

Handreichung zur Lüftung in Innenräumen – Grundlagen, Beispiele, Empfehlungen in der aktuellen SARS-CoV-2-Pandemie unter besonderer Berücksichtigung von Schul(klassen)räumen

1. Einleitung

Eine gute Qualität der Raumluft in Innenräumen zu garantieren ist generell geboten. Während der SARS-CoV-2-Pandemie wird auf eine ausreichende Lüftung nun ein besonderes Augenmerk gelegt. Das RKI nennt als Hauptübertragungswege für SARS-CoV-2 nämlich die respiratorische Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen oder Niesen entstehen. Selbst bei ruhiger Atmung können virushaltige Partikel freigesetzt werden. Aktivitäten wie lautes Sprechen, Rufen, Singen, sportliche Betätigung führt zu einer vermehrten Freisetzung von potenziell virushaltigen Partikeln. Coronaviren selbst haben nur einen Durchmesser von ca. 0,12 – 0,16 µm, werden aber meist als Bestandteil größerer Partikel emittiert. Je nach Größe der Partikel spricht man von Tröpfchen (Durchmesser > 5 µm) bzw. von Aerosolen (Durchmesser < 5 µm). Theoretisch würde ein Flüssigkeitströpfchen mit einem Durchmesser von deutlich über 5 µm bereits innerhalb von wenigen Sekunden zu Boden sinken. Allerdings schrumpfen die exhalieren Tröpfchen in der Regel rasch infolge von Verdunstung ihres Wasseranteils. Dadurch entstehen kleinere Partikel, die deutlich länger – unter Umständen sogar mehrere Stunden – in der Luft verbleiben können. Weiterhin wurde gezeigt, dass vermehrungsfähige Viren in luftgetragenen Partikeln bis zu 3 Stunden nach der Freisetzung nachweisbar sind. In der Außenluft werden üblicherweise virushaltige Partikel aufgrund des fast immer vorhandenen Luftstroms (Wind, Turbulenzen) rasch verdünnt. Dadurch ist das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 durch luftgetragene Partikel im Außenbereich eher gering, sofern der Mindestabstand eingehalten wird. Das Leben hierzulande spielt sich allerdings größtenteils nicht im Freien sondern in geschlossenen Räumen ab. Aufgrund des oben Gesagten ist zur Reduzierung des Infektionsrisikos durch SARS-CoV-2 in Innenräumen daher auf ein effektives Abführen von potentiell viruskontaminierter Luft durch effiziente Lüftung hinzuwirken.

2. Luftqualität

Entsprechend der technischen Regel für Arbeitsstätten „Lüftung“ (ASR A3.6.) muss in geschlossenen Arbeitsräumen gesundheitlich zuträglich Atemluft in ausreichender Menge vorhanden sein. In der Regel entspricht dies der Außenluftqualität. Außenluft besteht aus folgender Zusammensetzung: 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, 0,04 % Kohlendioxid, Wasserdampf sowie verschiedene Edelgase.

Die Raumluft in Innenräumen kann belastet sein. Man unterscheidet folgende Lasten:

- Belastung durch verschiedene Stoffe (sogenannte Stofflasten)
- Belastung durch Feuchtigkeit (sogenannte Feuchtelasten)
- Belastung durch Wärme (sogenannte Wärmelasten).

Die Ursache für Belastung der Innenraumluft kann vielfältig sein. Schon die Anwesenheit von Personen in einem Raum führt zu einer Belastung durch Emission von Kohlendioxid und Geruchsstoffen. Andere Beispiele für Stofflasten sind Emissionen aus Einrichtungsgegenständen, Eindringen belasteter Luft aus umgebenden Bereichen, Bildung von Schimmel etc. Wenn zahlreiche Personen in einem Raum zusammen sind, wie z.B. in einem Bürogebäude oder einer Schulklasse, sind diese die bestimmende Ursache für die Stofflasten im Raum. In diesem Fall ist die CO₂ - Konzentration ein anerkanntes Maß für die Bewertung der

Luftqualität. In der nachstehenden Tab. 1 ist aufgeführt, bei welchen CO₂-Konzentrationen welche beispielhaften Maßnahmen eingeleitet werden sollten.

Tabelle 1: CO₂-Konzentration in der Raumlufte (laut ASR A3.6.)

CO ₂ -Konzentration [ml/m ³] bzw. [ppm]	Maßnahmen
<1000	<ul style="list-style-type: none"> Keine weiteren Maßnahmen (sofern durch die Raumnutzung kein Konzentrationsanstieg über 1000 ppm zu erwarten ist)
1000-2000	<ul style="list-style-type: none"> Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern Lüftungsplan aufstellen (z. B. Verantwortlichkeiten festlegen) Lüftungsmaßnahme (z. B. Außenluftvolumenstrom oder Luftwechsel erhöhen)
>2000	<ul style="list-style-type: none"> weitergehende Maßnahmen erforderlich (z. B. verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personenzahl im Raum)

Besteht ein begründeter Verdacht auf eine zu hohe CO₂-Konzentration, können Messungen unter den üblichen Nutzungsbedingungen durchgeführt werden. Bei Räumen bis zu 50 m² Grundfläche ist in der Regel eine Messstelle in ca. 1,5 m Höhe und in einem Abstand von 1-2 m von den Wänden ausreichend. In größeren Räumen sind ggf. mehrere Messstellen einzurichten. Die Messstelle sollte sich dabei in der Aufenthaltszone der Personen befinden, dabei aber in ausreichendem Abstand zu den Personen, um eine Beeinflussung der Messergebnisse durch die Atemluft der in der Nähe befindlichen Personen zu vermeiden.

Weitere Zielvorgaben für die Innenraumlufte sind:

- Relative Raumluftefeuchte zwischen 30-60%
- Luftgeschwindigkeit von maximal 0,15 m/s.

3. Grundlagen der Lüftung

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen maschineller Lüftung (durch raumluftechnische Anlagen) und sogenannter freier Lüftung wie z.B. der Fensterlüftung. Nachfolgend wird nur auf die freie Lüftung abgestellt.

3.1. Systeme der freien Lüftung

Es gibt folgende Systeme der freien Lüftung:

System I-einseitige Lüftung: Die Lüftungsöffnungen befinden sich hier nur in einer Außenwand also einseitig.

System II-Querlüftung: Die Lüftungsöffnungen befinden sich hier in gegenüberliegenden Außenwänden oder in einer Außenwand und der Dachfläche und ermöglichen so eine Querlüftung.

3.2. Arten der freien Lüftung

Stoßlüftung: Kurzzeitige Lüftung über das komplett geöffnete Fenster

kontinuierliche Lüftung: Ständiger Luftaustausch meist über ein gekipptes Fenster (dann sog. kontinuierliche Spaltlüftung). Dabei gilt, dass die einseitige Stoßlüftung einen wesentlich intensiveren Luftaustausch bewirkt als die Spaltlüftung; noch intensivster ist die als Querlüftung durchgeführte Stoßlüftung.

3.2. Anforderungen an die freie Lüftung

Die Wirksamkeit einer freien Lüftung in Innenräumen ist abhängig von:

- den Lüftungsquerschnitten
- der Raumtiefe
- der Belegungsichte
- der Lüftungsfrequenz und Lüftungsdauer (bei der Stoßlüftung).

In der nachfolgenden Tab. 2 aus der ASR A3.6. sind in Abhängigkeit von der Art der Lüftung (kontinuierliche Lüftung oder Stoßlüftung) und der Lüftungssysteme (einseitige Lüftung oder Querlüftung) die notwendigen Lüftungsflächen (Öffnungsflächen) sowie die maximal zulässigen Raumtiefen angegeben. Bei Einhaltung dieser Werte kann davon ausgegangen werden, dass der angestrebte CO₂-Wert von < 1000ppm aus Tab. 1 erreicht wird. Dabei bezieht man sich bei der Berechnung der Öffnungsflächen bei der kontinuierlichen Lüftung auf die Personenbelegung im Raum. Bei der Berechnung der Öffnungsflächen bei der Stoßlüftung bezieht man sich allerdings nur auf die Grundfläche des Raumes. Um Angaben zur Lüftungsfrequenz und Dauer der Lüftung bei durchgeführter Stoßlüftung zu erhalten, müssen weitere Rechnungen angestellt werden, die die Personenbelegung, den CO₂-Ausstoß und den Zustrom von Außenluft berücksichtigt. Beispielrechnungen findet sich nachfolgend unter Punkt 3.4.2.

Tabelle 2: Mindestöffnungsflächen für kontinuierliche Lüftung und für Stoßlüftung

System	Maximal zulässige Raumtiefe bezogen auf die lichte Raumhöhe (h) [m]	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels	
		für kontinuierliche Lüftung [m ² /anwesende Person]	für Stoßlüftung [m ² /10 m ² Grundfläche]
I 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
II 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

Die angegebenen Öffnungsflächen sind die Summe aus Zuluft – und Ablauflächen. Aus ASR A3.6.

In der Literatur finden sich Anhaltswerte für die Frequenz und Dauer der Stoßlüftung. In Büroräumen sollte alle 60 Minuten gelüftet werden, in Besprechungsräumen nach 20 Minuten. Weiterhin wurde von den Berufsgenossenschaften teilweise die Empfehlung

herausgegeben, in der aktuellen Coronapandemie einen Rhythmus des Lüftens von 20 Minuten nicht zu überschreiten. Zudem besteht eine Abhängigkeit der Wirkung der Lüftung von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen und von der Luftgeschwindigkeit. Entsprechend ergeben sich folgende Orientierungswerte für die Lüftungsdauer der Stoßlüftung je nach Jahreszeit:

Sommer:	ca. 10 Minuten (je nach Außentemperatur auch länger)
Frühling/Herbst:	5 Minuten
Winter	3 Minuten.

3.3. Empfehlungen des Umweltbundesamtes (UBA) für Lüftung an Schulen

Folgendes Vorgehen wird empfohlen:

- vor Unterrichtsbeginn Stoßlüftung über sämtliche Fenster über 5 – 10 Minuten
- Stoßlüftung in jeder kurzen Pause über die gesamte Dauer
- Stoßlüftung in jeder langen Pause über die gesamte Dauer, im Winter bei niedrigen Temperaturen kürzer und ca. 5 - 10 Minuten
- zusätzliche Lüftung während des Unterrichts auch bereits bei üblicher Raumbelagung.
- Zusätzlich sollte eine Kipp Lüftung während des Unterrichts erfolgen, falls zumutbare Außenbedingungen bestehen.

Durch das UBA durchgeführte Messungen haben gezeigt, dass eine alleinige Fensterlüftung an Schulen nicht ausreichend ist, um den Leitwerte der CO₂-Raumkonzentration von 1000 ppm zu gewährleisten. Das UBA spricht sich daher für die Einführung einer CO₂-Ampel/eines CO₂-Sensors aus, um die Lüftungsintervalle anzuzeigen.

3.4. Beispielrechnungen

3.4.1. Beispiel für eine kontinuierliche Lüftung (Spaltlüftung) in einem Klassenraum

Raumabmessungen/Belegungsdichte/Fenstermaße:

Raumtiefe: 7,5 m

Raumbreite: 10 m

Raumhöhe: 3,0 m

Grundfläche: 75 m²

Raumvolumen: 225 m³

Raumbelagung: 25 Person

Fensterbreite (B): 1,5 m

Fensterhöhe (H): 1,2 m

Spaltbreite (a): 0,15 m (typischerweise \leq 0,2 m)

Anzahl der Fenster: 5

Anordnung der Fenster einseitig über die gesamten Raumbreite

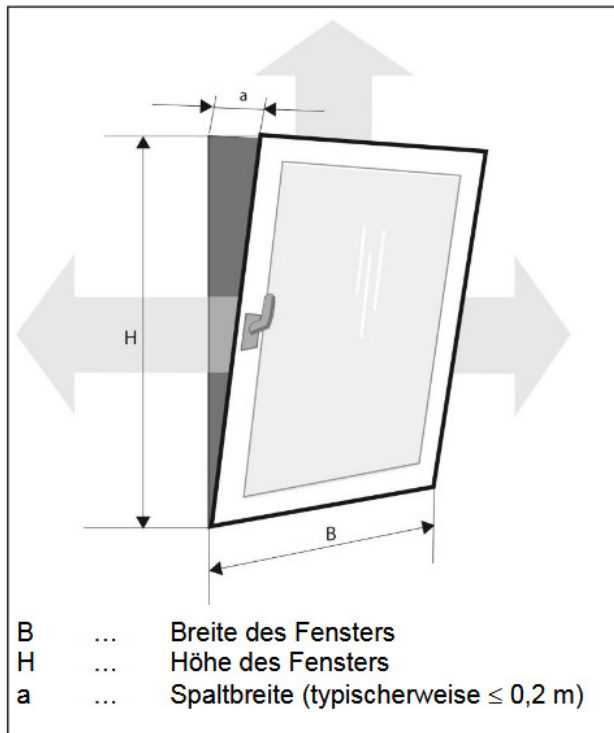
a) Prüfung der Einhaltung der maximal zulässigen Raumtiefe nach Tabelle 2

Maximal zulässige Raumtiefe = 2,5 x Raumhöhe → 2,5 x 3,0 m = 7.5m

☛ Die maximal zulässig Raumtiefe ist somit eingehalten

b) Berechnung der notwendigen Öffnungsflächen der Fenster bei der gegebenen Belegungsdichte

Abbildung 1: gekipptes Fenster (aus ASR A3.6.)



Die Öffnungsfläche für ein gekipptes Fenster ergibt sich aus folgender Formel:

$$A_{\text{Kipp}} = B \times a + 2 \times (H \times a) / 2 = a \times (B + H)$$

Laut Beispiel oben ergibt sich somit für A_{Kipp} :

$$A_{\text{Kipp}} = 0,15 \times (1,5 + 1,2) = 0,405 \text{ m}^2$$

☛ $A_{\text{vorhandenKipp}} = 0,405 \text{ m}^2$ je Fenster

Die gesamte vorhandene Öffnungsfläche bei 5 Fenster ist somit: $5 \times 0,405 \text{ m}^2 = 2,025 \text{ m}^2$

Notwendige Fensteröffnungsflächen gemäß Tab. 2:

$$A_{\text{notwendigKipp}} = \text{notwendige Öffnungsflächen} = 0,35 \text{ m}^2 \times \text{Personen}$$

$$\text{Im Beispiel somit: } 0,35 \text{ m}^2 \times 25 = 8,75 \text{ m}^2$$

Fazit:

Zur Aufrechterhaltung des angestrebten CO_2 -Wertes von 1000 ppm über eine einseitige kontinuierliche Lüftung (Spaltlüftung) ist die vorhandene Anzahl der Fenster nicht ausreichend. Es müssten in diesem Fall:

$$8,75 \text{ m}^2 : 0,405 \text{ m}^2 \approx 22 \text{ Fenster der o.g. Maße in Kippstellung einseitig vorhanden sein.}$$

Um bei einseitiger kontinuierlicher Lüftung (Spaltbildung) die Einhaltung des CO_2 -Wertes von 1000 ppm zu gewährleisten, dürfte der Raum folglich nur mit folgenden Personen belegt sein:

$$\text{Gesamte vorhandene Öffnungsfläche} = 2,025 \text{ m}^2 : 0,35 \text{ m}^2 \text{ (lt. Tab.2)} \approx 6$$

☛ Der Raum dürfte maximal mit ca. 6 Personen belegt werden, damit ein CO_2 -Wertes von 1000 ppm allein bei einseitiger kontinuierlicher Lüftung nicht überschritten wird.

ACHTUNG: Zur Berechnung der möglichen Belegungsdichte z.B. in einer Turnhalle oder anderen Räumen mit Kipplüftung kann entsprechend der o.g. Formel vorgegangen werden.

3.4.2. Beispielrechnungen für eine einseitige Stoßlüftung in einem Klassenraum

Raumabmessungen/Belegungsdichte/Fenstermaße:

Raumtiefe: 7,5 m

Raumbreite: 10 m

Raumhöhe: 3,0 m

Grundfläche: 75 m²

Raumvolumen: 225 m³

Raumbelegung: 25 Person

Fensterbreite (B): 1,5 m

Fensterhöhe (H): 1,2 m

Anzahl der Fenster: 5

Anordnung der Fenster einseitig über die gesamten Raumbreite

a) Prüfung der Einhaltung der maximal zulässigen Raumtiefe nach Tabelle 2

Maximal zulässige Raumtiefe = 2,5 x Raumhöhe → 2,5 x 3,0 m = 7.5 m

☛ Die maximal zulässig Raumtiefe ist somit eingehalten

b) Berechnung der notwendigen Öffnungsflächen der Fenster bei der angegebenen Grundfläche gemäß Tabelle 2

AnotwendigStoß : 1,05 m²/10 m² Grundfläche (s. Tabelle 2)

Im Beispiel: 1,05 x 7,5 m² = 7,875 m² notwendige Fensteröffnungsfläche bei 75 m²

Gesamtfläche des Raumes

AvorhandenStoß : 1,5 x 1,2 m (Größe der vorhandenen Fenster) x 5 (Anzahl der vorhandenen Fenster) = 9 m² vorhandene Fenstergesamtöffnungsfläche

Fazit:

Die vorhandene Anzahl u. Größe der Fenster sind gemäß ASR A3.6. grundsätzlich ausreichend, um durch Stoßlüftung einen ausreichenden Luftaustausch zu gewährleisten und dadurch den angestrebten CO₂-Wert von 1000 ppm zu erreichen.

Es ist allerdings nicht direkt ableitbar, in welcher Frequenz gelüftet werden sollte und über welche Dauer! Um einen Rückschluss darüber zu erhalten, muss die Personendichte im Raum berücksichtigt werden, der CO₂-Ausstoß pro Person, sowie der CO₂-Gehalt der Zuluft und der Abluft sowie die Luftgeschwindigkeit im Lüftungsquerschnitt.

c) Berechnung des notwendigen Zu-/Abluftstromes (m³/h) auf dem Boden der CO₂-Bilanz, der empfohlenen Luftwechselrate für Klassenräume und gemäß DIN Norm 13779

1. Berechnung des notwendigen Zu-/Abluftstromes (m³/h) unter Berücksichtigung der CO₂-Bilanz in Abhängigkeit von der Personenanzahl (Ziel: Einhaltung einer CO₂-Konzentration von 1000 ppm im Raum)

Grundannahmen:

Klassenraum und Personen wie unter 3.4.2. angegeben

Atemzugvolumen (AZV): 400 ml je Person

Atemfrequenz (AF) : 16/min je Person

CO₂-Gehalt der Ausatemluft: 4 %

CO₂-Gehalt der Außenluft: 0,04 % ≙ 400 ppm ≙ 400 ml/m³

Volumenstrom der Zuluft $\dot{V}_Z = \dot{V}_A$ Abluft

CO₂-Gehalt der Abluft = 1000 ppm ≙ 1000ml/m³

Daraus errechnet sich ein CO₂-Gehalt der Ausatemluft/je Stunde (h)/je Person von:
 400 (AZV) x 16 (AF) x 60 min = 384000 l/h → davon 4% (≙ CO₂-Gehalt der Ausatemluft) ≈
 15 l CO₂-Ausstoß/h pro Person.

Folgende Formel ist bei der Berechnung des notwendigen Abluftstrom anzuwenden unter Berücksichtigung der CO₂-Bilanz und Einhaltung einer CO₂-Konzentration von 1000 ppm in der Abluft:

$$C_{CO_2 \text{ Ausstoß pro Person}} \cdot n_{\text{Personenzahl}} + \tilde{V}_{\text{Zuluft}} \cdot C_{CO_2 \text{ außen}} = \tilde{V}_{\text{Abluft}} \cdot C_{CO_2 \text{ Abluft}}$$

Weiter gilt:

$$\tilde{V}_{\text{Zuluft}} = \tilde{V}_{\text{Abluft}} = X$$

$$C_{CO_2 \text{ außen}} = \text{CO}_2\text{-Konzentration der Außenluft} = 400 \text{ ppm } (\hat{=} \text{ ml/m}^3)$$

$$C_{CO_2 \text{ Abluft}} = \text{CO}_2\text{-Konzentration der Außenluft} = 1000 \text{ ppm } (\hat{=} \text{ ml/m}^3)$$

Die Formel ist wie folgt anzuwenden laut oben genanntem Beispiel:

$$\frac{15.000 \text{ ml}}{\text{Personen} \cdot \text{h}} \cdot 25 \text{ Personen} + X \cdot 400 \text{ ml/m}^3 = X \cdot 1000 \text{ ml/m}^3$$

$$\frac{15.000 \text{ ml}}{\text{Person} \cdot \text{h}} \cdot 25 \text{ Personen} = X \cdot 1000 \text{ ml/m}^3 - X \cdot 400 \text{ ml/m}^3$$

$$\frac{15.000 \text{ ml}}{\text{Person} \cdot \text{h}} \cdot 25 \text{ Personen} = X \cdot (1000 - 400 \text{ ml/m}^3)$$

$$\frac{15.000 \text{ ml}}{\text{Person} \cdot \text{h}} \cdot 25 \text{ Personen} = X \cdot (600 \text{ ml/m}^3)$$

$$\frac{15.000 \text{ ml} \cdot 25 \text{ Personen} \cdot \text{m}^3}{\text{Person} \cdot \text{h} \cdot 600 \text{ ml}} = X$$

$$X = 625 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Berechnung des notwendigen Zu-/Abluftstromes (m³/h) unter Berücksichtigung der anzustrebenden Luftwechselrate (LWR) für Klassenräume

Grundannahme: Klassenraum und wie unter 3.4.2. angegeben, **Raumvolumen** von 225 m³
 In der DIN EN 16798 wird für Klassenräume eine Luftwechselrate von 2 angegeben. Die Luftwechselrate (1/h bzw. h⁻¹) ist dabei der zugeführte Volumenstrom der Frischluft (in m³/h) dividiert durch das Luftvolumen eines Raums (in m³).

In unserem Beispiel ergäbe sich somit zur Aufrechterhaltung einer LWR von 2 ein notwendiger Zu-/Abluftvolumenstrom von:

$$225 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 1/\text{h} = 450 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Auf der Grundlage der Berechnung des Zu-/Abluftvolumenstroms unter Berücksichtigung der CO₂ Bilanz (s. c) Nr.1) ergäbe sich eine LWR von:

$$625 \text{ m}^3/\text{h} : \text{Raumvolumen (hier } 225 \text{ m}^3) = 2.7777 \text{ h}^{-1}$$

3. Berechnung des notwendigen Zu-/Abluftstromes (m³/h) unter Berücksichtigung der DIN

EN 13779 (Norm für mechanische Lüftung in Nicht – Wohngebäuden)

Grundannahme: Klassenraum und wie unter 3.4.2. angegeben

Um eine CO₂ Konzentration von <10000ppm einzuhalten, wendet die DIN Norm folgende Formel an:

$$\tilde{V} \text{ Außenluftvolumenstrom} = n \text{ Personenzahl} \cdot \tilde{V} \text{ Abluft/Person}$$

Dabei gilt:

$$\text{Abluftvolumenstrom} = 6 \text{ l/s} \cdot \text{Person} \doteq 360 \text{ l/min} \cdot \text{Person} \doteq 21600 \text{ l/h} \cdot \text{Person} \doteq 21,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Person}$$

Daraus folgt in unserem Beispiel:

$$\tilde{V} \text{ Außenluftvolumenstrom} = 25 \text{ Personen} \cdot 21,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Person} = \mathbf{540 \text{ m}^3/\text{h}}.$$

Dies entspräche ein LWR von $540 \text{ m}^3/\text{h} : 225 \text{ m}^3 = 2,4 \text{ h}^{-1}$

Fazit zu 3.4.2. c) 1-3:

Um in einem Klassenraum der oben genannten Größe, belegt mit 25 Personen, ein CO₂-Gehalt von 1000 ppm aufrechtzuerhalten, muss je nach Berechnungsgrundlage (CO₂ Bilanz, Luftwechselrate, DIN EN 13779) ein Zuluft- bzw. Abluftstrom von ca. 450-625m³ /h aufrechterhalten werden bzw. eine LWR von 2-2,7 h⁻¹. Diese Werte gelten für eine kontinuierliche Lüftung und müssten noch auf die Verhältnisse einer Stoßlüftung heruntergebrochen werden wie nachfolgend unter d) beschrieben.

d) Berechnung des tatsächlichen Luftstroms in der Fensteröffnung im Beispielklassenraum gemäß 3.4.2.

Vorhandene Fensteröffnungsfläche für die Stoßlüftung

$$\text{AvorhandenStoß} = \text{Fenstermaße (Höhe x Breite) x Fensteranzahl} = 1,5\text{m} \times 1,2\text{m} \times 5 = 9 \text{ m}^2$$

Unter einer Annahme von 0,08 m/s Luftgeschwindigkeit im Querschnitt (Angabe laut Tab. 2) ergibt sich ein Volumenstrom von: $0,08 \text{ m/s} \times 9 \text{ m}^2 = 0,72 \text{ m}^3/\text{s} \times 60 = 43,2 \text{ m}^3/\text{min}$.

Um auf den angestrebten Volumenstrom von 625 m³/h bzw. 450 m³/h bzw. 540 m³/h aus den Berechnungen in c) Nr. 1-3 zu kommen, rechnet man wie folgt:

$$\text{Nr. c) 1: } 625 : 43,2 = 14,5$$

☛ Man müsste in diesem Fall somit **14,5 Minuten** innerhalb 1 Stunde lüften (bei Vorliegen der o.g. Luftgeschwindigkeit!).

$$\text{Nr. c) 2: } 450 : 43,2 = 10,4$$

☛ Man müsste in diesem Fall somit **10,4 Minuten** innerhalb 1 Stunde lüften (bei Vorliegen der o.g. Luftgeschwindigkeit!).

$$\text{Nr. c) 3: } 540 : 43,2 = 12,5$$

☛ Man müsste in diesem Fall somit **12,5 Minuten** innerhalb 1 Stunde lüften (bei Vorliegen der o.g. Luftgeschwindigkeit!).

Je nach Berechnungsgrundlage gemäß c) Nr. 1-3 kommt man somit auf Lüftungszeiten zwischen 10,4 min– 14,5 min. Die Werte ändern sich natürlich unter der Annahme von anderen Luftgeschwindigkeiten im Lüftungsquerschnitt der Fenster (Abhängigkeit von z.B. Windgeschwindigkeit, Temperaturdifferenz zw. innen und außen). Es kann aus den oben genannten Beispielrechnungen grob abgeleitet werden, dass in einem Standardklassenraum wie oben dargestellt mehrfach auch während einer 60 minütigen Unterrichtsstunden gelüftet werden müsste. Kenntnisse zu den Lüftungsintervallen bei einer als Stoßlüftung durchgeführte Lüftung erhält man dadurch aber nicht.

4. Anwendung der CO₂-App der Unfallkasse

Folgende Angaben müssen in die App eingespeist werden:

- Personenanzahl
- Aufenthaltsdauer in Minuten
- Raumgrundfläche in m²
- Raumhöhe in Metern
- Sekundarstufe oder Primarstufe

Daraus berechnet die App nach wie vielen Minuten gelüftet werden müsste.

Der Rechner basiert dabei nicht auf theoretischen Berechnungen wie unter Punkt 3.4.2 exemplarisch dargestellt, sondern auf den Ergebnissen einer Studie, in der die CO₂-Konzentration während 720 Unterrichtsstunden in 111 Schulen gemessen wurde. Die Berechnung erfolgt nach Primar- und Sekundarstufe getrennt. Die App kann aber auch für Büroräume und Besprechungsräume genutzt werden.

Beispielrechnung (Maße entsprechen dem Fallbeispiel aus 3.4.2.):

Raumabmessungen/Belegungsdichte/Fenstermaße:

Raumtiefe: 7,5m

Raubbreite:10m

Raumhöhe:3,0m

Grundfläche: 75 m²

Raumvolumen:225 m³

Raumbelegung: 25 Person

Sekundarstufe

Nach Eingabe der Daten in die App müsste in unserem Beispiel nach 26 min eine Stoßlüftung erfolgen, also nach 26 und ca. 52 min. Aber bereits nach 13 min liegt der CO₂-Wert über 1000ppm. Erst bei Erreichen eines CO₂-Wertes von 1400 ppm sollte laut App gelüftet werden. Durch Aktivierung einer Timerfunktion erhält man eine automatische Erinnerung. Unter der Annahme einer jeweils 5 minütigen Lüftung käme man so auf Lüftungszeiten von ca. 10 min, je nach Jahreszeit auch länger oder kürzer.

5. Empfehlung für das Lüftungsverhalten in Schulklassen

Unter Berücksichtigung des oben Gesagten und der oben genannten Beispielrechnungen kann festgestellt werden, dass während des Schulalltags eine Kipplüftung allein auch bei geringer Klassenstärke vermutlich nicht ausreichend ist, um die Luftqualitätskriterien wie o.a. einzuhalten. Bei ausreichender Fensteranzahl und entsprechender Raumtiefe kann eine Stoßlüftung aber sehr wohl geeignet sein, um einen effektiven Luftaustausch in akzeptabler Zeit herbeizuführen. Hierbei muss auf eine ausreichende Lüftungsfrequenz geachtet werden. *Die Beispielrechnungen und die Anwendung der CO₂ App der UK/BG zeigen, dass Stoßlüftungen nur während der Pausen nicht ausreichen, es muss auch während des Unterrichts gelüftet werden.* Wie den oben genannten Beispielen zu entnehmen ist, lässt sich die Lüftungsdauer bei einer Stoßlüftung rechnerisch nicht leicht ermitteln. Weiterhin lassen sich rechnerisch keine Lüftungsintervalle ermitteln.

Aus diesem Grunde wird folgendes Vorgehen für Klassenräume empfohlen:

1. In Klassenräumen sollten wenn möglich **CO₂-Sensoren/Ampeln** installiert werden. Auf diese Weise kann kurzfristig auf eine erhöhte CO₂-Konzentration der Raumluft reagiert werden. Die Lüftungsdauer lässt sich auf diese Weise ebenfalls leicht ableiten.

2. Falls die Anschaffung von CO₂-Sensoren nicht erfolgen kann, sollte die **CO₂-App der**

UK/BG Anwendung finden. Dadurch erhält man für einen bekannten Klassenraum mit bekannter Personendichte für die Primarstufe und der Sekundarstufe getrennt einen groben Rückschluss über die notwendigen Lüftungsintervalle. Hinsichtlich der Lüftungsdauer müsste man sich dabei an die unter Punkt 3.2. aufgeführten Lüftungsdauern je nach Jahreszeit orientieren. Wie den o.g. Beispielen zu entnehmen ist, stimmen die errechneten Werte für eine Stoßlüftung recht gut mit dem Ergebnis der CO₂-App für dasselbe Szenario (s. Beispiel 3.4.2. und 4.) überein.

Wie man aus allen oben genannten Beispiele ableiten kann, ist mit einer hohen Lüftungsfrequenz in Klassenräumen durchaus zu rechnen, da angenommen werden kann, dass die meisten Klassenräume nur über eine einseitige Kipp- bzw. Stoßlüftung verfügen und eine Querlüftung nicht möglich sein wird. Lüften kann in kalten Monaten zu Unbehaglichkeiten führen verursacht durch Temperaturabfälle und Zuglufterscheinungen in der Lüftungsphase. Entsprechend sollten Verhaltensmaßnahmen (kurzfristiges Anziehen von Jacke, Mütze etc.) kommuniziert werden.

Zum Einsatz von Raumlufreiniger:

Nach Aussagen des UBA ist der Einsatz von mobilen Luftreinigern mit integrierten HEPA-Filtern in Klassenräumen nicht ausreichend, um wirkungsvoll über die gesamte Unterrichtsdauer Schwebepartikel (z.B. Viren) aus der Luft zu entfernen. Dazu wäre eine exakte Erfassung der Luftführung und -strömung im Raum ebenso erforderlich, wie eine exakte Platzierung der mobilen Geräte. Auch die Höhe des Luftdurchsatzes müsste exakt an die örtlichen Gegebenheiten und an die Raumebelegung angepasst werden. **Der Einsatz solcher Geräte kann Lüftungsmaßnahmen somit nicht ersetzen und sollte allenfalls flankierend in solchen Fällen eingesetzt werden, in denen eine besonders hohe Anzahl von Schülerinnen und Schülern sich gleichzeitig in einem Raum aufhält (z.B. durch Zusammenlegung verschiedener Klassen etc.).**

6. Gesamtfazit

In Schulgebäuden gilt es eine CO₂-Konzentration von kleiner 1000 ppm aufrechtzuerhalten. Bei Einhaltung dieses Wertes kann von einer ausreichenden Lüftung und akzeptablen Luftqualität ausgegangen wird. Dies bedeutet im Umkehrschluss natürlich nicht, dass bei Einhaltung der entsprechenden CO₂-Konzentration grundsätzlich eine Infektion mit dem SARS-CoV-2 ausgeschlossen ist. Die CO₂-Konzentration steht hier lediglich als Indikator für ein ausreichendes Lüftungsverhalten. Nach wie vor sind auch weiterhin Maßnahmen wie ausreichende (Hände-)Hygiene, das Abstandhalten und das Tragen einer Mund- Nasen-Bedeckung (MNB) sinnvoll und notwendig, um einer Infektion vorzubeugen. So ist es wissenschaftlich mittlerweile belegt, dass das Tragen einer MNB die Freisetzung infektiöser Aerosol reduziert bzw. verzögert. Das konsequente Tragen stellt somit einen Baustein der Strategie dar, die Ausbreitung von SARS-CoV-2 zu verlangsamen. Der Wirkungsgrad der MNB nimmt dabei mit der Größe der ausgeatmeten Partikel zu. Kleinere Partikel werden weniger gut zurückgehalten als große. Diese kleinen Partikel können somit trotz Tragens einer MNB in die Umgebungsluft gelangen. Daher ist auch beim Tragen von MNB auf eine ausreichende Lüftung zu achten. Auch die Einhaltung des Mindestabstandes ist weiterhin wichtig, vor allem in Situationen, in denen keine MNB getragen wird. Alle genannten Maßnahmen – MNB, Abstandsregel, Lüftung – greifen ineinander und ersetzen sich nicht gegenseitig.