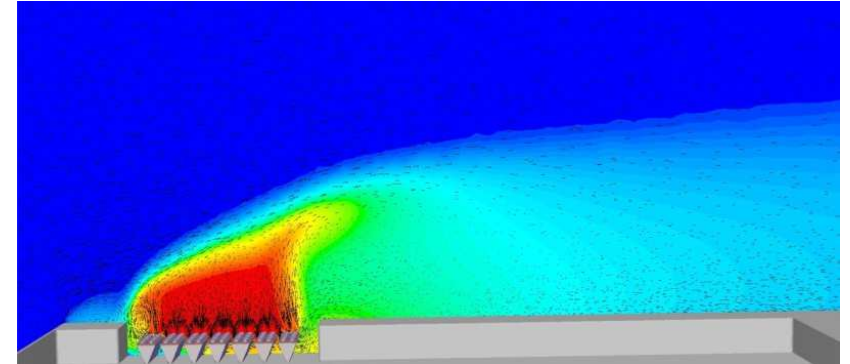


Rud. Otto Meyer Technik Ltd. & Co. KG



Lüftungstechnische Maßnahmen

Geeignete Luftführungssysteme sowie maßgebliche Einflussfaktoren bei der Bemessung der Außenluftvolumenströme

Forschung und Entwicklung | Peter Thiel

Hamburg, den 12.09.2016

Agenda

- Indikatoren für die **Raumluftqualität**
- Berechnungsgrundlagen nach **DIN EN 16798-1**
 - **VERFAHREN 1**: Verfahren auf der Grundlage der wahrgenommenen Luftqualität
 - **VERFAHREN 2**: Verfahren unter Anwendung von Grenzwerten der Gaskonzentration
- Beispiele – **VERFAHREN 1** und **VERFAHREN 2**
- Fazit

Indikatoren für die Raumluftqualität



Raumluftqualität

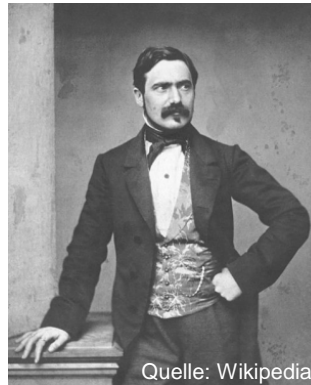
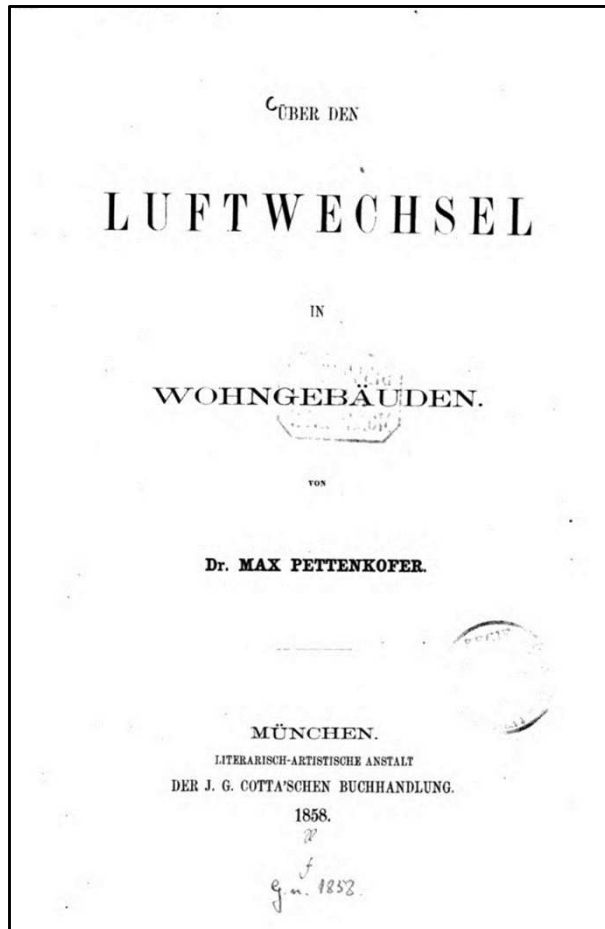
Die **Raumluftqualität** wird durch **stoffliche Lasten** (Verunreinigungen) negativ beeinflusst.

Außenluft	
Biospäre	Pollen, Mikroorganismen (Pilzsporen, Bakterien)
Motorfahrzeuge	Stickoxide, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Partikel, Ozon
Industrie und Gewerbe	Kohlenwasserstoffe, Schwefeldioxid, Stickoxide, Partikel

Mensch	
Stoffwechsel (Bioeffluenzen)	Kohlendioxid, Gerüche, Wasserdampf
nutzungsbedingte Lasten	Tabakrauch, Partikel, Reinigungsmittel

Gebäude	
Einrichtung (Teppiche, Möbel, Anstriche, etc.)	Aldehyde, Lösungsmittel, organische Verbindungen
Baumaterialien (Dämmstoffe, Spanplatten, etc.)	Lösungsmittel, organische Verbindungen, Aldehyde, Asbest

Pettenkofer-Zahl



Max von Pettenkofer (1818 - 1901)

Deutscher Hygieniker und Chemiker

Pettenkofer betrachtete den Menschen als die wesentliche Verunreinigungsquelle im Raum. Er führte den **CO₂-Gehalt** der Raumluft als **Indikator für die Verunreinigung** durch Personen ein.

Pettenkofer-Zahl:

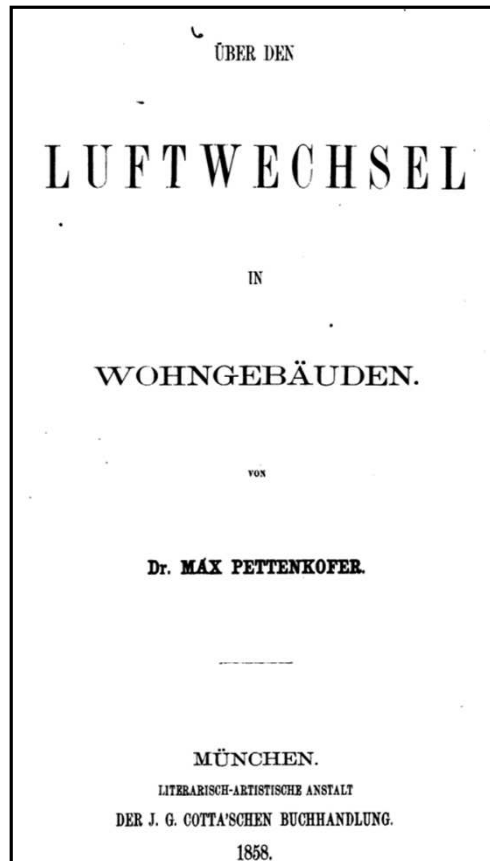
CO₂-Konzentration: **1000 ppm = 0,1 Vol-%**

78

Fragen über die Ventilation

Aus diesen Versuchen geht zur Evidenz hervor, dass uns keine Luft behaglich ist, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält. Wir haben somit ein Recht, jede Luft als schlecht und für einen beständigen Aufenthalt als untauglich zu erklären, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält.

Indikatoren für die Luftqualität



Sinne eckelerregend wirkt. Der Kohlensäuregehalt allein macht die Luftverderbniss nicht aus, wir benützen ihn bloss als Maassstab, wornach wir auch noch auf den grössern oder geringern Gehalt an andern Stoffen schliessen, welche zur Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure sich proportional verhalten.

Beispiele für andere typische nutzungsbedingte Leitindikatoren

Büro- / Verwaltungsgebäude	Kohlendioxid
Schulen	Kohlendioxid
Tiefgaragen	Kohlenmonoxid
Krankenhäuser	Narkosegase
Holzverarbeitung	Formaldehyd
Schwimmbäder	Chlor

Indikatoren für die Luftqualität

Tabelle 1. VOC und Formaldehyd: TOP Ten nach Zahl und Höhe in Klassenräumen im Vergleich zur Büroraumluff (ohne Siloxane).

Name	90-%-Wert Klassenraum		90-%-Wert Büroraum	
	Anzahl Messwerte	Konzentration in µg/m ³	Anzahl Messwerte	Konzentration in µg/m ³
TVOC	349	631	471	1 000
Formaldehyd	371	57	419	60
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	270	29	554	5
Toluol	353			64
Butan-1-ol	319			31
2-Ethylhexan-1-ol	321			18
Hexanal	342			63
Limonen	352			27
2-Butoxyethanol	321			15
2-Phenoxyethanol	269	20	564	5

Konzentrationen sind **unbedenklich** bis
noch unbedenklich
 → CO₂ guter Indikator für Luftqualität
 (sofern auf eine schadstoffarme
 Inneneinrichtung geachtet wird!)

Quelle: Luftqualität und Lüftung in Schulen, Dr.-Ing. Heinz-Dieter Neumann, Unfallkasse NRW, Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, 71 (2011), Nr. 11/12

TVOC = total volatile organic compounds

Stufe	Konzentration [mg _{TVOC} /m ³]	Hygienische Bewertung
1	≤ 0,3 mg/m ³	unbedenklich
2	> 0,3-1 mg/m ³	noch unbedenklich, sofern keine Richtwertüberschreitungen vorliegen
3	> 1-3 mg/m ³	auffällig
4	> 3-10 mg/m ³	bedenklich
5	> 10 mg/m ³	inakzeptabel

CO₂-Konzentrationen und -Wirkungen

Einige Zahlenwerte

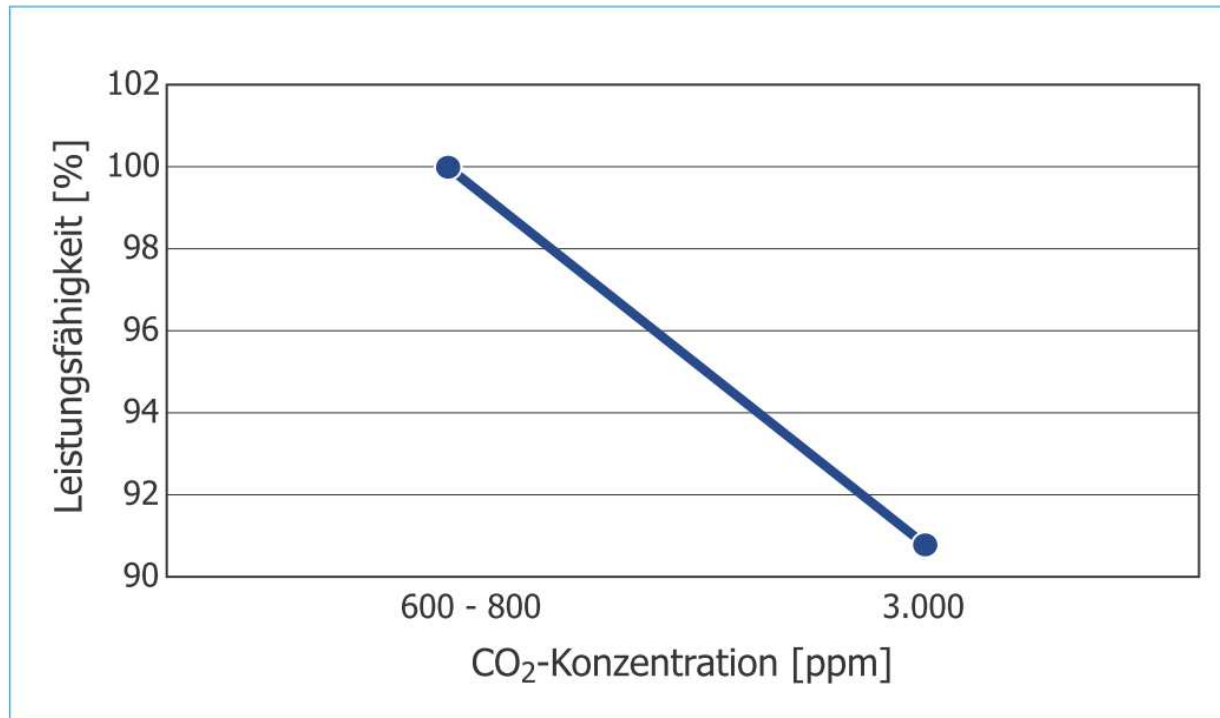
CO ₂ -Konzentration in ppm	Erläuterung / Wirkung auf den Menschen
350 ... 400	Konzentration schadstoffarmer Außenluft (Land)
450 ... 500	Konzentration schadstoffreicher Außenluft (Stadt)
1.000	Pettenkofer-Zahl
5.000	Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) nach TRGS 900
10.000	Erhöhte Atemfrequenz
30.000	Kopfschmerz, Schwindel
50.000	Konzentration ausgeatmeter Atemluft von Menschen
> 60.000	bei längerer Exposition ⇒ Tod

Empfehlung des Umweltbundesamtes

CO ₂ -Konzentration in ppm	Hygienische Bewertung und Empfehlung
< 1.000	hygienisch unbedenklich ▶ keine weiteren Maßnahmen
1.000 ... 2.000	hygienisch auffällig ▶ Lüftungsmaßnahmen erhöhen ▶ Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
> 2.000	hygienisch inakzeptabel ▶ Belüftbarkeit des Raumes prüfen ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen

Hinweis: Bei den angegebenen CO₂-Konzentrationsleitwerten handelt es sich um Momentanwerte!

Einfluss auf die Leistungsfähigkeit



Ergebnis eines in österreichischen Schulen durchgeführten Aufmerksamkeits- und Konzentrationstestes in Abhängigkeit unterschiedlicher CO₂-Konzentrationen. Quelle: Ribic, Unser Weg, Heft 5, 2007.

Berechnungsgrundlagen nach DIN EN 16798-1



Neue Zuordnung der relevanten Normen

Neue Zuordnung (Norm-Entwürfe)	Bestehende Norm	Inhalt (Norm-Entwürfe)
<ul style="list-style-type: none">▪ DIN EN 16798-1:2015-07▪ TR 16798-2	DIN EN 15251: 2012-12	Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
<ul style="list-style-type: none">▪ DIN EN 16798-3:2015-01▪ TR 16798-4	DIN EN 13779:2007-09	Anforderungen an die Leistung von Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsystemen

Wichtige Änderungen

- Außenluftvolumenangaben aus der DIN EN 13779 entfallen!
- Berechnung der Außenluftvolumenströme erfolgt zukünftig nur noch nach den aus der DIN EN 15251 bekannten Verfahren!

Anforderungen

Die **Anforderungen** für das Raumklima bzw. die Raumluftqualität werden durch die Festlegung auf eine der **vier Kategorien** definiert.

DIN EN 15251

Kategorie	Beschreibung
I	<u>hohes Maß an Erwartungen</u> ; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen
II	<u>normales Maß an Erwartungen</u> ; empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	<u>annehmbares, moderates Maß an Erwartungen</u> ; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden
ANMERKUNG Auch in anderen Normen wie z. B. EN 13779 und EN ISO 7730 wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese können jedoch unterschiedlich benannt sein (A, B, C oder 1, 2, 3 usw.)	

DIN EN 16798-1

Kategorie	Beschreibung
I	Hohes Maß an Erwartungen; auch empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z. B. mit einigen Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen, zur Erhöhung der Zugänglichkeit
II	Normales Maß an Erwartungen
III	Annehmbares, moderates Maß an Erwartungen
IV	<u>Geringes Maß an Erwartungen</u> . Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden

Berechnungsverfahren nach DIN EN 16798-1

Allgemeines

Die Auslegungsparameter für die Raumlufthqualität sind unter Anwendung eines oder mehrerer der folgenden Verfahren zu bestimmen.

VERFAHREN 1

▪ Verfahren auf der Grundlage der wahrgenommenen Luftqualität

Die Auslegungs-Lüftungsrate resultiert aus der Summe von zwei Komponenten (Stofflasten):

- (a) Verunreinigung durch Nutzer und
- (b) Verunreinigung durch das Gebäude und dessen Anlagen.

$$q_{tot} = n \cdot q_P + A \cdot q_B$$

Erforderlicher Gesamt-Außenluftvolumenstrom

Der **erforderliche Gesamt-Außenluftvolumenstrom** q_{tot} wird anhand folgender Formel berechnet:

$$q_{tot} = n \cdot q_P + A \cdot q_B$$

in l/s

mit:

- n Anzahl der Personen im Raum in Pers
- q_P personenbezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom in l/(s · Pers)
- A Grundfläche des Raumes in m²
- q_B gebäudebezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom in l/(s · m²)

DIN EN 16798-1

Kategorie	Vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener	Luftvolumenstrom je unangepasste Person l/(s je Person)
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	40	2,5*

DIN EN 16798-1

Kategorie	Sehr schadstoffarmes Gebäude	Schadstoffarmes Gebäude	Nicht schadstoffarmes Gebäude
	l/(sm ²)	l/(sm ²)	l/(sm ²)
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,2	0,4	0,8
IV	0,15	0,3	0,6
Mindestwert der Gesamt-Lüftungsrate für Gesundheitszwecke			
	4 l/s je Person	4 l/s je Person	4 l/s je Person

➔ Aus gesundheitlichen Gründen beträgt der Mindest-Luftvolumenstrom 4 l/(s Pers) (15 m³(h Pers))

Berechnungsverfahren nach DIN EN 16798-1

VERFAHREN 2

▪ Verfahren unter Anwendung von Grenzwerten der Gaskonzentration

- Die Auslegungs-Lüftungsraten werden berechnet anhand einer Gleichung des Massegleichgewichts im Beharrungszustand für die Verunreinigungskonzentration im Raum unter Berücksichtigung der Verunreinigungskonzentration in der Außenluft.

$$q_{V,ZU} = \frac{G_h}{(c_{RL} - c_{ZU})} \cdot \frac{1}{\varepsilon_V}$$

mit:

c_{RL}	CO ₂ -Innenluftkonzentration in ppm
c_{ZU}	CO ₂ -Zuluftkonzentration in ppm
$q_{V,ZU}$	Zuluftvolumenstrom in m ³ /s
G_h	emittierter Schadstoff-Volumenstrom (Betriebszustand) in ml/s
ε_V	Lüftungseffektivität in -

Anforderungen - CO₂-Konzentration

Die **Raumluftqualität** wird über den **Indikator CO₂-Konzentration** definiert. Dabei werden keine Absolutwerte, sondern Konzentrationsdifferenzen zur Außenluft angegeben. Je nach Kategorie gelten folgende Werte:

DIN EN 15251

Kategorie	Entsprechende CO ₂ -Konzentration oberhalb der Außenluftkonzentration für Energieberechnungen; in ppm
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

DIN EN 16798-1

Kategorie	Entsprechende CO ₂ -Konzentration oberhalb der Konzentration in Außenluft, in ppm, für unangepasste Personen
I	550 (10)
II	800 (7)
III	1 350 (4)
IV	1 350 (4)

Beispiel:

CO₂-Konzentration der Außenluft:

Anforderung der **Kategorie II:**

Empfohlene CO₂-Konzentration der Raumluft:

DIN EN 15251

$$c_{AUL} = 500 \text{ ppm}$$

$$\Delta c_{RL} = 500 \text{ ppm}$$

$$c_{RL} = c_{AUL} + \Delta c_{RL} = 1.000 \text{ ppm}$$

DIN EN 16798-1

$$c_{AUL} = 500 \text{ ppm}$$

$$\Delta c_{RL} = 800 \text{ ppm } (+ 60 \%)$$

$$c_{RL} = c_{AUL} + \Delta c_{RL} = 1.300 \text{ ppm}$$

Berechnungsverfahren nach DIN EN 16798-1

VERFAHREN 2

▪ Verfahren unter Anwendung von Grenzwerten der Gaskonzentration

- Die Auslegungs-Lüftungsraten werden berechnet anhand einer Gleichung des Massegleichgewichts im Beharrungszustand für die Verunreinigungskonzentration im Raum unter Berücksichtigung der Verunreinigungskonzentration in der Außenluft.

$$q_{V,ZU} = \frac{G_h}{(c_{RL} - c_{ZU})} \cdot \frac{1}{\varepsilon_V}$$

mit:

c_{RL} CO₂-Innenluftkonzentration in ppm

c_{ZU} CO₂-Zuluftkonzentration in ppm

$q_{V,ZU}$ Zuluftvolumenstrom in m³/s

G_h emittierter CO₂-Volumenstrom der Personen (Betriebszustand) in ml/s

ε_V Lüftungseffektivität in -

Kohlendioxidausstoß des Menschen

- Die **CO₂-Abgabe eines Menschen** ist direkt mit seinem **Energieumsatz** gekoppelt.
- In der **ISO 8996** wird folgende Berechnungsgleichung für den **Kohlendioxidausstoß des Menschen** angegeben:

$$G_{h,N} = q_{V,CO_2,N} = RQ \cdot \frac{(M \cdot A_{Du})}{(0,23 \cdot RQ + 0,77) \cdot 5,88} \quad \text{in l}_{CO_2}/h$$

mit:

$q_{V,CO_2,N}$ Kohlendioxidvolumenstrom in l/h bei STPD-Konditionen (0 °C, 101,3 kPa, trockenes Gas)

RQ respiratorischer Quotient in -

M Gesamtenergieaufwand der Person in W/m²

A_{Du} Körperoberfläche der Person nach DuBois in m²

Der respiratorische Quotient RQ ist das Verhältnis des Sauerstoffverbrauchs zur Kohlendioxidproduktion. Er ist eine charakteristische Größe für den verbrannten Nährstoff. (ISO 8996: **RQ = 0,85**)

Stationäre Bilanzgleichung für die Schadstoffkonzentration

CO₂-Emission der Personen G_h

$$G_h = q_{V,CO_2,1} + q_{V,CO_2,2} = q_{V,ZU} \cdot (c_{AB} - c_{ZU})$$

CO₂-Belastung des Arbeitsplatzes

$$q_{V,CO_2,Arb} = q_{V,CO_2,1} = q_{V,ZU} \cdot (c_{RL} - c_{ZU})$$

Annahmen

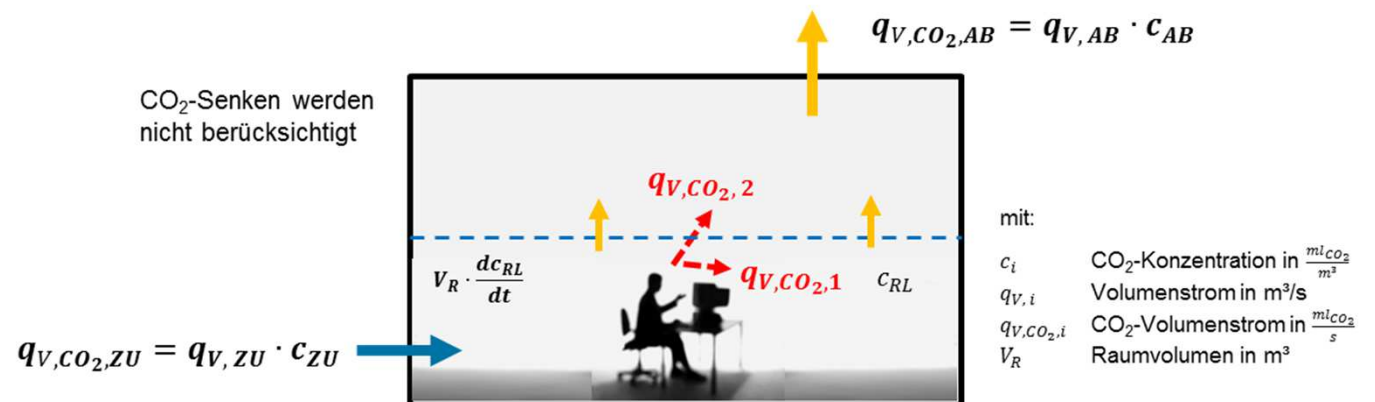
$$q_{V,ZU} = q_{V,AB}$$

Es gilt:

$$q_{V,CO_2,Arb} = \mu_S \cdot G_h$$

Daraus folgt der Stoffbelastungsgrad:

$$\mu_S = \frac{q_{V,CO_2,Arb}}{G_h} = \frac{(c_{RL} - c_{ZU})}{(c_{AB} - c_{ZU})}$$



Effektivität des Luftführungssystems

Der **Stoffbelastungsgrad** μ_S bzw. die **Lüftungseffektivität** ε_V ist eine charakteristische Kenngröße für unterschiedliche Luftführungssysteme. Sie gibt Auskunft über die **Effektivität der stofflichen Lastabfuhr** aus dem relevanten Aufenthaltsbereich. Sie ist wie folgt definiert:

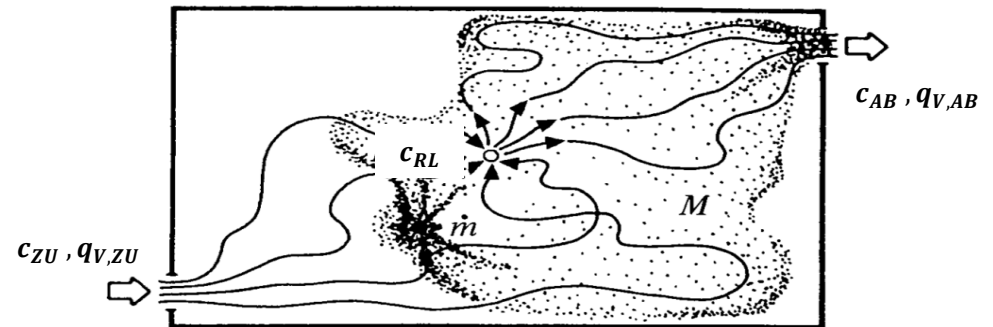
$$\mu_S = \frac{1}{\varepsilon_V} = \frac{(c_{RL} - c_{ZU})}{(c_{AB} - c_{ZU})}$$

mit:

c_{RL} Schadstoffkonzentration der Raumluft in ppm

c_{ZU} Schadstoffkonzentration der Zuluft in ppm

c_{AB} Schadstoffkonzentration der Abluft in ppm



Stationäre Betrachtung

Die Berechnungsgleichung für eine **stationäre CO₂-Konzentrationsberechnung** in **ppm** lautet dann wie folgt:

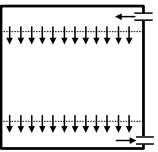
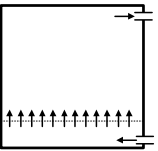
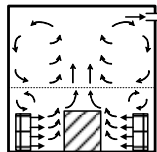
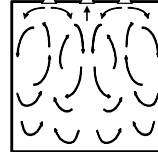
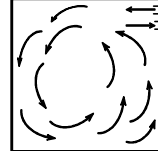
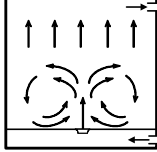
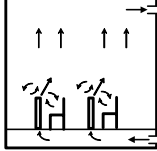
$$q_{V,ZU} = \frac{q_{V,CO_2,Arb}}{(c_{RL} - c_{ZU})} = \frac{\mu_S \cdot G_h}{(c_{RL} - c_{ZU})} = \frac{G_h}{(c_{RL} - c_{ZU})} \cdot \frac{1}{\varepsilon_V}$$

in ppm

mit:

c_{RL}	CO ₂ -Innenluftkonzentration in ppm
c_{ZU}	CO ₂ -Zuluftluftkonzentration in ppm
$q_{V,AU}$	Zuluftluftvolumenstrom in m ³ /s
$q_{V,CO_2,Arb}$	CO ₂ -Belastung des Arbeitsplatzes in ml/s
μ_S	Stoffbelastungsgrad in -
G_h	emittierter CO ₂ -Volumenstrom der Personen (Betriebszustand) in ml/s
ε_V	Lüftungseffektivität in -

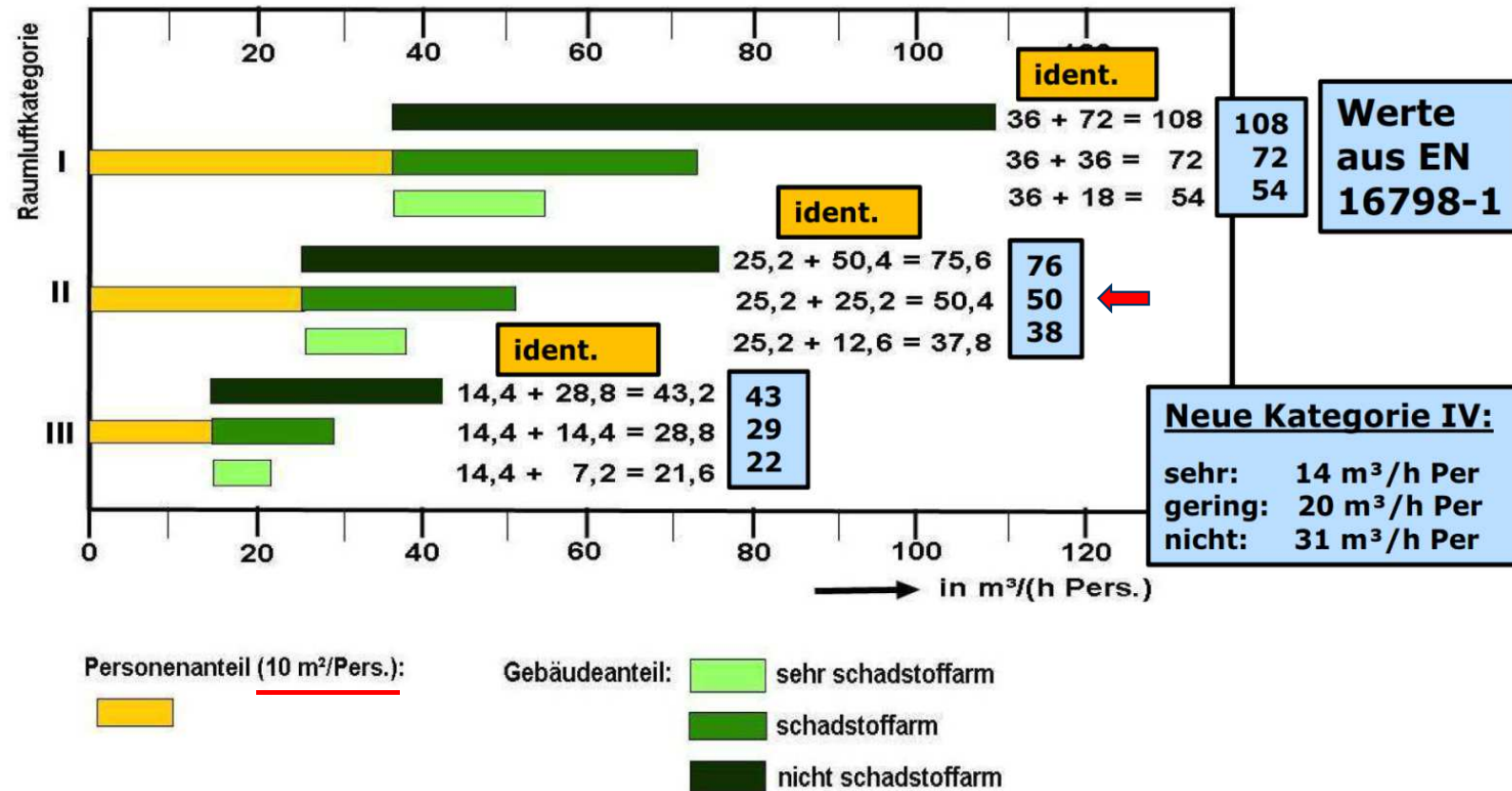
Effektivität des Luftführungssystems

Raumluftrömung	Turbulenzarme Verdrängungsströmung	Schichtenströmung	Turbulente Mischströmung	Örtliche Mischströmung
Zulufteinbringung (Beispiele) großflächig: Filterdecke Lüftungsboden	 	örtlich begrenzt: Schichtluftdurchlässe (Boden) 	diffus: Draller, Schlitzze linear: Schlitzze, Gitter  	diffus: Bodendraller linear: Pultdurchlässe  
Zuluftgeschwindigkeit	gering (0,20 ... 0,45 m/s)	gering (0,15 ... 0,45 m/s)	mittel - hoch (1,5 ... 5 m/s)	diffus: mittel - hoch (1,0 ... 4 m/s) linear: mittel (1,0 ... 1,5 m/s)
spez. Luftvolumenströme	sehr hoch (700 ... 1600 m³/(h m²))	Komfortbereich: mittel (6 ... 25 m³/(h m²)) Industriebereich: hoch (20 ... 200 m³/(h m²))	Komfortbereich: diffus: mittel (6 ... 25 m³/(h m²)) linear: gering - mittel (6 ... 20 m³/(h m²))	Komfortbereich: mittel - hoch (6 ... 35 m³/(h m²)) Industriebereich: diffus: hoch (20 ... 200 m³/(h m²))
max. Zuluftuntertemperaturen	gering (2 ... 4 K)	gering (2 ... 5 K zur Zulufschicht)	diffus: groß (2 ... 10 (12) K) linear: mittel (2 ... 6 (8) K)	diffus, linear: mittel (2 ... 6 K zum Aufenthaltsbereich)
Stoffbelastungsgrad μ_s	sehr gut: < 0,2	sehr gut: 0,2 – 0,7	mäßig: 0,9 - 1,1	gut: 0,7 - 1,0
Lüftungseffektivität ϵ_V	sehr gut: > 5	sehr gut: 5,0 – 1,4	mäßig: 1,1 - 0,9	gut: 1,4 - 1,0

Beispiele – VERFAHREN 1



Erforderlicher Gesamt-Außenluftvolumenstrom



Beispiel – Einzelbüro

DIN EN 15251 (Tabelle B2)

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Grundfläche m ² je Person	q _p	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	Zugabe bei Rauchen
			l/s, m ² bei Belegung	l/s, m ² bei sehr schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ² bei schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ² bei nicht schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ²
Einzelbüro	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Großraumbüro	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7	0,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9	0,5
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1	0,3
Konferenzraum	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	5,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	3,6
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	2,0
Hör- bzw. Zuschauersaal	I	0,75	15	0,5	15,5	1,0	16	2,0	17	
	II	0,75	10,5	0,3	10,8	0,7	11,2	1,4	11,9	
	III	0,75	6,0	0,2	0,8	0,4	6,4	0,8	6,8	

Kategorie	Luftvolumenstrom je unangepasste Person l/s je Person
I	10
II	7
III	4
IV	2,5*

$$q_p = 10 \frac{\text{m}^2}{\text{Pers.}} \cdot 0,7 \frac{\text{l/s}}{\text{m}^2} = 7 \frac{\text{l/s}}{\text{Pers.}}$$

$$= 25 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{Pers.}}$$

Beispiel – Einzelbüro

Erforderliche Gesamt-Außenluftvolumenstrom q_{tot} :

$$q_{tot} = n \cdot q_P + A \cdot q_B \quad \text{in l/s}$$

$$q_{tot} = 1 \text{ Pers.} \cdot 7 \frac{\text{l/s}}{\text{Pers.}} + 10 \text{ m}^2 \cdot 0,7 \frac{\text{l/s}}{\text{m}^2}$$

$$= 14 \text{ l/s} = \boxed{50 \text{ m}^3/\text{h}}$$

mit:

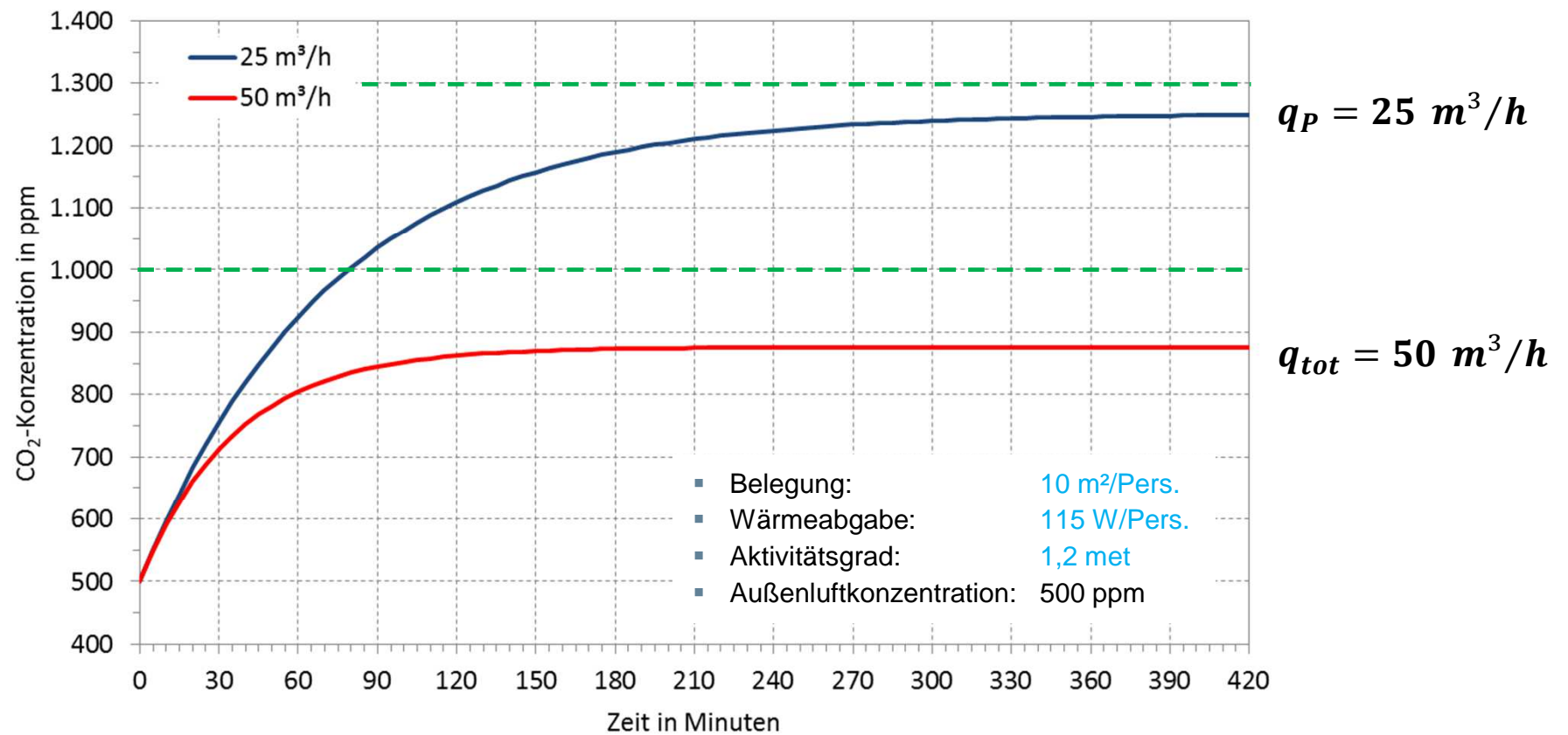
- n Anzahl der Personen im Raum in Pers
- q_P personenbezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom in l/(s · Pers)
- A Grundfläche des Raumes in m²
- q_B gebäudebezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom in l/(s · m²)

Kategorie	Vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener	Luftvolumenstrom je unangepasste Person l/(s je Person)
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	40	2,5*

Kategorie	Sehr schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)	Schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)	Nicht schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,2	0,4	0,8
IV	0,15	0,3	0,6
Mindestwert der Gesamt-Lüftungsrate für Gesundheitszwecke	4 l/s je Person	4 l/s je Person	4 l/s je Person

Beispiel – Einzelbüro

Konzentrationsverlauf bei Dauerlüftung ($\mu_S = 1$)



Beispiel – Kaufhaus

DIN EN 15251 (Tabelle B2)

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Grundfläche m ² je Person	q _p	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	q _B	q _{tot}	Zugabe bei Rauchen
			l/s, m ² bei Belegung	l/s, m ² bei sehr schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ² bei schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ² bei nicht schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ²
Restaurant	I	1,5	7,0	0,5	7,5	1,0	8,0	2,0	9,0	
	II	1,5	4,9	0,3	5,2	0,7	5,6	1,4	6,3	5,0
	III	1,5	2,8	0,2	3,0	0,4	3,2	0,8	3,6	2,8
Klassenraum	I	2,0	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	
	II	2,0	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	
	III	2,0	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	
Kindergarten	I	2,0	6,0	0,5	6,5	1,0	7,0	2,0	8,0	
	II	2,0	4,2	0,3	4,5	0,7	4,9	1,4	5,8	
	III	2,0	2,4	0,2	2,6	0,4	2,8	0,8	3,2	
Kaufhaus	I	7	2,1	1,0	3,1	2,0	4,1	3,0	5,1	
	II	7	1,5	0,7	2,2	1,4	2,9	2,1	3,6	
	III	7	0,9	0,4	1,3	0,8	1,7	1,2	2,1	

Kategorie	Luftvolumenstrom je unangepasste Person l/s je Person
I	10
II	7
III	4
IV	2,5*

$$q_P = 7 \frac{\text{m}^2}{\text{Pers.}} \cdot 1,5 \frac{\text{l/s}}{\text{m}^2} = 10,5 \frac{\text{l/s}}{\text{Pers.}}$$

$$= 38 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{Pers.}}$$

Beispiel – Kaufhaus

Erforderliche Gesamt-Außenluftvolumenstrom q_{tot} :

$$q_{tot} = n \cdot q_P + A \cdot q_B \quad \text{in l/s}$$

$$q_{tot} = 1 \text{ Pers.} \cdot 10,5 \frac{\text{l/s}}{\text{Pers.}} + 7 \text{ m}^2 \cdot 1,4 \frac{\text{l/s}}{\text{m}^2}$$
$$= 20,3 \text{ l/s} = \boxed{73 \text{ m}^3/\text{h}}$$

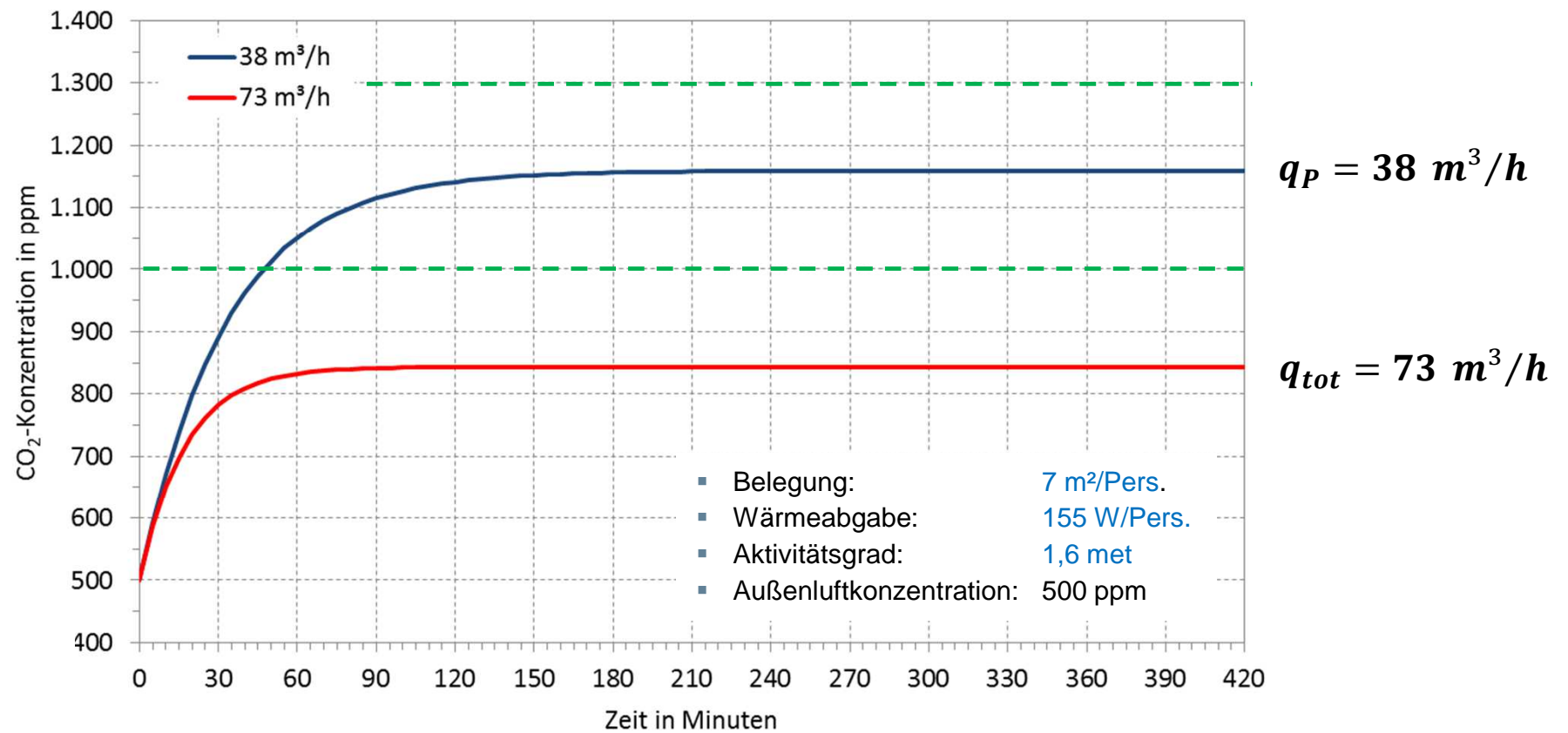
mit:

- n Anzahl der Personen im Raum in Pers
 q_P personenbezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom
in l/(s · Pers)
 A Grundfläche des Raumes in m²
 q_B gebäudebezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom
in l/(s · m²)

Kategorie	Sehr schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)	Schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)	Nicht schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,2	0,4	0,8
IV	0,15	0,3	0,6
Mindestwert der Gesamt-Lüftungsrate für Gesundheitszwecke	4 l/s je Person	4 l/s je Person	4 l/s je Person

Beispiel – Kaufhaus

Konzentrationsverlauf bei Dauerlüftung ($\mu_S = 1$)



Beispiel – VERFAHREN 2



Beispiel – Hörsaal

- Vorgaben:

100 Personen

750 m² (Raumhöhe: 5 m)

Luftführungssystem	Stoffbelastungsgrad μ_S	Erf. Außenluftvolumenstrom $q_{V,ZU}$
VERFAHREN 1	-	?
VERFAHREN 2		
- Mischlüftung		
- Örtliche Mischlüftung		

Beispiel – Hörsaal

Tabelle B.2 — Beispiele für empfohlene Lüftungsraten für Nichtwohngebäude bei Standardbelegungsdichte für drei Kategorien der Verschmutzung durch das Gebäude selbst. Für den Fall, dass Rauchen gestattet ist, gibt die letzte Spalte die zusätzlich geforderte Lüftungsrate an

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Grundfläche m ² je Person	q_p	q_B	q_{tot}	q_B	q_{tot}	q_B	q_{tot}	Zugabe bei Rauchen
			l/s, m ² bei Belegung	l/s, m ² bei sehr schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ² bei schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ² bei nicht schadstoffarmen Gebäuden		l/s, m ²
Einzelbüro	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Großraumbüro	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7	0,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9	0,5
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1	0,3
Konferenzraum	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	5,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	3,6
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	2,0
Hör- bzw. Zuschauersaal	I	0,75	15	0,5	15,5	1,0	16	2,0	17	
	II	0,75	10,5	0,3	10,8	0,7	11,2	1,4	11,9	
	III	0,75	6,0	0,2	6,2	0,4	6,6	0,8	7,4	

Kategorie	Luftvolumenstrom je unangepasste Person l/s je Person
I	10
II	7
III	4
IV	2,5*

$$q_p = 0,75 \frac{m^2}{Pers.} \cdot 10,5 \frac{l/s}{m^2} = 7,9 \frac{l/s}{Pers.}$$

$$= 28 \frac{m^3}{h \cdot Pers.}$$

Beispiel – Hörsaal

Erforderliche Gesamt-Außenluftvolumenstrom q_{tot} :

$$q_{tot} = n \cdot q_P + A \cdot q_B \quad \text{in l/s}$$

$$q_{tot} = 100 \text{ Pers.} \cdot 7,9 \frac{\text{l/s}}{\text{Pers.}} + 750 \text{ m}^2 \cdot 0,7 \frac{\text{l/s}}{\text{Pers.}}$$
$$= 1.315 \text{ l/s} = \boxed{4.734 \text{ m}^3/\text{h}}$$

mit:

- n Anzahl der Personen im Raum in Pers
 q_P personenbezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom in l/(s · Pers)
 A Grundfläche des Raumes in m²
 q_B gebäudebezogener spezifischer Außenluftvolumenstrom in l/(s · m²)

Kategorie	Sehr schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)	Schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)	Nicht schadstoffarmes Gebäude l/(sm ²)
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,2	0,4	0,8
IV	0,15	0,3	0,6
Mindestwert der Gesamt-Lüftungsrate für Gesundheitszwecke	4 l/s je Person	4 l/s je Person	4 l/s je Person

Vergleich der VERFAHREN 1 und 2

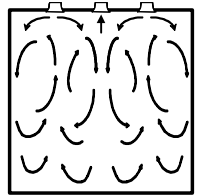


Beispiel – Hörsaal

- Vorgaben: 100 Personen
- 750 m² (Raumhöhe: 5 m)
- CO₂-Zuluftluftkonzentration: $c_{ZU} = 500 \text{ ppm}$
- Ziel-Konzentration der Raumluft im Aufenthaltsbereich: $c_{RL} = 1.000 \text{ ppm}$
- emittierter CO₂-Volumenstrom von 100 Personen: $G_h = 611 \frac{\text{ml}_{\text{CO}_2}}{\text{s}}$ (pro Person: $q_{V,\text{CO}_2,B} = 22 \frac{\text{l}_{\text{CO}_2}}{\text{h} \cdot \text{Pers}}$)

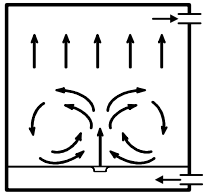
Luftführungssystem	Stoffbelastungsgrad μ_S	Erf. Außenluftvolumenstrom $q_{V,ZU}$
VERFAHREN 1	-	4.734 m ³ /h
VERFAHREN 2		
- Mischlüftung	?	?
- Örtliche Mischlüftung	?	?

Turbulente Mischlüftung



$\mu_S \approx 1,0$ (s. Tabelle auf Folie 22)

Örtliche Mischlüftung



$\mu_s \approx 0,8$ (s. Tabelle auf Folie 22)

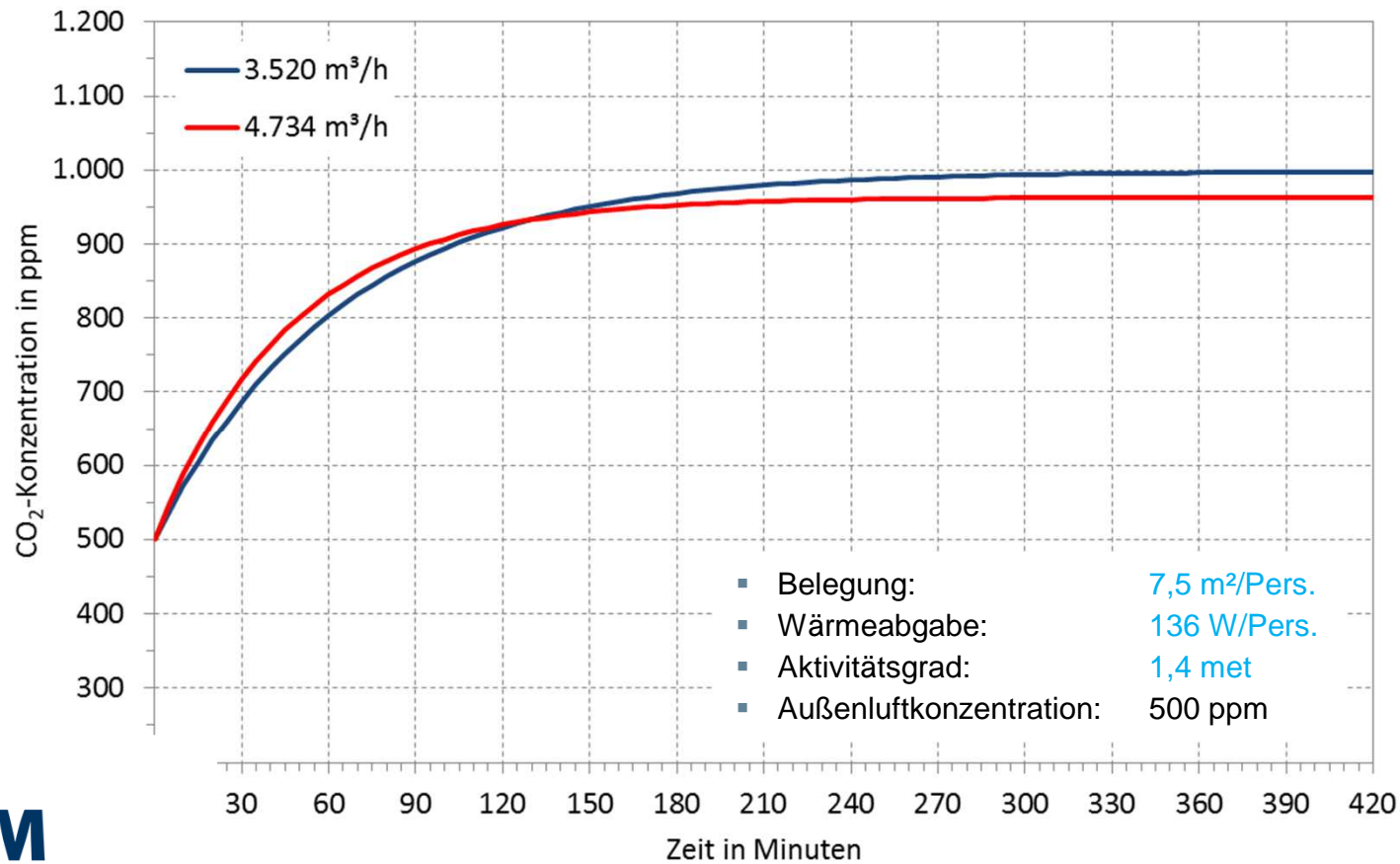
Beispiel – Hörsaal

- Vorgaben: 100 Personen
750 m² (Raumhöhe: 5 m)
- CO₂-Zuluftluftkonzentration: $c_{ZU} = 500 \text{ ppm}$
- Ziel-Konzentration der Raumluft im Aufenthaltsbereich: $c_{RL} = 1.000 \text{ ppm}$
- emittierter CO₂-Volumenstrom von 100 Personen: $G_h = 611 \frac{\text{mlCO}_2}{\text{s}}$ (pro Person: $q_{V,\text{CO}_2,B} = 22 \frac{\text{lCO}_2}{\text{h} \cdot \text{Pers}}$)

Luftführungssystem	Stoffbelastungsgrad μ_S	Erf. Außenluftvolumenstrom $q_{V,ZU}$
VERFAHREN 1	-	4.734 m ³ /h
VERFAHREN 2		
- Mischlüftung	1,0	4.400 m ³ /h (-8 %)
- Örtliche Mischlüftung	0,8	3.520 m ³ /h (-26 %)

Beispiel – Hörsaal

Konzentrationsverlauf bei Dauerlüftung



Örtliche Mischlüftung
 $q_{\text{Verfahren 2}} = 3.520 \text{ m}^3/\text{h}$
 $q_{\text{Verfahren 1}} = 4.734 \text{ m}^3/\text{h}$

Fazit

Bei der **Berechnung der erforderlichen Außenluftvolumenströme** sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Belegungsdichte
- Tätigkeit der Personen → Aktivitätsgrad
- Schadstoffklasse des Gebäudes
- Wahl des Luftführungssystems → Lüftungseffektivität

Das **VERFAHREN 1** führt in aller Regel zu CO₂-Konzentrationen unter $c_{RL} = 1000 \text{ ppm}$.

Das **VERFAHREN 2** kann bei Einhaltung der empfohlenen CO₂-Konzentration der Raumluft von $c_{RL} = 1000 \text{ ppm}$ (DIN EN 15251, Kategorie II) je nach Luftführungssystem zu deutlich **verringerten Außenluftvolumenströmen** führen. Eine Anhebung der empfohlenen CO₂-Konzentration durch die DIN EN 16798-1 auf $c_{RL} = 1300 \text{ ppm}$ (Kategorie II) würde bei diesem Verfahren zu nochmals reduzierten Außenluftvolumenströmen führen. Dieser Sachverhalt ist im Hinblick auf die Hygiene und Raumluftqualität kritisch zu hinterfragen.

Eine genauere Kenntnis der maßgeblichen Schadstoffemissionen G_h und des Stoffbelastungsgrades μ_S sind beim **VERFAHREN 2** unabdingbar, um eine normgerechte Dimensionierung sicherzustellen.

Kontakt

Rud. Otto Meyer Technik Ltd. & Co. KG

Tilsiter Straße 32

22047 Hamburg

Peter Thiel

Telefon +49 40 6949-2204

PeThiel@rom-techik.de

www.rom-technik.de



Technik für Mensch & Umwelt

© Copyright Rud. Otto Meyer Technik Ltd. & Co. KG, 2016

Inhalt und Struktur der Präsentation sind urheberrechtlich geschützt. Die Vervielfältigung sämtlicher Inhalte und Strukturelemente, insbesondere Texte, Textteile, Bildmaterial, Logos, Grafiken und Designelemente, soweit sie schutzfähig im Sinne des deutschen Urheberrechts sind, zu anderem als zum privaten oder sonstigen eigenen Gebrauch sowie deren Verbreitung und Veröffentlichung bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der Rud. Otto Meyer Technik Ltd. & Co. KG.