

## 1. Berechnung der notwendigen Außenluftzufuhr

Es existieren genaue Vorgaben zum notwendigen Volumenstrom der Außenluftzufuhr im Rahmen der Schrift „Branchenspezifische Handlungshilfe zum SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandard – für die Branche Bühnen und Studios im Bereich: Proben- und Vorstellungsbetrieb“ der VBG<sup>1</sup>:

Körperliche Aktivität	Beispiele	Notwendige Außenluftzufuhr [m <sup>3</sup> /Stunde/Person]
entspanntes Sitzen	Besucher/innen, Zuschauer/innen, Beobachter/innen	50
Aktivitäten im Stehen	szenische Darstellung allgemein, Reinigungsarbeiten, Maschinenbedienung	100
mittelschwere Tätigkeiten im Stehen	Auf- und Abbauarbeiten, anstrengende oder bewegungsintensive szenische Darstellung	150
schwere Tätigkeiten	Artistik, Ballett, Tanz	250

Tabelle 1: Notwendige Außenluftzufuhr in Abhängigkeit von der Tätigkeit, Quelle: Handlungshilfe der VBG<sup>2</sup>

Die Berechnungsgrundlage, auf welcher diese hoch anmutenden Werte basieren, wird in dieser Schrift leider nicht direkt dargestellt und ist erfahrungsgemäß häufig Grundlage für entsprechende Diskussionen. Im Rahmen dieses Absatzes soll die Grundlage der Werte dargestellt und durch Beispielrechnungen nachvollziehbar gemacht werden.

Die Schrift „Fachbereich AKTUELL FBHM-114 – Möglichkeiten zur Bewertung der Lüftung anhand der CO<sub>2</sub>-Konzentration“ des DGUV-Fachbereichs Holz und Metall vom 02.11.2020<sup>3</sup> führt dies genauer aus und gibt mit Auszügen aus entsprechender Fachliteratur weiterhin entsprechende Berechnungsformeln vor. Die hierbei relevanteste Formel zur Berechnung der durch die Handlungshilfe der VBG geforderten Außenluftvolumenströme lässt sich wie folgt darstellen:

$$\dot{V}_{ZU(n)} = \frac{\dot{V}_{CO_2} \times PAX}{c_{MAX} - c_{ZU}} \times 1.000$$

Hierbei sind:

$$\dot{V}_{ZU(n)} = \text{mindestens benötigter Außenluftvolumenstrom für Tätigkeit } n \text{ in } \frac{m^3}{h}$$

<sup>1</sup>[https://www.vbg.de/DE/3\\_Praevention\\_und\\_Arbeitshilfen/3\\_Aktuelles\\_und\\_Seminare/6\\_Aktuelles/Coronavirus/Brancheninfos\\_Arbeitsschutzstandard/Buehnenstudios\\_Probenbetrieb.pdf](https://www.vbg.de/DE/3_Praevention_und_Arbeitshilfen/3_Aktuelles_und_Seminare/6_Aktuelles/Coronavirus/Brancheninfos_Arbeitsschutzstandard/Buehnenstudios_Probenbetrieb.pdf), Stand: 15.02.2022, abgerufen am 04.03.2022

<sup>2</sup> [ebd.](#)

<sup>3</sup> <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/holz-und-metall/maschinen-robotik-und-fertigungsautomation/3985/fbhm-114-moeglichkeiten-zur-bewertung-der-lueftung-anhand-der-co2-konzentration?number=SW21629>, Stand: 02.11.2020, abgerufen am 04.03.2022

$$\dot{V}_{CO_2} = CO_2 - \text{Emmission der Tätigkeit } n \text{ nach Tabelle 2 in } \frac{l}{h}$$

$PAX$  = Anzahl der Personen, welche die Tätigkeit  $n$  ausführen

$c_{MAX}$  =  $CO_2$  – Höchstkonzentration in der Raumluft in ppm (gemäß DGUV – Vorgaben 800 ppm)

$c_{ZU}$  =  $CO_2$  – Konzentration in der Außenluft in ppm (Standortabhängig ca. 400– 450 ppm)

$n$  = zu bewertenden Tätigkeit

Die hierbei ermittelten einzelnen Volumenströme  $\dot{V}_{ZU}$  müssen zur Ermittlung des benötigten Gesamtaußenluftvolumenstroms addiert werden.

Aktivität	Bezogener Gesamtenergieumsatz M [met]	CO <sub>2</sub> -Emission [l/h]	Notwendiger Außenluftvolumenstrom für 1000 ppm <sup>[1]</sup> $\dot{V}_{1000}$ [m <sup>3</sup> /h/Person]
Grundumsatz	0,8	14	23
Entspanntes Sitzen	1,0	17	29
Entspanntes Stehen	1,2	20	35
Leichte, überwiegend sitzende Tätigkeit	1,2	20	35
Stehende Tätigkeit I: Geschäft, Labor, Leichtindustrie	1,6	27	46
Stehende Tätigkeit II: Verkauf, mittelschwere Haus- und Maschinenarbeit	2,0	34	58
Schwerarbeit an Maschinen, Werkstattarbeit	2,8	48	81
Körperlich schwere Arbeit, Sport <sup>[2]</sup>	-	≥ 100	171

[1] Ausgehend von einer Außenluftkonzentration von 415 ppm (Monthly Average Mauna Loa, June 2020, von Earth System Research Laboratories, Global Monitoring Laboratory)

[2] Dieser Wert ist nicht aus Rietschel entnommen.

Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Emission für verschiedene Tätigkeiten in Anlehnung an Rietschel (2008)<sup>4</sup>, Quelle: Fachbereich Aktuell vom 02.11.2020 der DGUV<sup>5</sup>

Zur Validierung der in der VBG-Handlungshilfe genannten Außenluftvolumenströme einige Beispiele, jeweils berechnet für 1 Person:

**Beispiel 1: entspannte, sitzende Tätigkeit (sitzendes Publikum):**

$$\dot{V}_{ZU(1)} = \frac{17 \frac{l}{h} \times 1}{800 \text{ ppm} - 450 \text{ ppm}} \times 1.000 = 48,57 \frac{m^3}{h}$$

Gemäß der Handlungshilfe der VBG werden 50  $\frac{m^3}{h}$  pro Person benötigt, was diesem Wert gerundet entspricht.

<sup>4</sup> Rietschel: „Raumklimatechnik – Band 1: Grundlagen“, 16. Auflage, ISBN: 978-3-540-54466-1, Springer, VDI-Buch

<sup>5</sup> <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/holz-und-metall/maschinen-robotik-und-fertigungsautomation/3985/fbhm-114-moeglichkeiten-zur-bewertung-der-lueftung-anhand-der-co2-konzentration?number=SW21629>, Stand: 02.11.2020, abgerufen am 04.03.2022

Beispiel 2: szenische Darstellung allgemein (Schauspieler ohne große körperliche Anstrengung):

$$\dot{V}_{ZU(2)} = \frac{34 \frac{l}{h} \times 1}{800 \text{ ppm} - 450 \text{ ppm}} \times 1.000 = 97,14 \frac{m^3}{h}$$

Gemäß der Handlungshilfe der VBG werden  $100 \frac{m^3}{h}$  pro Person benötigt, was diesem Wert gerundet entspricht.

Beispiel 3: Artist (artistische Darstellung am Seil):

$$\dot{V}_{ZU(3)} = \frac{100 \frac{l}{h} \times 1}{800 \text{ ppm} - 450 \text{ ppm}} \times 1.000 = 285,71 \frac{m^3}{h}$$

Gemäß der Handlungshilfe der VBG werden  $250 \frac{m^3}{h}$  pro Person benötigt, was sogar deutlich niedriger ist als der hier errechnete Wert.

Die Werte der VBG-Handlungshilfe sind entsprechend als plausibel zu bewerten.

Um den Gesamtaußenluftvolumenstroms für ein bestimmtes Szenario zu ermitteln, müssen die ermittelten einzelnen Volumenströme  $\dot{V}_{ZU}$  addiert werden.

Beispielrechnung A:

Es soll der mindestens benötigte Außenluftvolumenstrom für ein Tanztheater in einem Zelt berechnet werden. Es werden 1.500 Gäste erwartet, welche die Vorstellung im Sitzen genießen. Die 10 Akteure führen artistische Darstellungen aus. Zusätzlich sind 40 Beschäftigte mit verschiedenen Tätigkeiten im Stehen und Laufen tätig (Sicherheitsmitarbeitende, Hosts/Hostessen etc.), weitere 10 Beschäftigte führen Arbeiten im Sitzen aus (Regie etc.).

Es lassen sich folgende Tätigkeiten gemäß der Handlungshilfe der VBG feststellen:

Tätigkeit 1: Entspanntes Sitzen ( $50 \frac{m^3}{h \times Person}$ ): 1.500 Personen

Tätigkeit 2: Aktivitäten im Stehen ( $100 \frac{m^3}{h \times Person}$ ): 40 Personen

Tätigkeit 3: Schwere Tätigkeit ( $250 \frac{m^3}{h \times Person}$ ): 10 Personen

Entsprechend sind folgende Volumenströme der Außenluft notwendig:

$$\text{Tätigkeit 1: } \dot{V}_{ZU(1)} = 1.500 \text{ Personen} \times 50 \frac{m^3}{h \times Person} = 75.000 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Tätigkeit 2: } \dot{V}_{ZU(2)} = 40 \text{ Personen} \times 100 \frac{m^3}{h \times Person} = 4.000 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Tätigkeit 3: } \dot{V}_{ZU(3)} = 10 \text{ Personen} \times 250 \frac{m^3}{h \times Person} = 2.500 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Gesamtvolumenstrom der Außenluftzufuhr somit: } \dot{V}_{ZU(1)} + \dot{V}_{ZU(2)} + \dot{V}_{ZU(3)} = 81.500 \frac{m^3}{h}$$

Eine (ggf. temporäre) Lüftungs- bzw. Heizungsanlage ist also mindestens auf diesen Außenvolumenstrom auszulegen. Bei der Auslegung der Anlage ist auch sicherzustellen, dass die Luft über entsprechende Öffnungen aus dem Raum entweichen kann. Es ist ein Luftstrom innerhalb des Raums anzustreben, welcher die belastete Luft möglichst direkt ins Freie abführt und nicht unnötig verwirbelt.

## **2. Messung des tatsächlichen Luftvolumenstroms einer Lüftungsanlage**

Um die genaue Leistung von Lüftungsanlagen zu ermitteln und hieraus ggf. Kapazitätsbeschränkungen für die betrachtete Versammlungsstätte ableiten zu können, sind Kenntnisse über den Aufbau der Anlage sowie umfangreiche Fachkenntnisse im Bereich der Steuerung der entsprechenden Anlage notwendig. Grundsätzlich kann die Leistung einer entsprechenden Anlage nur dann mit einfachen Mitteln gemessen werden, wenn die Anlage eine genaue Zuordnung von messbaren Luftvolumenströmen zu definierten Räumen hat. Eine Lüftungsanlage, die eine zentrale Außenluftansaugung besitzt und diese dann intern an eine Vielzahl von Ausblasöffnungen in verschiedenen Räumen verteilt (und wie in aller Regel üblich, mit einem gewissen Umluftanteil arbeitet), lässt sich durch einen lüftungstechnisch nicht ausgebildeten Laien nicht messen.

Zur Messung von Anlagen, bei denen sich die Außenluftzufuhr jedoch zu 100 % bestimmten Bereichen zuordnen lässt, kann diese Messung auch mit wenigen Fachkenntnissen grundlegend durchgeführt werden. Hierzu wird ein Anemometer (Flügelrad- oder Hitzedraht-Anemometer) benötigt, welches über einen möglichst langen Zeitraum entsprechend den Vorgaben des Herstellers im Bereich der Ansaug- oder Ausblasöffnung gleichmäßig bewegt wird. Es empfiehlt sich, diese Messung an Bereichen durchzuführen, an denen wenig Verwirbelungen auftreten, also z. B. keine Diffusoren angebracht sind, dies ist meist eher im Ansaugbereich von lüftungstechnischen Anlagen der Fall. Über die hierdurch ermittelte durchschnittliche Luftgeschwindigkeit sowie die geometrische Fläche der Ausblasöffnung lässt sich dann der Luftvolumenstrom an dieser Stelle berechnen. Hierbei gilt:

$$\dot{V}_{Anlage} = A \times \vartheta \times 3.600 \text{ s}$$

Hierbei sind:

$$\dot{V}_{Anlage} = \text{Luftvolumenstrom in } \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$A = \text{Querschnittsfläche der Ausblas – oder Ansaugöffnung in } \text{m}^2$

$\vartheta_{\text{Durchschnitt}} = \text{Durchschnittliche Luftgeschwindigkeit in } \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ während der Messung}$

### **Beispielrechnung B:**

An einer runden Ausblasöffnung ( $\emptyset = 56 \text{ cm}$ ) einer temporären Heizung, die einen Raum in einem Zelt mit 100 % Außenluft belüftet, werden folgende Werte über einen Zeitraum von 3 min mithilfe eines Flügelradanemometers gemessen:

$$\vartheta_{\text{Durchschnitt}} = 20,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A = 0,2463 \text{ m}^2$$

$$\dot{V}_{Anlage} = 0,2463 \text{ m}^2 \times 20,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 3.600 \text{ s} = 18.000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Um den Bedarf an Außenluft für Beispielrechnung A ( $81.500 \frac{m^3}{h}$ ) zu decken, wären folglich 4,52 (also 5) solcher Anlagen notwendig.

### **3. Hinweis zur Planung von temporären Lüftungstechnischen Anlagen**

Bei der Planung entsprechender Lüftungstechnischer Anlagen, die bestehende Anlagen ergänzen sollen oder die, wie in den Beispielen, im Bereich von temporären Versammlungsstätten zum Einsatz kommen sollen, ist zu beachten, dass die hersteller- oder händlerseitig angegebenen Luftvolumenströme häufig die technisch maximal möglichen Luftvolumenströme darstellen. Diese werden im Betrieb u. a. durch folgende Faktoren vermindert:

- Länge und Verlegeart von Zuluftschläuchen
- Eingesetzte Schutzgitter
- Eingesetzte Diffusoren (Lüftungsgitter) zur gleichmäßigeren Verteilung der Luft
- Ausblasmöglichkeiten aus dem Raum
- Eingebachte Heiz- oder Kältereister
- Eingebachte Schalldämpfer
- Eingebachte Luftfilter

Die genaue Auslegung einer solchen Anlage sollte daher durch Fachbetriebe erfolgen.