

CO₂-Überwachung und Raumluftqualität.



Entstehung und Auswirkung auf die menschliche Gesundheit.

Kohlendioxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Mit einer Konzentration um 400 ppm (parts per million) ist es ein natürlicher Bestandteil der Umgebungsluft. CO₂ entsteht bei der vollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen bei ausreichender Sauerstoffzufuhr. Im Organismus von Lebewesen bildet es sich als Abbauprodukt der Zellatmung.¹ Bei höheren Konzentrationen ab 1000 ppm können erhebliche Beeinträchtigungen des Allgemeinbefindens auftreten (Kopfschmerzen, Müdigkeit, Unkonzentriertheit).²

Kohlendioxid entsteht in den Körperzellen (in einer Menge von 0,7 kg pro Tag) und diffundiert von dort in die umliegenden Kapillaren. Im Blut wird es nach chemischer Bindung an Proteine, wie z. B. Hämoglobin, oder in gelöster Form transportiert. Dabei ist CO₂ überwiegend physikalisch gelöst, nur ein kleiner Teil davon wird durch die Carboanhydrase in den

roten Blutkörperchen zu Kohlensäure umgewandelt, die in wässrigem Milieu in Wasserstoff- und Hydrogencarbonationen zerfällt. Über die Alveolarmembran der Lunge wird das Kohlendioxid abgeatmet. Eine wesentliche physiologische Funktion des Kohlendioxids im Organismus besteht darin, dass es über die Chemorezeptoren der Aorta und der Medulla oblongata, die das Atemzentrum im Hirnstamm reflektorisch erregen, die Atmung regelt. Erhöhte CO₂-Konzentrationen in der Einatemungsluft erhöhen die Atemfrequenz und das Atemzugvolumen. Dabei wirkt CO₂ erweiternd auf die Bronchien, wodurch sich das Totraumvolumen (der Raum des Atemsystems, der nicht am pulmonalen Gasaustausch beteiligt ist) erhöht. Die dilatatorische Wirkung des CO₂ auf periphere und zentrale Arteriolen führt jedoch nicht zu einem Blutdruckabfall, da eine erhöhte Adrenalinausschüttung eine kompensatorische Vasokonstriktion bewirkt.³

Wirkung verschiedener CO₂-Konzentrationen

Konzentration	Wirkung
350 – 450 ppm	Typische atmosphärische Konzentration
600 – 800 ppm	Zuverlässige Qualität der Raumluft
1000 ppm	Noch zuverlässige Qualität der Raumluft
5000 ppm	Maximale Arbeitsplatzkonzentration über 8 Stunden
6000 – 30 000 ppm	Bedenklich, nur kurzzeitige Belastung
3 – 8 %	Erhöhte Atemfrequenz, Kopfschmerzen
> 10 %	Übelkeit, Erbrechen, Bewusstlosigkeit
> 20 %	Schnell eintretende Bewusstlosigkeit, Tod

Abb.1: Wirkung verschiedener CO₂-Konzentrationen

CO₂ in der Raumluft.

CO₂ gilt als Leitparameter für von Menschen verursachte Luftverunreinigungen, da der Anstieg der CO₂-Konzentration in Innenräumen gut mit dem Anstieg der Geruchsintensität menschlicher Ausdünstungen korreliert. Somit ist der CO₂-Gehalt der Innenraumluft unmittelbar Ausdruck der Intensität der Nutzung eines Raumes. Er eignet sich deshalb auch als Orientierungsmarke für andere Regelungsbereiche, wie z.B. für die Dimensionierung raumlufttechnischer Anlagen oder für Lüftungsanweisungen in natürlich belüfteten, dicht belegten Räumen wie Schulklassen oder Versammlungsräumen.⁴

In genutzten Innenräumen hängt die CO₂-Konzentration im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- **Anzahl der Personen im Innenraum, Raumvolumen**
- **Aktivität der Innenraumnutzer**
- **Zeitdauer, die Raumnutzer im Innenraum verbringen**
- **Verbrennungsvorgänge im Innenraum**
- **Luftwechsel bzw. Außenluftvolumenstrom**

Ein rascher Anstieg der CO₂-Konzentration in der Raumluft ist die typische Folge der Anwesenheit vieler Personen in relativ kleinen Räumen (z. B. Versammlungs-, Sitzungs- oder Schulräumen) bei geringem Luftwechsel. Kritische

CO₂-Konzentrationen treten in der Regel zusammen mit anderen Luftverunreinigungen, insbesondere Geruchsstoffen u. a. aus dem Schweiß oder von Kosmetika sowie Mikroorganismen, auf. Bei luftdichter Bauweise und damit einhergehend sehr geringen Luftwechselzahlen kann die CO₂-Konzentration auch bei Anwesenheit weniger Personen (z. B. in Wohnungen oder Büroräumen) zunehmen. In beiden Fällen hat CO₂ direkten Einfluss darauf, wie wohl sich Menschen in einem Raum fühlen. Die European Collaborative Action (ECA) kommt aufgrund von Modellrechnungen zu folgenden Unzufriedenheitsraten: Bereits ab 1000 ppm ist mit etwa 20 % und ab 2000 ppm mit ca. 36 % unzufriedenen Raumnutzern zu rechnen.⁵

Während Versammlungs- oder Sitzungsräume in der Regel nur gelegentlich und kurzzeitig genutzt werden, sind Schul- und Innenräume wegen der regelmäßigen und stundenlangen Aufenthaltsdauer von Schülern und Lehrern hinsichtlich ihrer CO₂-Konzentration in der Klassenraumluft besonders kritisch zu betrachten. In mehreren Bundesländern Deutschlands laufende oder abgeschlossene Untersuchungen zur Belastung der Innenraumluft von Schulräumen mit Kohlendioxid haben übereinstimmend erhebliche Defizite hinsichtlich einer diesbezüglich ausreichenden Innenraumluftqualität in Schulen aufgezeigt.⁶

Außenluftvolumenstrom, Lüftungsrate und Lüftungsampel.

Der Außenluftvolumenstrom bzw. die Lüftungsrate beschreibt die Größe des Stroms (in l/s oder m³/h) von Außenluft in einen Raum oder ein Gebäude entweder durch die Lüftungsanlage oder durch Infiltration durch die Gebäudehülle.

Für Räume, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, werden die erforderlichen Außenluftvolumenströme personenbezogen als l/s Person oder m³/h Person angegeben. Die Luftwechselzahl (n in 1/h) ist der Quotient aus dem Zuluftvolumenstrom in m³/h und dem Raumvolumen in m³.⁷

Ein Raumklima wird als behaglich empfunden, wenn die Temperatur zwischen 20 – 23 °C und die Luftfeuchte zwischen 30 – 70 %rF liegt. Für Hausstaubmilben-Allergiker sind allerdings maximal 50 %rF empfehlenswert. Hier empfiehlt sich die gelegentliche Kontrolle mit einem geeichten Hygrometer. Luftströmungen im Raum sollten je nach Saison Werte von 0,15 m/s (im Winter) bzw. 0,25 m/s (im Sommer) nicht überschreiten.

Beim Betreten eines Raumes, in dem sich Personen aufhalten, entsteht gelegentlich der Eindruck von „verbrauchter Luft“. Dieser ist auf ausgeatmetes Kohlendioxid, Wasserdampf und abgegebene Körpergerüche zurückzuführen.⁸

Bereits vor 150 Jahren wies der deutsche Chemiker und Hygieniker **Max von Pettenkofer** auf den Tatbestand der „schlechten Luft“ beim längeren Aufenthalt in Wohnräumen und Lehranstalten hin und identifizierte das Kohlendioxid als wichtige Leitkomponente für die Beurteilung der Raumluftqualität. Er legte als Maßstab den lange Zeit geltenden CO₂ - Richtwert von 0,1 Vol-% (= 1000 ppm) in Innenräumen fest – die so genannte Pettenkoferzahl. Ab dieser Konzentration können erste Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Müdigkeit und Unaufmerksamkeit auftreten.⁹

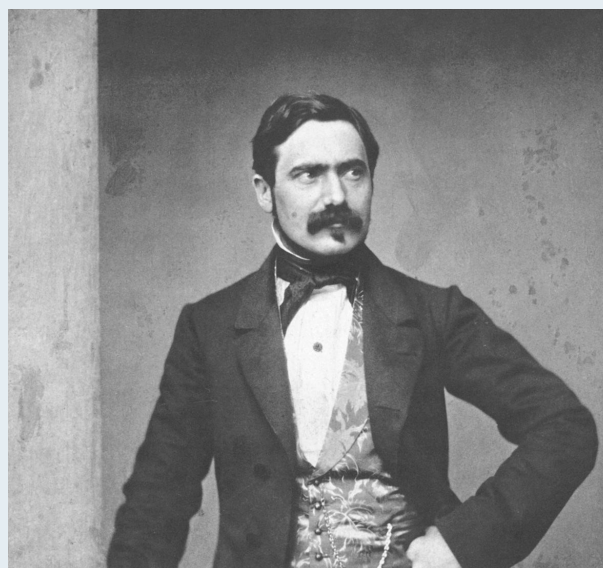


Abb.2: Max von Pettenkofer

Für die zeitgemäße Beurteilung des CO₂-Gehaltes in der Raumluft ist die Lüftungsampel hilfreich:

	Kohlendioxid-Konzentration (ppm)	Lüftungs-ampel	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
Konzentrationen unter 1000 ppm Kohlendioxid in der Raumluft: Unbedenklich	< 1000	Grün	Hygienisch unbedenklich (Zielwert)	Keine weiteren Maßnahmen
Konzentrationen zwischen 1000 und 2000 ppm: Auffällig	1000 – 2000	Gelb	Hygienisch auffällig	Lüftungsmaßnahmen (Außenluftmenge bzw. Luftwechsel erhöhen) Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
Konzentrationen über 2000 ppm: Nicht akzeptabel	> 2000	Rot	Hygienisch inakzeptabel	Belüftbarkeit des Raums prüfen Ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen

Abb.3: Beurteilung des CO₂-Gehaltes der Raumluft mit der Lüftungsampel.¹⁰

Sick-Building-Syndrome.



Der Begriff „Sick-Building-Syndrome“ (SBS) besitzt keine eindeutige deutsche Übersetzung, man spricht vom „Gebäudesyndrom“ bzw. von der „Gebäudekrankheit“. Auch im Englischen liest man ihn in zweierlei Bedeutung. Zum einen werden damit Gebäude bezeichnet, die die Insassen bei der Arbeit krank machen, zum anderen werden die Gebäude selbst als „krank“ beschrieben.

Ursache des Sick-Building-Syndroms sind meistens Klimatisierung oder mangelnde Lufthygiene in Gebäuden. Die Symptome weisen ein breites Spektrum auf, so z.B. die folgenden: Reizungen von Augen, Nase und Hals; die Empfindung, dass die Schleimhäute und die Haut austrocknen; „geistige“ Ermüdung (Originalbezeichnung: mental fatigue); häufige Infektionen der Atemwege und Husten; Heiserkeit, Atemnot, Juckreiz und unspezifische Hypersensitivität.

Eine amerikanische Studie in Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen konnte statistisch signifikante, positive Korrelationen von Beschwerden wie z.B. trockene Kehle und Schleimhautreizungen mit dem Anstieg der CO₂-Konzentrationen nachweisen, dies auch schon im Konzentrationsbereich von unter 1000 ppm absolut.

Neuere Studien haben gezeigt, dass die Kosten für die Behebung von Problemen im Zusammenhang mit schlechtem Innenraumklima für den Arbeitgeber, den Gebäudeeigentümer und die Gesellschaft oft höher sind als die Energiekosten der betreffenden Gebäude. Es wurde auch nachgewiesen, dass eine geeignete Qualität des Innenraumklimas die Gesamtleistung beim Arbeiten und Lernen verbessern und Fehltagereizern kann.¹¹

Raumluftqualität in Schulen.



Allein in Deutschland gibt es 34.000 allgemeinbildende Schulen und 10.000 berufsbildende Schulen. Dementsprechend kommt der Überwachung von CO₂ hier eine besondere Bedeutung zu. Die Außenluft enthält durchschnittlich einen Kohlendioxid-Anteil von 400 ppm.¹²

In einem Klassenraum steigt dieser Anteil allein durch die Atemluft von Schülern und Lehrern innerhalb einer Unterrichtsstunde auf über 1500 ppm an, nach 90 Minuten wurden bei Messungen schon Werte von 2700 ppm festgestellt. Letztendlich führt dies zu erhöhter Müdigkeit und abnehmender Aufmerksamkeit – Symptome, die dem Lernen und Lehren direkt im Wege stehen.¹³

Eine Studie aus den USA kommt zum Schluss, dass die CO₂-Konzentrationen in Schulräumen direkten Einfluss auf die Anwesenheit der Schülerinnen und Schüler hat.

Ein Anstieg um 1000 ppm CO₂ führt zu einer Steigerung der Abwesenheitsrate um 10 – 20 %. Laut einer anderen Studie reduziert jeder Anstieg um 100 ppm CO₂ die durchschnittliche jährliche Anwesenheit der Schülerinnen und Schüler um 0,2 %.¹⁴ Auch wurde festgestellt, dass eine Erhöhung der Lüftungsrate die krankheitsbedingte Abwesenheit um 10 – 17 % reduzieren kann.¹⁵

Demnach beeinflusst CO₂ die Anwesenheit in den untersuchten Schulen. Wie groß der Einfluss genau ist, bleibt jedoch unklar. Zumal auch individuelle Bedingungen der Schulen in Betracht gezogen werden müssen.

Mit Einführung der Energieeinsparverordnung in Deutschland im Jahr 2002 (novelliert 2007) kommen hier neue

Herausforderungen auf alle Beteiligten bei der Sanierung von Schulgebäuden zu. Die Gebäudehülle und die Fenster werden bewusst luftdicht gemacht, um die energetischen Vorgaben zu erfüllen. Die Kehrseite kann bei unzureichender Lüftung eine Anreicherung von chemischen und biologischen Stoffen in der Raumluft sein.¹⁶

Obwohl das Kohlendioxidproblem in Räumen mit hoher Personenzahl seit langem bekannt ist, sind bis heute im Schulbereich keine überzeugenden Lösungen gefunden worden. Gleichzeitig gibt es besonders im Winterhalbjahr keine klaren Zuständigkeitsregelungen, wie, wann und von wem die Fenster der Klassenräume zu öffnen sind. Die Folge sind erwartungsgemäß hohe bis sehr hohe CO₂-Werte (3000 ppm und mehr). Dies hat auch direkte Auswirkungen auf die Ansteckungsgefahr in Schulen: Wo es viel CO₂ gibt, werden auch besonders viele Keime gefunden.¹⁷

Die amerikanischen Wissenschaftler Rudnick und Milton zum Beispiel untersuchten 2003, wie hoch das Grippe-Ansteckungsrisiko in einem Klassenraum ist. 30 Personen waren vier Stunden lang im Klassenraum, eine Person hatte akut Grippe. Das Ergebnis: Bei 1000 ppm CO₂ steckten sich fünf Personen an, bei 2000 ppm waren es zwölf und bei 3000 ppm sogar 15.¹⁸

Die aktuelle Situation in vielen Schulen zeigt, dass allein mit Aufforderungen zum regelmäßigen und intensiven Lüften das CO₂-Problem mancherorts nicht mehr in den Griff zu bekommen ist. Lüftungstechnische Maßnahmen werden dann unerlässlich, um eine nutzerunabhängige und dauerhafte Luftgüte mit geringer CO₂-Konzentration zu erreichen.¹⁹

Richtlinien für CO₂-Gehalt in der Raumluft.

Es gibt in Deutschland und Europa keine umfassend rechtsverbindliche Regelung für Qualitätsanforderungen an die Innenraumluft. Es existiert dafür aber eine Anzahl von Beurteilungswerten, die z.B. Richtwerte, Orientierungswerte oder Zielwerte genannt werden. Als hygienischer Richtwert gilt heute in Deutschland nach DIN 1946 Teil 2 ein CO₂-Wert von 0,15 Vol-% (= 1500 ppm). Die Innenraumrichtwerte für CO₂ wurden von der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Landesgesundheitsbehörde veröffentlicht.²⁰

Eine Reihe europäischer Nachbarländer hat Richtlinien und Empfehlungen zur Lüftung von Gebäuden einschließlich Schulen veröffentlicht, die u. a. auch Vorgaben zur Begrenzung der CO₂-Konzentration in der Innenraumluft

enthalten. In Finnland beträgt die maximal zulässige CO₂-Konzentration in der Innenraumluft bei üblichen Wetterbedingungen und unter Nutzung 1200 ppm. Die norwegischen und schwedischen Richtlinien sehen für Wohnräume, Schulen und Büroräume eine maximale CO₂-Konzentration von 1000 ppm vor. In Dänemark soll nach der Richtlinie der Arbeitsschutzbehörde die Kohlendioxidkonzentration in Kindertagesstätten, Schulen und Büroräumen 1000 ppm nicht überschreiten. Der Luftwechsel wird als unzureichend bezeichnet, wenn die CO₂-Konzentration mehrmals am Tag für kurze Zeit den Wert von 2000 ppm überschreitet.²¹

An Arbeitsplätzen, die den Regelungen der Gefahrstoffverordnung unterliegen, gilt gemäß TRGS 900 ein Arbeitsplatzgrenzwert von 5000 ppm Kohlendioxid.

CO₂-Messtechnik.

Für Messung und Überwachung von Kohlendioxid in Innenräumen stehen Ihnen drei Möglichkeiten zur Verfügung:

CO₂-Messgeräte

(z. B. testo 535):



Tragbar und auch geeignet für Langzeitmessungen, messen sie den CO₂-Gehalt schnell und präzise.

CO₂-Datenlogger

(testo 160 IAQ):



Messen neben CO₂ auch Temperatur und Feuchte lückenlos. Messwerte werden per WLAN in die Cloud übertragen, was die Alarmierung per E-Mail oder SMS bei Grenzwertverletzungen ermöglicht. Die gut sichtbare Luftgüteampel sorgt zudem dafür, dass die Verantwortlichen auf einen Blick sehen, wie es um die Raumluftqualität bestellt ist.

Multifunktions-Klimamessgeräte

(z. B. testo 440):



Messen neben CO₂ auch alle anderen Klima-Parameter wie u.a. Strömung, Temperatur, Feuchte, Turbulenzgrad, CO oder Lux.

Wenn Sie sich für CO₂-Messtechnik von Testo interessieren, dann schauen Sie auf der Testo Webseite vorbei und kontaktieren Sie uns: www.testo.de

Quellen.

- ¹ Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, Seite 1358
- ² Müller-Limroth (1977): zit. in Luftqualität in Innenräumen (1997). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287, zitiert bei Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient, Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung August 2011, Autoren (Dipl.-Ing. Dr.Rolf Boos, Dipl.-Ing. Bernhard Damberger, Dipl.-Ing. Dr.Hans-Peter Hutter, Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi, Dr.Hanns Moshhammer, Dipl.-Ing. Peter Tappler, Dipl.-Ing. Felix Twardik, Dr. Peter Wallner), <http://www.komfortlüftung.at/>
- ³ Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, Seite 1362
- ⁴ Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient, Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung August 2011, Seite 6, Autoren (Dipl.-Ing. Dr.Rolf Boos, Dipl.-Ing. Bernhard Damberger, Dipl.-Ing. Dr.Hans-Peter Hutter, Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi, Dr.Hanns Moshhammer, Dipl.-Ing. Peter Tappler, Dipl.-Ing. Felix Twardik, Dr. Peter Wallner), <http://www.komfortlüftung.at/>
- ⁵ ECA (1992) Guidelines for ventilation requirements in buildings. European Collaborative Action Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report no. 11. EUR 14449, zitiert bei: Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, Seite 1366
- ⁶ Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, Seite 1358f
- ⁷ Ebd
- ⁸ <https://www.allum.de/stoffe-und-ausloeser/schadstoffe-der-innenraumluft/allgemeines-zur-innenraumluftqualitaet>
- ⁹ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Autoren Dr. Heinz-Jörn Moriske und Dr. Regine Szewzyk, 2008, Seite 32, http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebäude.pdf
- ¹⁰ Abb. 3:
Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz
- ¹¹ Über das Sick-Building Syndrome, Autor Dr.-Ing. Ahmet Cakir, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 1994 (<http://ergonomic.de/wp-content/uploads/2015/03/sick-building-2002.pdf>)
- ¹² Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Autoren Dr. Heinz-Jörn Moriske und Dr. Regine Szewzyk, 2008, Seite 10
- ¹³ Fraunhofer IBP, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, Autoren Gunnar Grün, Susanne Urlaub, Stuttgart, 10. Dezember 2015, https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Presseinformationen/Velux-Prestudy_WhitePaper_141205_amended.pdf
- ¹⁴ Shendell DG, Prill R, Fisk WJ, et al. (2004) Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. Indoor Air 14:333–341, zitiert bei: Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung
- ¹⁵ Fraunhofer IBP, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, Autoren Gunnar Grün, Susanne Urlaub, Stuttgart, 10. Dezember 2015, (https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Presseinformationen/Velux-Prestudy_WhitePaper_141205_amended.pdf)
- ¹⁶ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Autoren Dr. Heinz-Jörn Moriske und Dr. Regine Szewzyk, 2008 (http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebäude.pdf), Seite 7
- ¹⁷ Mensch-Umwelt-Gesundheit, Bericht CO₂: <http://raumluft.linux47.webhome.at/natuerliche-mechanische-lueftung/co2-als-lueftungsindikator/>, Seite 2
- ¹⁸ Rudnick SN, Milton DK (2003) Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. Indoor Air 13:237–245, zitiert bei Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, Seite 1365
- ¹⁹ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Autoren Dr. Heinz-Jörn Moriske und Dr. Regine Szewzyk, 2008 (http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebäude.pdf), Seite 39
- ²⁰ Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Seite 1358- 1369, <http://www.komfortlüftung.at/gesund&energieeffizient,Komfortlüftungsinfo.No.4,GesetzlicheVorgabenundRegelwerke>, Herausgegeben am 15.10.2010, Seite 7
- ²¹ SF-Ministry of the Environment (2003) Indoor climate and ventilation of buildings. Regulations and Guidelines 2003. D2 National building code of Finland, <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=68171&lan=en>, zitiert bei: Bundesgesundheitsbehörde, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung