängig von der Raumhöhe:
- Raumhöhe < 3 m 3 ... 4 mm Büro's, Komfortanlagen
- Raumhöhe > 3 m 5 ... 6 mm Labor's, Industrie
- bei Schlitzdecken darf für eine Komfortanlage eine Schlitzbreite von 2 ... 3 mm nicht überschritten werden.
- Zuluftbelastung für Komfortanlagen 15 ... 20 m³/h*lfm, Untertemperatur von 6 ... 8 K, Kühllast von ca. 30 ... 50 W/m².
- Lüftungsdecken sind nicht für VAV-Anlagen geeignet. Ausnahme z.B. bei Küchen, bei welchen die Lüftungsdecke auf ²/₃ des Luftvolumenstromes ausgelegt wird.
- Deckenundichtheit ca, 10 cm²/m²

notwendige freie Fläche:

$$A_{\text{Loch}} = \frac{V' - (A_{\text{Decke}} * UD * w_0 * 3600)}{w_0 * \mu * 3600}$$

Austrittsgeschwindigkeit:

RH oder RH – 0.5 m

Kontraktionszahl:

für dünne Platten (Metall)
Für dicke Platten (Gips)

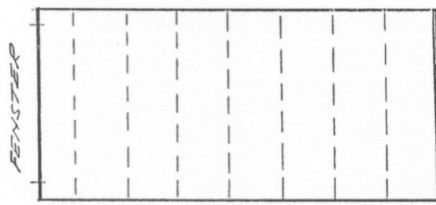
0.65
0.7 ... 0.8

Erklärungen:

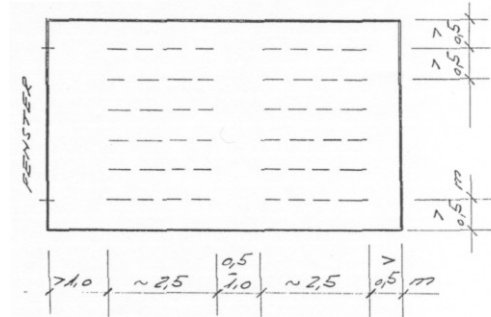
A_{Loch}	=	freier Querschnitt in	m ²
V'	=	Volumenstrom in	m ³ /h
A_{Decke}	=	Fläche Druckdecke in	m ²
UD	=	Deckenundichtheit in	cm ² /m ²
w_0	=	Austrittsgeschwindigkeit in	m/s
RH	=	Raumhöhe in	m
μ	=	Kontraktionszahl in	---

11.2 Anordnung der Einblasöffnungen

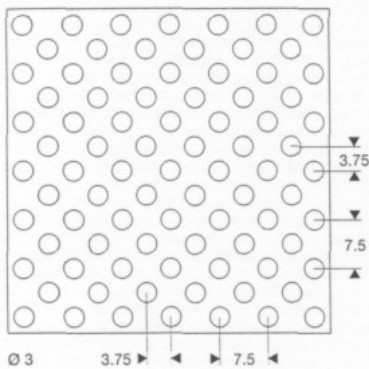
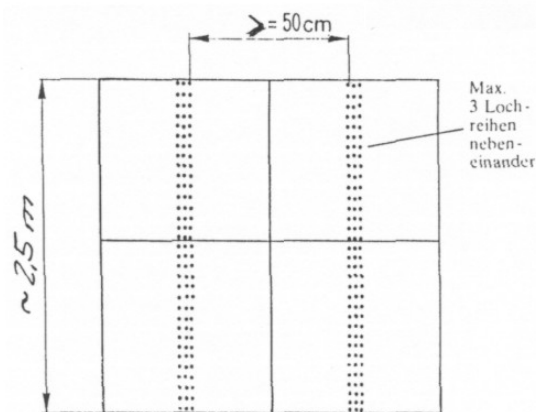
- die Luftaustrittsgeschwindigkeit aus dem Kanal darf nicht zu hoch sein (1 ... 2 m/s)
- die freie Höhe des Deckenhohlraumes sollte mindestens 15 ... 20 cm betragen.



schlecht

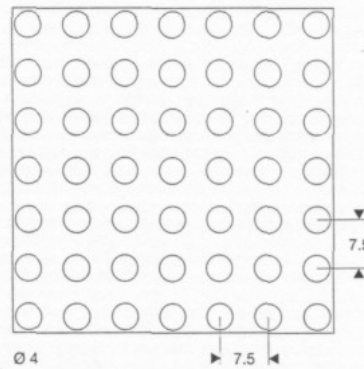


gut



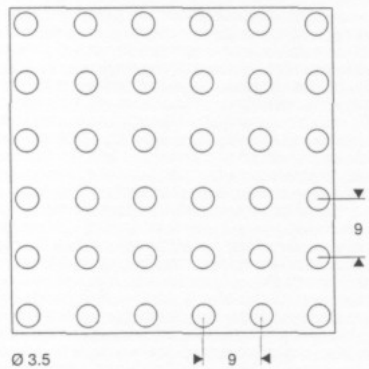
Rd 324
Klasse B

Lochdurchmesser:
3 mm
freier Querschnitt:
24%



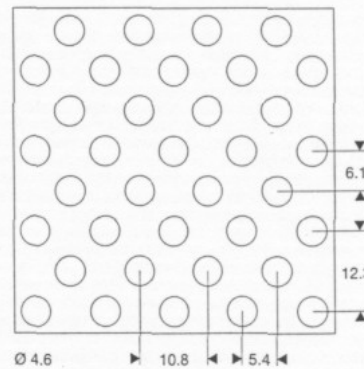
Rg 422
Klasse B

Lochdurchmesser:
4 mm
freier Querschnitt:
22%



Rg 3512
Klasse B

Lochdurchmesser:
3,5 mm
freier Querschnitt:
12%



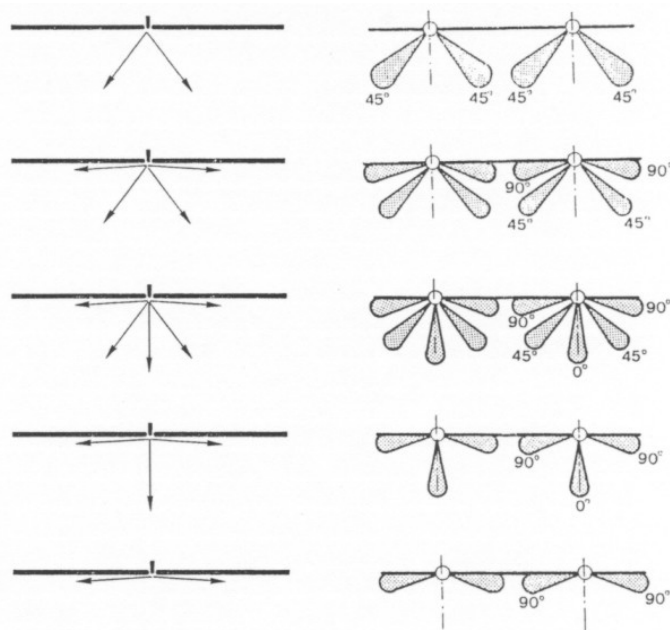
Rv 4625
Klasse B

Lochdurchmesser:
4,6 mm
freier Querschnitt:
25%

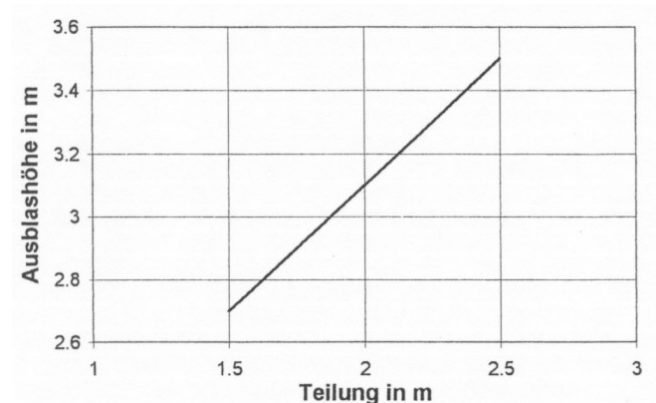
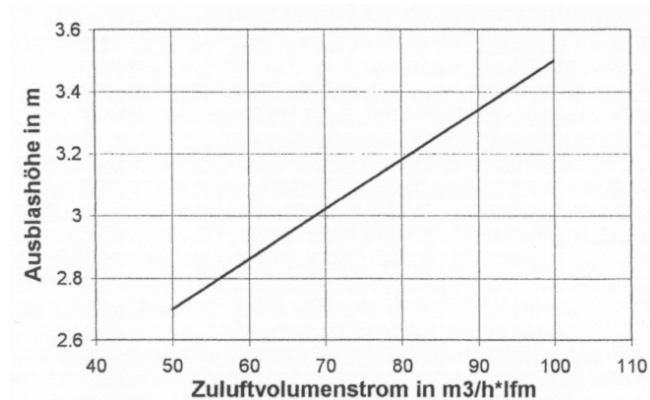
12. Schlitzdurchlässe

- Einblasgeschwindigkeiten und Untertemperatur werden schnell abgebaut.
- Komfortanlagen 1 ... 2-schlitzig, Industrieanlagen 3 und mehrschlitziige Durchlässe.
- Die stabilsten Strömungsverhältnisse werden mit unterschiedlich eingestellten kurzen Umlenkelementen, die den Zuluftstrahl auffächern, erreicht.
- Anordnung der Schlitzauslässe bezüglich Fassadeneinfluss, Wandabstand usw. gelten die gleichen Grundsätze wie bei den Lüftungdecken.

Strömungsbilder bei verschiedenen Ausblasstellungen:



- Sehr gut geeignet für VAV-Anlagen, bei richtiger Auslegung.
- Ohne Beeinträchtigung durch Zugserscheinungen können Kühlleistungen von bis zu 60 W/m^2 abgeführt werden.
- für gute Komfortbedingungen bei Raumtemperaturen von $24 \dots 26 \text{ }^\circ\text{C}$ sollten, bei einer Untertemperatur von max. 8 K , untenstehende Werte nicht überschritten werden.

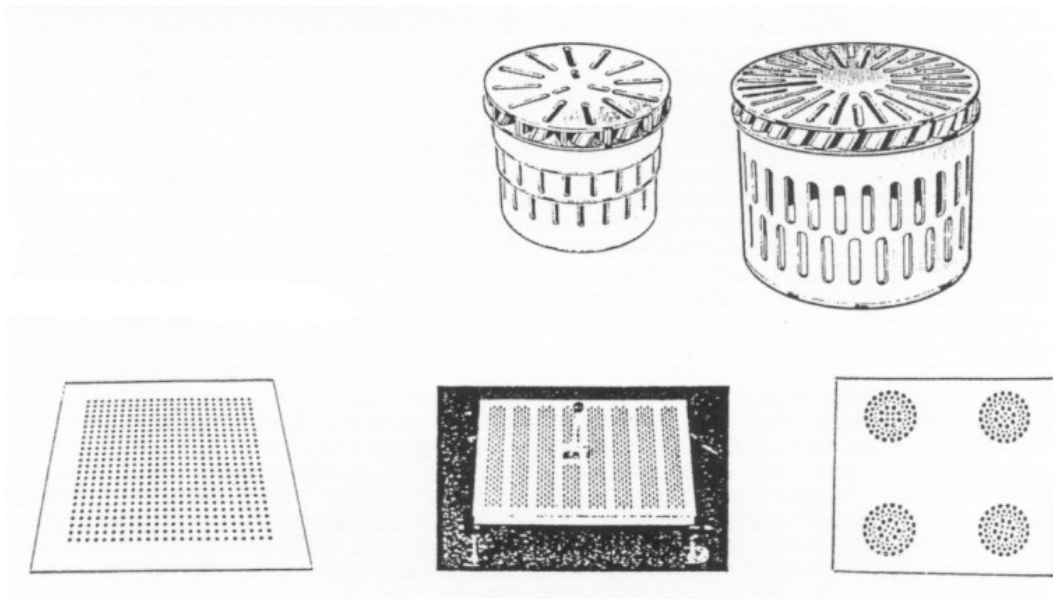


13. Bodenluftdurchlässe

Bodenluftdurchlässe werden in Räumen eingesetzt in welchen der thermische Auftrieb zum Erreichen einer optimalen Raumströmung und einer direkten Abfuhr der Wärme genutzt wird, d.h. in Räumen mit hohen Wärmelasten, Versammlungsräumen, Büro's usw.

Sie können grundsätzlich in zwei Arten aufgeteilt werden:

- **hochinduktive, vertikal ausblasende**
für Räume mit wenig Arbeitsplätzen (EDV-Räume, Fabrikationsräume usw.)
 - **schwachinduzierende, „horizontal“ ausblasende**
für Luftführungen, die in der Nähe von Arbeitsplätzen angeordnet sind und mit denen eine quellluftähnliche Raumströmung erreicht wird (Auditorien, Theater, Büro's usw.)
-
- bei Komfortanlagen werden Boden-Drallauslässe mit einer Zuluftbelastung von ca. 40 ... 60 m³/h eingesetzt.
 - Abstand zu einem Arbeitsplatz ca. 1.0 m.
 - die Untertemperatur der Zuluft darf 4 K nicht überschreiten.



14. Quelllüftung

Die Quelllüftung, auch „Schichtlüftung“ bezeichnet, ist eine thermisch geprägte Raumlüftung.

Die wesentlichsten Merkmale einer Quelllüftung sind:

- Turbulenz- und impulsarme Luftzuführung im Bodenbereich.
- Zulufttemperatur kleiner als Raumtemperatur.
- Abluftabsaugung im Deckenbereich.
- Wärmequellen im Aufenthaltsbereich.
- Gesamtmenge der an den Wärmequellen aufsteigenden Luft (Konvektion) ist grösser als der Zuluftvolumenstrom.

Bei der Platzierung der Quellauslässe im Deckenbereich muss darauf geachtet werden, dass die Untertemperatur unter 2 K liegt und die Einblaszonen ausserhalb des Aufenthaltsbereiches angeordnet sind.

Bei Quelllüftungen ist die Luftbewegung im Raum durch die drei nachfolgend aufgeführten Zonen geprägt:

14.1 Frischluftzone

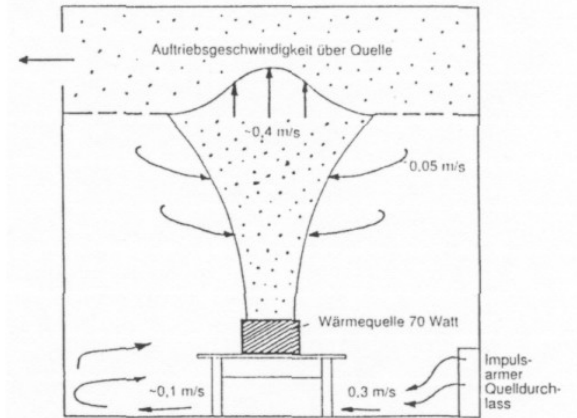
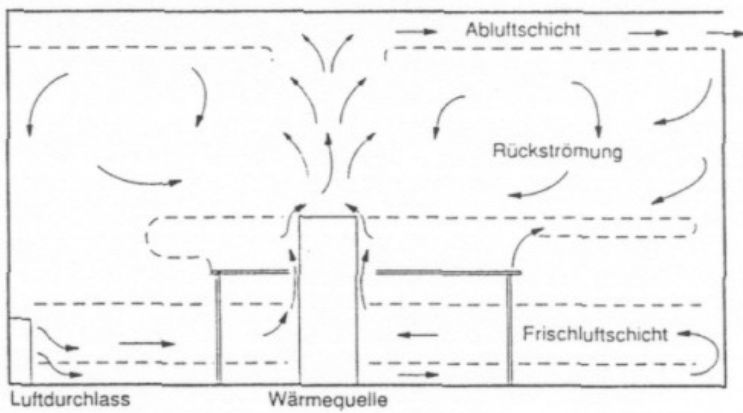
Durch die mit Untertemperatur im Bodenbereich eingeblasene Zuluft bildet sich eine turbulenzarme Raumströmung mit kleinen Luftgeschwindigkeiten. Die leicht unterkühlte Zuluft breitet sich im Bodenbereich aus. Je nach Möblierung und Nutzung des Raumes sind Eindringtiefen von über 6 ... 8 m möglich. Trifft die Strömung auf die gegenüberliegende Wand, so kehrt sie um und strömt auf einer 2. Ebene zurück. Auf diese Art bildet sich ein Frischluftsee, aus welchem die Wärmequellen einen Teil der Luft für ihre Auftriebsströmung nehmen.

14.2 Mischzone

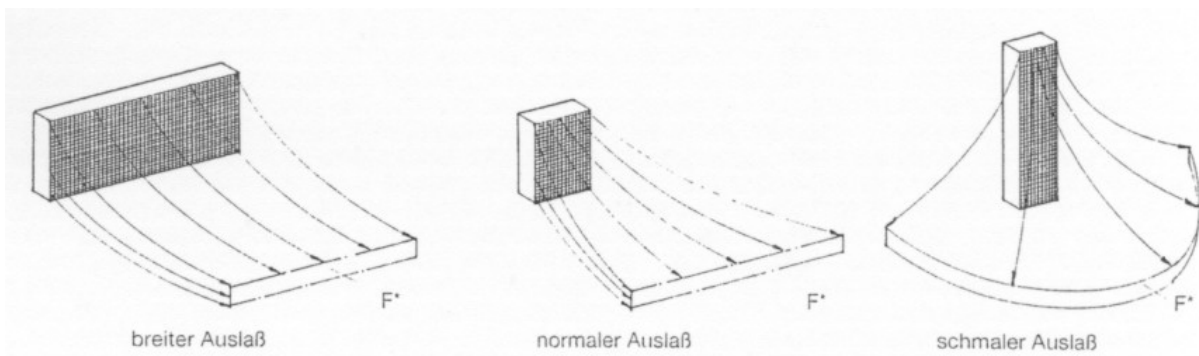
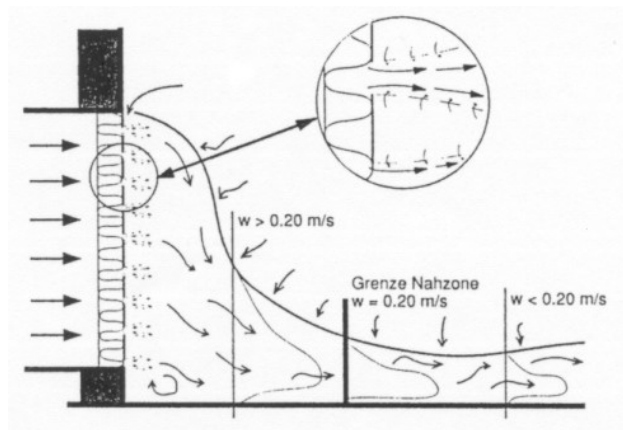
In einer gewissen Höhe, die stark von den Wärmequellen abhängt, ist die Frischluft durch die Auftriebsströmung der Wärmequellen aufgebraucht. Oberhalb dieser Zone bewegt sich die Auftriebsströmung weiterhin gegen die Decke. Die in diesem Bereich von dem Auftrieb mitgerissene Luft muss durch Rückströmungen aus dem Deckenbereich nachgeliefert werden. Dadurch entsteht in dieser Zone eine Vermischung der Luft.

14.3 Abluftschicht / Verdrängungszone

Im Deckenbereich wird die Auftriebsströmung abgebremst und ein mehr oder weniger grosser Teil davon durch die Abluftöffnungen abgesaugt.

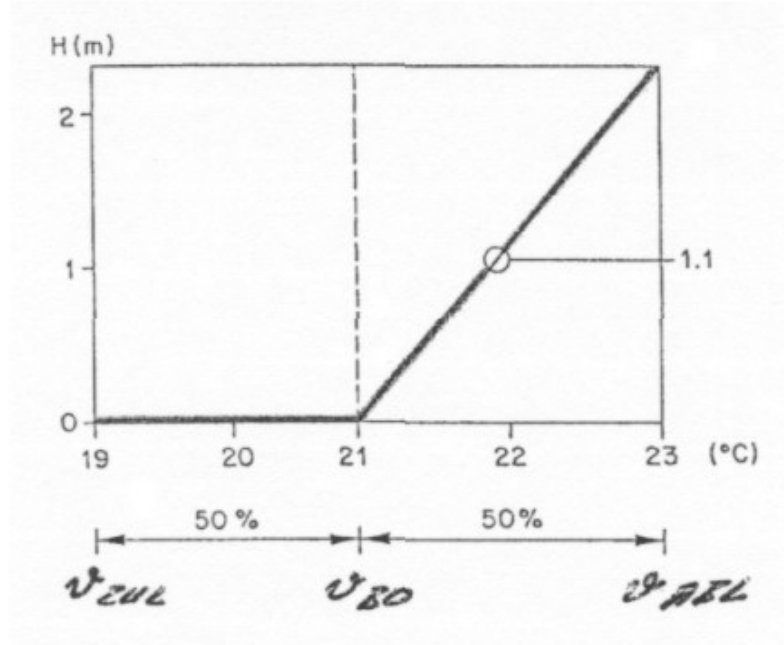


Nahzone mit dem I_{O_2} -Wert:



14.4 Auslegung

Es gibt verschiedene Ansätze zur Auslegung von Quellluftsystemen. Eine einfache Methode, die in allen „Normalfällen“ mit Raumhöhen um 3 m zu guten Resultaten führt, ist das 50 %-Modell. Die Methode basiert auf der Annahme, dass 50 % des Temperaturunterschiedes zwischen Abluft und Zuluft im Bodenbereich aufgenommen werden.

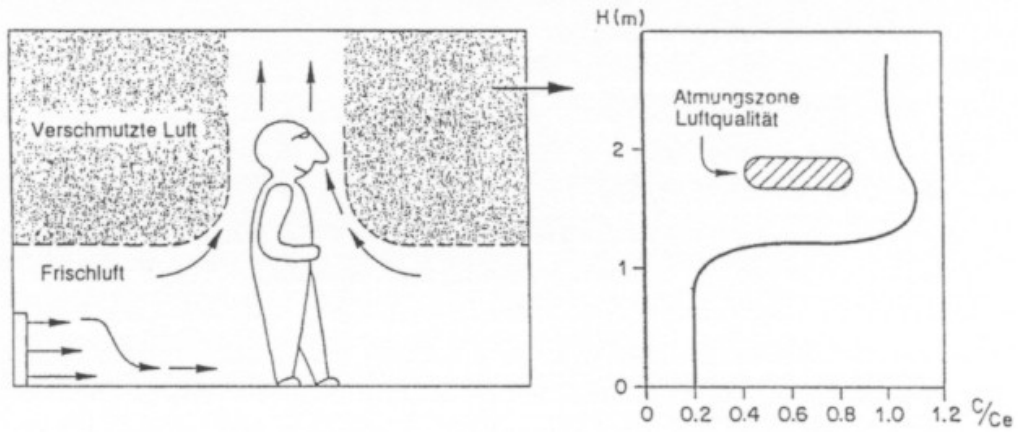


Randbedingungen:

Auslegungs-Raumlufttemperatur:	22 ... 23	°C
Raumluftwechsel:	< 8.0	h ⁻¹
spez. Luftbelastung	< 25.0	m ³ /h*m ²
Temperaturdifferenz ABL-ZUL:	> 1 ... < 8	K
Vertikaler Temperaturgradient:	< 1.5	K/m
Zulufttemperatur:	> 19 ... 18	°C

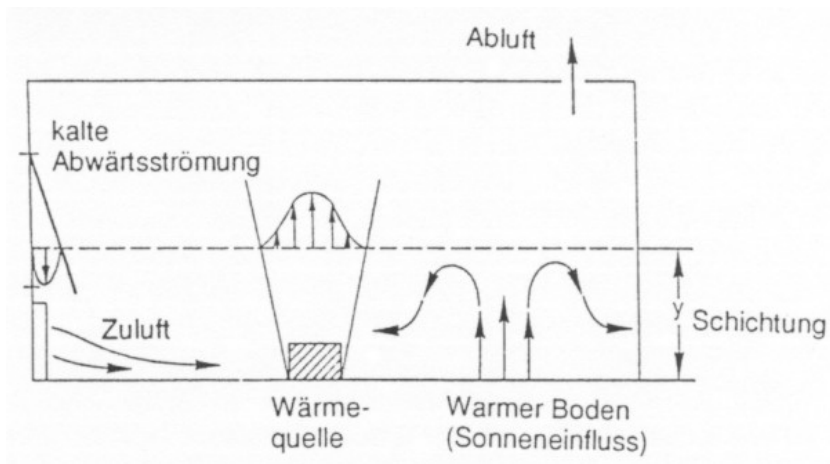
14.5 Luftqualität

Im Gegensatz zu der Mischlüftung hat die Quelllüftung den grossen Vorteil einer besseren Luftqualität. Wie im Bild unten dargestellt, transportiert der Mensch durch Konvektion Luft aus dem Bodenbereich in die Atmungszone. Dadurch ist die Qualität der Atmungszone wesentlich besser als diejenige im übrigen Raum (auf entsprechender Höhe).



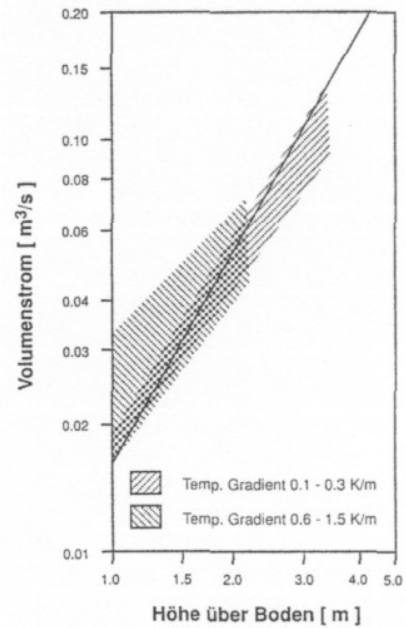
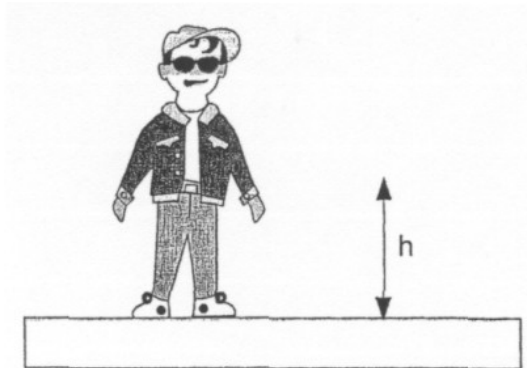
Für eine gute Luftqualität ist eine Schichthöhe von ca. 1 m notwendig. D.h. in diese Zone muss ein Gleichgewicht zwischen zugeführter Frischlufte und den Auftriebsvolumenströmen herrschen.

Die Einflüsse auf die Höhe des Frischluftees und die Schichtung zeigt dieses Bild

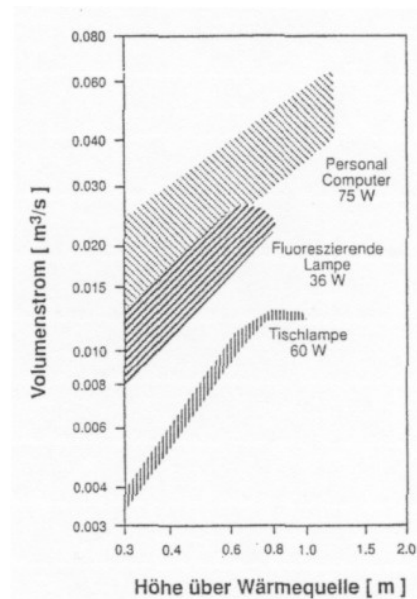
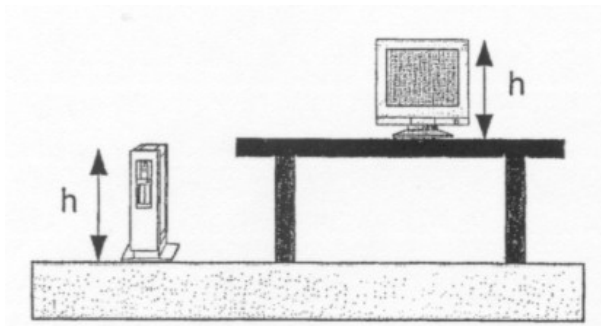


FORMELSAMMLUNG RAUMLUFTSTRÖMUNG

Den von sitzenden Personen erzeugte Auftriebsvolumenstrom sieht man in diesem Bild:



Den von Geräten erzeugte Auftriebsvolumenstrom zeigt dieses Bild:

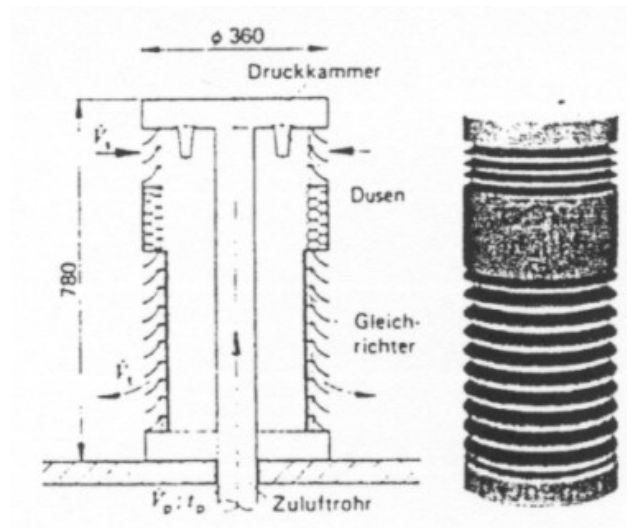


Auftriebsvolumenströme von nebeneinander angeordneter Wärmequellen:

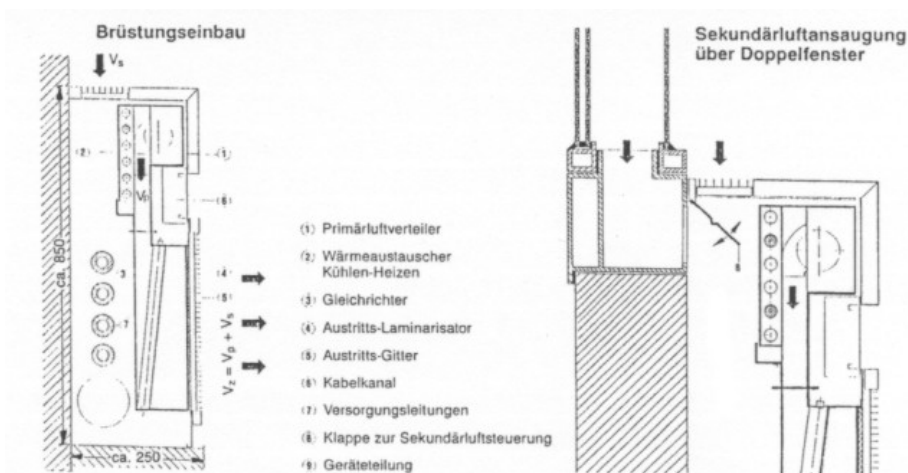
Auftriebsvolumenstrom	Anzahl Wärmequellen (N)				m³/h
	1	2	3	4 oder mehr	
V	V	1.26 x V	1.44 x V	0.4 x N x V	
100	100	126	144	N = 6 240	

14.6 Spezialsysteme

Da bei Quellluftsystemen im Komfortbereich nur mit 3 ... 4 K gefahren werden darf, können zum Abführen der Wärme relativ grosse Luftvolumenströme notwendig werden. Um diese möglichst klein zu halten und damit auch die Kanalquerschnitte zu verringern wurden Quellluftdurchlässe mit Induktion entwickelt.



Eine andere Möglichkeit, den Primärluftvolumenstrom zu reduzieren, ist der Einsatz von im Brüstungsbereich angeordnete Quellluft-Induktionsgeräten.



14.7 Zusammenfassung

Einsatzgebiet	Büro, Garderoben, Hallen, Säle, Sport, Industrie	
Randbedingungen Komfort		
Luftaustrittsgeschwindigkeit	< 0.2 ... 0.25	m/s
min. Zulufttemperatur		
- ohne Kühldecke	> 18	°C
- mit Kühldecke	> 20	°C
Temperaturgradient	< 1.5	K/m
Durchlasshöhe		
- normale Quelllüftung	< 1.0	m
- starker Kühlbetrieb	< 0.8	m
Distanz zum Arbeitsplatz	> 1.0	m
Auslegungstemperaturdifferenz (Abluft – Zuluft)	6 ... 8	K
max. Kühlleistung	30 ... 40	W/m ²
Randbedingungen Komfort		
Luftaustrittsgeschwindigkeit	< 0.3 ... 0.5	m/s
min. Zulufttemperatur		
- ohne Kühldecke	> 16 ... 18	°C
- mit Kühldecke		
Temperaturgradient	< 2 ... 3	K/m
Durchlasshöhe		
- normale Quelllüftung	< 1.5	m
- starker Kühlbetrieb	< 1.0	m
Distanz zum Arbeitsplatz	> 1.5	m
Auslegungstemperaturdifferenz (Abluft – Zuluft)	ca. 8	K
max. Kühlleistung	50 ... 70**	W/m ²
Bemerkungen	<ul style="list-style-type: none"> - geeignet für VAV-Anlagen - kein Heizbetrieb möglich, Temp.-differenz min. 1K. - Abluft immer an Decke über Wärmequellen - Bodenfreiheit 10 – 15 cm verbessert die Luftverteilung. - Wärmequellen nicht direkt auf den Boden stellen. 	
Lieferanten	Hesco, Durrer, ABB, Trox, SM-Heag, Barcolair usw.	

** mit gezielter Abluftabsaugung

15. Kühldecken

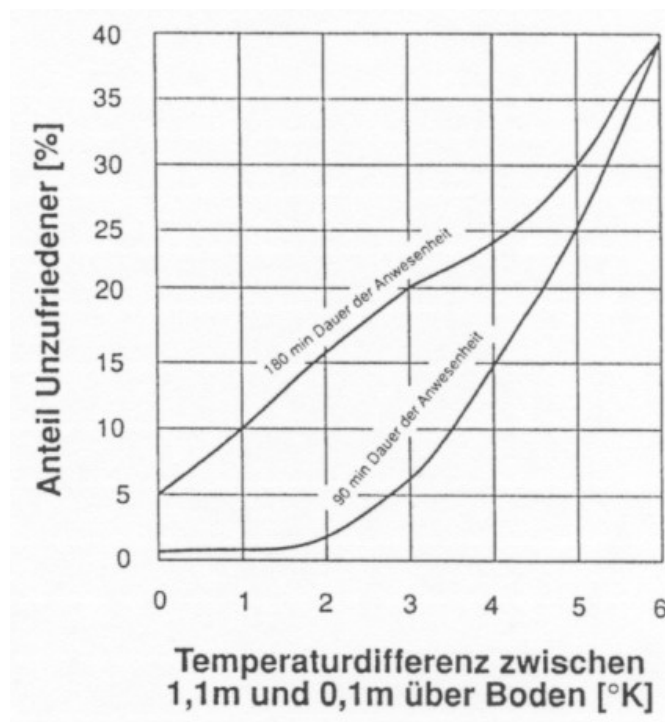
Eine optimale Lösung, um die Lasten welche in der Vergangenheit immer grösser wurden, abzuführen ist die Kombination von Kühldecken und einer Ersatzluftanlage. In Büroräumen liegt der Raumlufwechsel üblicherweise im Bereich von 2 ... 3 K.

15.1 Komfort

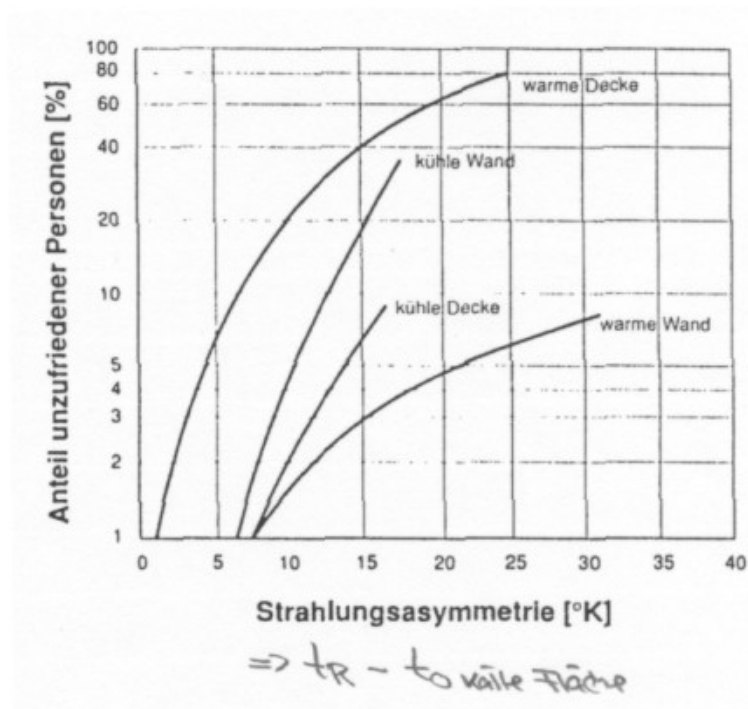
Der Mensch hat je nach Umgebungsbedingungen und Bekleidung eine mittlerer Oberflächentemperatur von 28 ... 30 °C und eine Gesamtwärmeabgabe bei leichter körperlicher Arbeit von 110 ... 120 W, welche er wie folgt abgibt:

- Strahlung 35 ... 45 %
- Konvektion 30 ... 40 %
- Verdunstung 20 ... 30 %

Der Temperaturgradient im Aufenthaltsbereich sollte, je nach Luftgeschwindigkeit im Bodenbereich, in der Grössenordnung von 2 K liegen. Wie das Bild unten zeigt, müssen bei längerer Aufenthaltsdauer tiefere Werte angestrebt werden.



Einfluss der Strahlungssymmetrie auf das Wohlbefinden des Menschen:



Stichwort:

Der Mensch fühlt sich wohl mit warmen Füßen und einem kühlen Kopf.

15.2 Systeme

Passive Kühlung

Das sind Systeme mit einbetonierten Kaltwasserrohren (Bauteilkühlung). Dabei wird die Betondecke als Speicher genutzt, welcher in der Nacht heruntergekühlt wird. Je nach Gesamtsystem können Kühlleistungen von ca. 30 ... 40 W/m² abgeführt werden.

Es sind Systeme die sich durch eine grosse Zeitkonstante auszeichnen, d.h. sie können auf plötzliche Änderungen nicht aktiv reagieren.

Aktive Kühldecke

Aktive Kühldecken sind Systeme, welche mehr oder weniger von der Gebäudemasse entkoppelt sind. Sie können auf plötzliche Änderungen rasch reagieren.

Man unterscheidet zwischen folgenden Ausführungen:

Geschlossene Kühldecken

- aus hygienischen Gesichtspunkten ideal
- Strahlungsanteil hoch > 50 %
- Raumlufttemperatur kann gegenüber konvektiven Systemen, ohne Komforteinbussen 1 ... 2 K erhöht werden.

Offene Kühldecken

- Ausführungen, welche Schlitze in den einzelnen Kühlelementen oder Öffnungen in diesen haben
- diese Systeme erlauben einen Wärmeaustausch zwischen dem Raum und der Betondecke, weil die Raumluft (mittels Thermik) auf der hinteren Seite der Kühllamellen beaufschlagt kann

Kühlelemente / Kühlbalken

- meistens frei im Raum montiert
- es können grosse Kühlleistungen abgeführt werden
- Strahlungsanteil liegt weit unter 50 %

15.3 Leistung / Auslegung

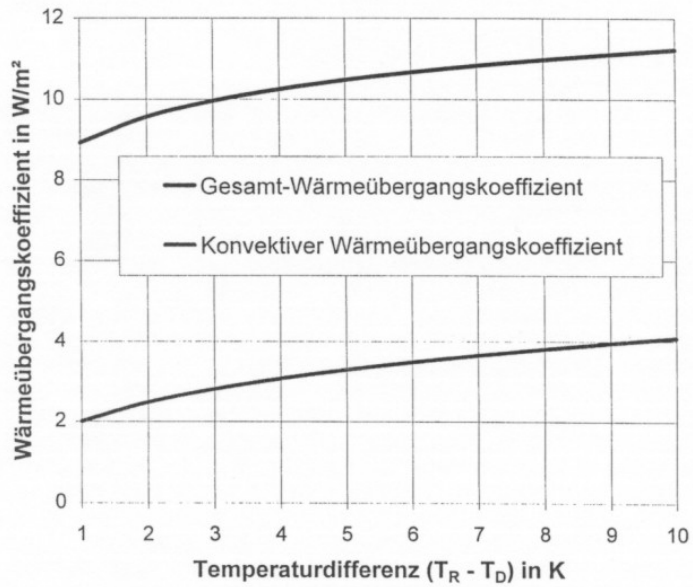
Geschlossene Kühldecken

Wärmeübergang konvektiv:

$$\alpha = 2 * (t_{\text{Raum}} - t_{\text{Decke}})^{0.31}$$

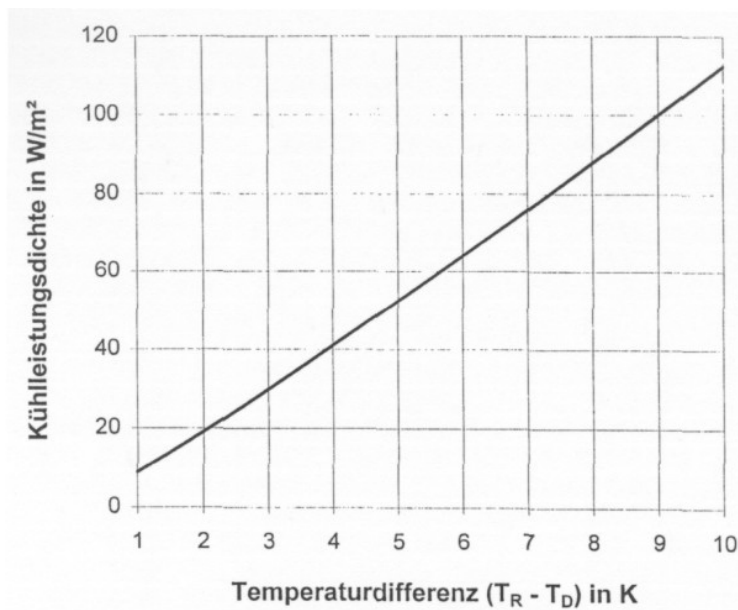
Wärmeübergang gesamt:

$$\alpha = 8.92 * (t_{\text{Raum}} - t_{\text{Decke}})^{0.1}$$



spez. Kühlleistung gesamt:

$$q = 8.92 * (t_{\text{Raum}} - t_{\text{Decke}})^{1.1}$$



Leistungs - Gegenüberstellung:

Geschlossene Kühldecken: Raumhöhe ca. 3 m, Temperaturdifferenz zwischen Decke und Raum 10 K, dass ergibt eine max. Kühlleistung von gut 100 W/m².

Offene Kühldecken: Raumhöhe ca. 3 m, Temperaturdifferenz zwischen Decke und Raum 10 K, dass ergibt eine max. Kühlleistung bis über 150 W/m².

Achtung: bei Leistung über 80 W/m² muss mit störenden Luftbewegungen gerechnet werden.

Wärmeübergang:

Aus energetischen Überlegungen sowie um Kondenswasserprobleme zu vermeiden, sind möglichst hohe Kaltwassertemperaturen erwünscht. Um dies zu erreichen muss der Wärmeübergang vom Kühlwasser zu der Deckenunterseite möglichst gut sein.

Am besten eignen sich Aluminium-Strangprofile mit integrierten Kaltwasserrohren, welche gegenüber Blechlamellen mit aufgeklippten Rohren einen bis zu 5 mal besseren Wärmedurchgang haben.

15.4 Raumlufffeuchtigkeit / Ersatzluftanlage

Im allgemeinen ist eine Lüftungsanlage mit Entfeuchtung für einen Raum mit Kühldecke unerlässlich. Damit eine ausreichende Sicherheit gegen die Kondenswasserbildung gegeben ist, sollte aus Erfahrung die Kaltwasservorlauftemperatur mindestens 1 K über dem Raumlufftaupunkt liegen.

15.5 Lufteinführung / Raumluffströmung

Untere Lufteinführung:

- durch Quelllufftdurchlässe
- durch schwachinduzierende Bodenlufftdurchlässe, welche ausserhalb des Aufenthaltsbereiches angeordnet werden.
- max. Untertemperatur der Zuluft 2 ... 4 K.
- je nach Lufftwechsel und Luffteinführung liegen die spez. Kühlleistung bei 10 ... 15 W/m².

Obere Luffteinführung:

- durch Dralllufftdurchlässe
- α -Wert wird erhöht und damit der konvektive Leistungsanteil der Kühldecke.
- die unkontrollierten Kaltlufftströmungen der Decke kann stabilisiert werden.
- je nach Lufftwechsel und Luffteinführung liegen die spez. Kühlleistung bei 10 ... 15 W/m².

15.6 Lufftqualität

Die Lufftqualität entspricht in Räumen mit Kühldecken weitgehend derjenigen einer Mischlüftung.

15.7 Regelung

Mit DDC-Systemen und offenen Kühldecken oder Kühlelementen ist es wichtig, dass die Gebäudemasse ins Regelsystem miteinbezogen wird. So kann bei einem angepassten Tag-/Nachtbetrieb und Nutzung der Gebäudespeichermasse die Kühldecke um bis zu ca. 15 % kleiner dimensioniert werden.

Aktive Kühldecken sind „Powersysteme“ deren Leistungen während einem grossen Teil des Jahres zu gross sind. Um Energie zu sparen sollten darum die Raumtemperatursollwerte sowie die Kaltwasservorlauftemperaturen in Funktion der Aussenluft geschoben werden. Die individuellen Eingriffe sollen auf ein Minimum beschränkt werden.

15.8 Energieverbrauch / Investitionskosten

Allgemeine Aussagen zum Energieverbrauch können nicht gemacht werden, weil die Komfortverbesserung und die damit verbundene Leistungssteigerung der Personen nicht quantifiziert werden kann.

Gemäss Untersuchungen sind bei Bürogebäuden mit Kühldeckensystemen um 25 ... 50 % tiefere Betriebskosten als Nur-Luftsystemen zu erwarten.

Die Investitionskosten liegen bei einer Kühlleistung von ca. 50 W/m^2 in der gleichen Grössenordnung wie bei einem VAV-System.

15.9 Heizung

Damit kein störender Kaltluftabfall entsteht, kann auf eine Heizung unter den Fenstern nur verzichtet werden, wenn der Gesamt-k-Wert unter $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegt.

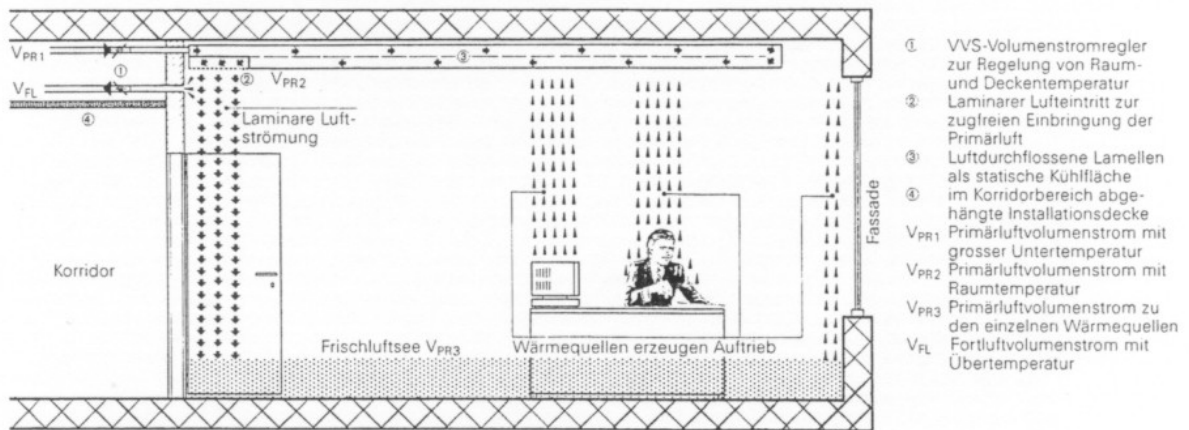
15.10 Allgemeine Hinweise

Bei Kühlleistungen über $60 \dots 80 \text{ W/m}^2$ muss immer geprüft werden, ob die gesamte Wärme über den Raum abgeführt werden muss oder ob ein wesentlicher Teil direkt am Entstehungsort erfasst werden kann. Denn je nach Art der Wärmequellen und Raumgeometrie kann bei hohen Kühlleistungen nicht mit jedem System ein optimaler thermischer Komfort garantiert werden.

15.11 Spezialsysteme

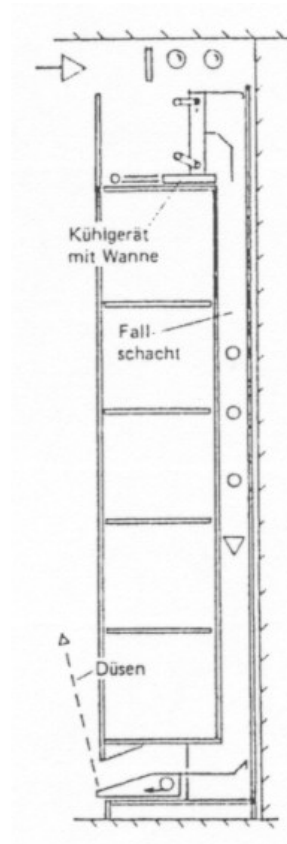
Luftgekühlte Kühldecken

- Kühlleistungen von bis zu 40 ... 50 W/m²
- Zuluft wird auf ca. 14 °C abgekühlt und entfeuchtet
- in den Raum einströmende Zuluft hat noch eine Untertemperatur von ca. 2 K
- Lufteinführung entweder über Boden- oder Deckenluftdurchlässe



Kühlkonvektor System „Graviant“

- das ist eine Schwerkraftkühlung
- Kühlleistungen von bis zu 20 ... 40 W/m²



16. Numerische Strömungssimulation

Mit diesen Programmen lassen sich die Luftströmung und Temperaturverteilungen in Räumen oder in und um ganze Gebäude detailliert berechnen.

Typische Fragestellungen sind:

- Kann die Energie für die Lüftungsanlage ohne Komforteinbusse reduziert werden?
- Sind Zugerscheinungen oder kalte Füße zu erwarten ?
- Wie gut ist die Raumluftqualität im Aufenthaltsbereich ?
- Ist im Atrium ein Kaltluftabfall und daraus resultierende Komforteinbussen zu befürchten ?
- Genügt ein natürliches Lüftungssystem ?
- Werden die Schadstoffe effizient abgesaugt ?
- Wo sind die Fühler für die Regelung zu platzieren ?
- Wie beeinflusst der Wind die Luftströmung im Gebäude ?

Folgende Grundgleichungen bestimmen die Strömung:

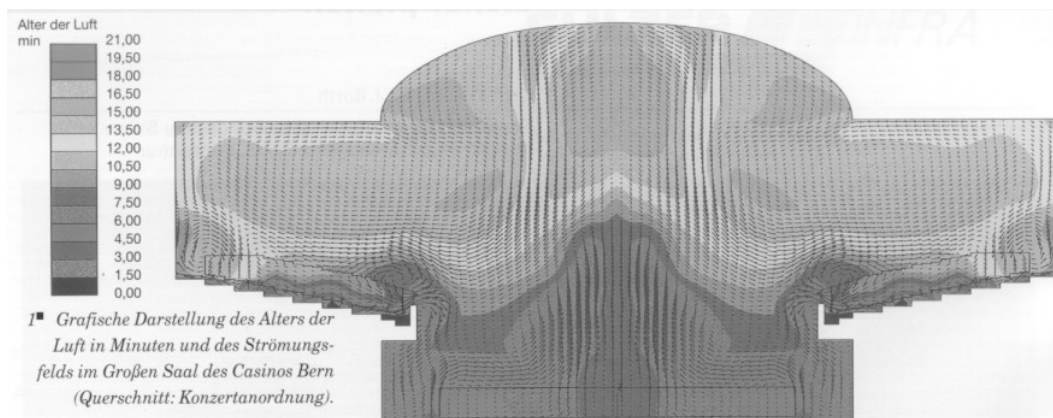
- Massenkontinuität (Erhaltungssatz der Masse)
- Impulssatz (Newton'sches Bewegungsgesetz)
- Energiesatz (Energieerhaltung)

Praktisches Vorgehen bei der numerischen Strömungsberechnung

- Umsetzung der Geometrie in eine für das Programm geeignete Form, d.h. wo immer möglich wird die Geometrie vereinfacht.
- Wahl eines Rechengitters (wo grob, wo fein)
- Wahl der Randbedingungen, der Startwerte und Kontrollparameter
- Kontrolle der Konvergenz und Resultate
- Auswertung und Interpretation der Resultate

Visualisierung der Resultate

Die meistverwendeten Datendarstellungen sind Vektorplots und Isokonturlinien.



17. Allgemeine Auslegungsgrundlagen

Folgendes muss bei der Auslegung sämtlicher Lufteinführungen beachtet werden:

- Luftwechselzahlen und m^2 -Belastungen sind immer auf die Ausblaszone und nicht auf die gesamte Raumgrundfläche zu beziehen.
- In Komfortanlagen mit Raumhöhen um 3 m sollten die Luftdurchlässe mit einem Zuluftvolumenstrom bis max. 250 m^3/h belastet werden. Bei höheren Werten kann der hohe Sekundärluftvolumenstrom zu Zugerscheinungen führen.
- Die üblichen Dimensionierungsgrundlagen gelten für Raumlufttemperaturen von 24 ... 26 °C. Bei tieferen Werten ist der Mensch wesentlich empfindlicher. Dies muss vor allem bei Lufteinführungen in Spezialräumen (Mess-/Testräume usw.) berücksichtigt werden.
- Bei nicht unterkellerten Räumen ist die Bodenoberflächentemperatur im Winter oft zu tief. Sind die Luftgeschwindigkeiten im Bodenbereich noch etwas zu hoch (z.B. bei Decken, Drallauslässen) führt das unweigerlich zu einer Verstärkung der Auskühlung im Fussbodenbereich.
- Böden von hohen Räumen können mit Luftheizungen nicht vernünftig aufgeheizt werden. Dies gilt vor allem, wenn die Fassade schlecht wärmedämmt ist bzw. durch undichte Tore kalte Luft einströmt.
- Bei VAV-Anlagen muss abgeklärt werden, ob, um Zugerscheinungen zu vermeiden, im Teillastbetrieb evtl. die Untertemperatur reduziert werden muss.
- Bei impulsarmen Lufteinführungen (z.B. Lüftungsdecken) besteht die Gefahr, dass sich grossräumige Walzen bilden, die zu Zugerscheinungen führen können.
- Bei Lufteinführungen, die mit der Thermik arbeiten, ist die Raumströmung wesentlich stabiler.
- Raumhöhen/Einblashöhen unter 2.8 m sind kritisch. Bei solchen Räumen muss der Auslegung der Luftdurchlässe besondere Beachtung geschenkt werden.
- Grosse Wärmequellen, Fassaden mit schlechtem Sonnenschutz und Maschinen mit internen Lüftungen (Kopierer usw.) müssen ins Lufteinführungskonzept miteinbezogen werden.
- Abwärme von grossen Wärmequellen soll wenn immer möglich direkt, und nicht über den Raum, abgeführt werden.
- Bei Maschinen mit starken internen Lüftungen soll die austretende Luft zu den Abluftöffnungen geführt werden (nicht direkt anschliessen). Dies gilt vor allem, wenn die Luft schadstoffbelastet ist.
- In Räumen mit unterschiedlich wärmebelasteten Bereichen müssen das Anlagekonzept, die Regelung und die Lufteinführung zonenweise abgestimmt werden. Wird mit durchschnittlichen Bedingungen gerechnet, sind Komfortprobleme vorprogrammiert.
- Die Lage der Abluftabsaugungen hat einen geringen Einfluss auf die Raumströmung. Trotzdem kann eine richtige Platzierung die Raumströmung wesentlich stabilisieren und die Raumluftqualität verbessern.
- Eine gute Raumströmung kann sich nur bilden, wenn darauf geachtet wird, dass die Zuluft gleichmässig auf die einzelnen Luftdurchlässe verteilt wird. Ausserdem müssen die Luftdurchlässe strömungstechnisch richtig angeschlossen werden.
- Nicht jeder Architektenwunsch kann erfüllt werden. Es ist unsere Aufgabe, den Architekten, den Bauherrn und den Benutzer bei Kompromissen auf allfällige Komforteinbussen aufmerksam zu machen.

Gute Komfortbedingungen brauchen auch entsprechend aufwendige Systeme !!