

Экспертная статья Testo
Мониторинг CO₂ и
качество воздуха в
помещении

Be sure. **testo**

Мониторинг CO₂ и качество воздуха в помещении



Формирование CO₂ и его воздействие на здоровье человека

Углекислый газ не имеет цвета и запаха. Он является естественным компонентом окружающего воздуха, с концентрацией примерно 400 ppm (миллионных долей). CO₂ формируется при полном сгорании углеродосодержащих веществ с достаточным притоком кислорода. Он также формируется в организмах живых существ как продукт клеточного дыхания.¹

При высоких концентрациях до 1000 ppm CO₂ может оказывать значительное негативное воздействие на общее самочувствие (головные боли, усталость, недостаток концентрации).²

Углекислый газ образуется в клетках организма (в количестве 0,7 кг в день) и из них распространяется по окружающим капиллярам. Он передается через кровь химически связанным в составе белков, таких как гемоглобин, или в растворенном виде. Большая часть CO₂ физически растворяется, и лишь незначительная его часть преобразуется карбоангидразой эритроцитов

в уголекислоту, которая в водной среде распадается на водород и ионы гидрокарбоната. Углекислый газ выделяется через альвеолярную мембрану в лёгких. Главная физиологическая функция уголекислого газа в организме состоит в регулировании дыхания через химические рецепторы аорты и продолговатого мозга, который стимулирует дыхательный центр в стволовой части мозга. Повышенное содержание CO₂ во вдыхаемом воздухе учащает дыхание, повышая дыхательный объём. При этом CO₂ оказывает отложенный эффект на бронхиолы, что приводит к увеличению объёма неиспользуемого пространства (пространства дыхательной системы, не задействованного в газообмене). Однако отложенный эффект CO₂ на периферийные и центральные артериолы не приводит к снижению кровяного давления, поскольку повышенная выработка адреналина вызывает компенсирующее сужение сосудов.³

Эффект различных концентраций CO₂

Концентрация	Эффект
350 ... 450 ppm	Типичная атмосферная концентрация
600 ... 800 ppm	Нормальное качество воздуха в помещении
1000 ppm	Верхний предел нормы для помещения
5000 ppm	Максимум на рабочем месте более 8 часов
6000 ... 30 000 ppm	Критический, кратковременное пребывание
3 ... 8%	Повышенная частота дыхания, головные боли
> 10%	Тошнота, рвота, потеря сознания
> 20%	Быстрая потеря сознания, смерть

Рис.1: Эффект различных концентраций CO₂

CO₂ В ПОМЕЩЕНИИ

CO₂ считается основным параметром антропогенного загрязнения воздуха, поскольку повышение концентрации CO₂ в помещении коррелирует с ростом интенсивности запахов, являющихся продуктом человеческого метаболизма. Таким образом, содержание CO₂ в воздухе помещения прямо отражает интенсивность его использования. Оно также может служить ориентировочным маркером для других регулируемых областей, таких как планирование размеров систем вентиляции и кондиционирования или инструкции по проветриванию в таких активно используемых помещениях с естественной вентиляцией, как школьные классы или залы собраний.⁴

В используемых помещениях концентрация CO₂ в основном зависит от следующих факторов:

- **Число людей в помещении, объем помещения**
- **Активность пользователей помещения**
- **Время, которое пользователи проводят в помещении**
- **Процессы сгорания в помещении**
- **Воздухообмен и объёмный расход наружного воздуха**

Быстрый рост концентрации CO₂ в помещении — типичное следствие присутствия множества людей в относительно небольших пространствах (например, в залах для собраний, конференций или в школьных классах) с низкой кратностью воздухообмена. Критические концентрации CO₂ обычно соседствуют с другими факторами загрязнения воздуха, особенно с неприятными запахами пота или косметики, а также микроорганизмами. В герметичных помещениях с очень низкой кратностью воздухообмена концентрация CO₂ может расти даже в присутствии совсем небольшого количества людей (например, в квартирах или офисах). В обоих случаях CO₂ прямо влияет на ощущение комфорта от нахождения в помещении. Европейские совместные действия (ЕСА) определяют следующие уровни недовольства микроклиматом на основе модельных расчётов. Начиная с 1000 ppm, примерно 20% пользователей помещения могут быть недовольны, и это число вырастет примерно до 36% при 2000 ppm.⁵

В то время как залы для собраний и конференций обычно используются от случая к случаю и кратковременно, в школьных классах ученики и учителя регулярно находятся на протяжении многих часов, поэтому концентрация CO₂ в их воздухе имеет критическое значение. Текущие и прошедшие исследования в разных частях Германии, посвященные концентрации углекислого газа в школьных классах неизменно демонстрируют недостаточное качество воздуха, связанное с этим параметром.⁶

Объёмный расход наружного воздуха, кратность вентиляции и **оценка концентрации CO₂**

Объёмный расход наружного воздуха или кратность вентиляции описывает объём потока (в л/с или м³/ч) наружного воздуха, поступающего в помещение или здание через систему вентиляции или каркас здания.

Для помещений, в которых присутствуют люди, требуемый объёмный расход наружного воздуха устанавливается исходя из количества людей, например, л/с или м³/ч на человека. Кратность воздухообмена (n на 1/ч) — соотношение объёмного расхода наружного воздуха в м³/ч и объёма помещения в м³.⁷

Микроклимат в помещении воспринимается как комфортный при температуре от 20 до 23 °C и влажности воздуха от 30 до 70% ОВ. Однако для людей с аллергией на пылевых клещей рекомендуется максимум 50 % ОВ. При этом рекомендуются контрольные замеры официально поверенным гигрометром. Скорость воздуха в помещении не должна превышать 0,16 м/с (зимой) и 0,25 м/с (летом).

Когда вы входите в комнату, где есть люди, иногда возникает ощущение “спёртого воздуха”. Причиной может быть выдыхаемый углекислый газ, пар и запах пота.⁸

150 лет назад немецкий химик **Макс фон Петтенкофер** уже указывал “плохой воздух” как негативный фактор долгого пребывания в жилых кварталах и образовательных учреждениях, и идентифицировал CO₂ как важнейший компонент оценки качества воздуха. Он установил 0,1% об. (= 1000 ppm) как стандарт концентрации CO₂ в помещении — так называемое число Петтенкофера, которое долго оставалось действующей нормой. Симптомы плохого самочувствия, такие как головная боль, усталость и потеря внимания, проявляются при её повышении.⁹

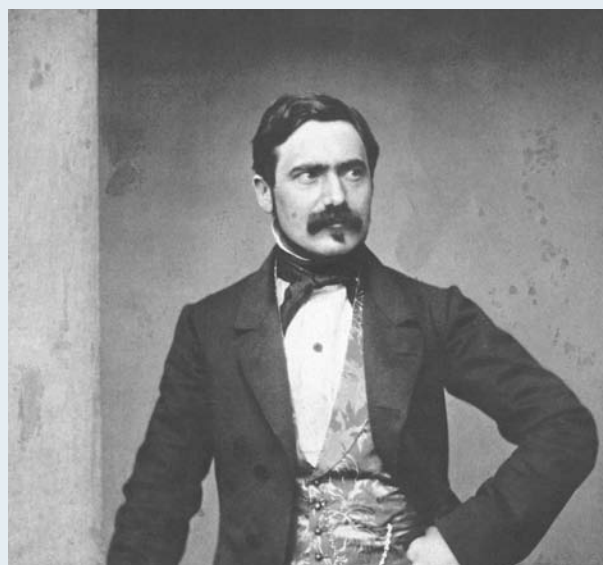


Рис. 2: Макс фон Петтенкофер

Три уровня опасности при современной оценке концентрации CO₂ в помещении:

	Концентрация углекислого газа (ppm)	Уровень опасности	Гигиеническая оценка	Рекомендации
Концентрации ниже 1000 ppm углекислого газа в помещении: Некритично	< 1000	Зелёный	Гигиенически некритично (расчётное значение)	Никаких дальнейших действий не требуется
Концентрации от 1000 до 2000 ppm: Критично	1000 ... 2000	Жёлтый	Гигиенически критично	Меры по улучшению вентиляции (повышение количества наружного воздуха/воздухообмена) Проверить и улучшить работу вентиляции
Концентрации выше 2000 ppm: Неприемлемо	> 2000	Красный	Гигиенически неприемлемо	Изучить дополнительные возможности вентиляции помещения Изучить возможные дальнейшие действия

Рис. 3: Три уровня опасности при оценке концентрации CO₂ в воздухе в помещении.¹⁰

Синдром больного здания



Термин “синдром больного здания” можно трактовать двумя способами. С одной стороны, он относится к зданиям, в которых люди во время работы чувствуют себя больными, а с другой стороны, сами здания можно назвать “больными”.

Причиной возникновения синдрома больного здания обычно является система кондиционирования или недостаточная гигиена воздуха в здании. При этом наблюдается множество симптомов, таких как: раздражение глаз, носа и горла; ощущение сухости кожи и слизистой оболочки; психологическая усталость; частые респираторные заболевания и кашель; хрипота, одышка, зуд и неспецифическая гиперчувствительность. Американское исследование, проводившееся в зданиях с системами кондиционирования и вентиляции, позволило на основе статистических данных продемонстрировать сильную прямую зависимость

между жалобами на сухость в горле или раздражение слизистой оболочки и повышенной концентрацией CO₂, даже если она была ниже 1000 ppm в абсолютном выражении.

Более поздние исследования показали, что затраты на устранение проблем, связанных с неблагоприятным микроклиматом в здании, часто оказываются для работодателя, владельца здания и государства выше, чем затраты на энергообеспечение этого здания. Также было доказано, что хороший микроклимат может повысить общую работоспособность и эффективность обучения, при этом снизив коэффициент отсутствия на рабочем месте.¹¹

Качество воздуха в школах



В одной только Германии насчитывается 34 000 общеобразовательных школ и 10 000 школ профессионального обучения. Соответственно, мониторинг концентрации CO₂ в них очень важен. При этом среднее содержание углекислого газа в атмосфере составляет 400 ppm.¹²

Всего за один учебный час в классе этот показатель только за счёт воздуха, выдыхаемого учениками и учителями, повышается до 1500 ppm и более, а после 90 минут занятий фиксировались значения порядка 2700 ppm. В конце занятия это вызывает повышенную усталость и ослабление внимания – симптомы, которые прямо мешают обучению и преподаванию.¹³

Исследование, проведённое в США, позволило сделать вывод, что концентрация CO₂ в учебных классах прямо влияет на посещаемость учеников. Повышение концентрации CO₂ до 1000 ppm ведёт к снижению посещаемости на 10 ... 20 %. Согласно другому исследованию, каждые лишние 100 ppm CO₂ снижают годовую посещаемость учеников на 0,2%.¹⁴ Также было установлено, что повышение кратности вентиляции может снизить отсутствие по болезни на 10 ... 17 %.¹⁵

Таким образом, CO₂ влияет на посещаемость занятий в исследуемых школах. Однако степень этого влияния остаётся неясной, не в последнюю очередь из-за того, что нужно принимать во внимание индивидуальные обстоятельства в каждой школе.

С принятием в Германии в 2002 году Закона об энергосбережении (переработанного в 2007 году) все, кто занимается переоборудованием школьных зданий, столкнулись с новыми задачами. Ограждающие

конструкции и окна стали намеренно делать герметичными для выполнения требований по сбережению энергии. В случае недостаточной вентиляции это может привести к таким негативным последствиям, как накопление химических и биологических веществ в воздухе в помещениях.¹⁶

Хотя проблема с углекислым газом в помещениях с большим числом людей известна уже давно, убедительных решений её в образовательной сфере пока так и не найдено. В то же время не существует чётких правил насчёт того, кто и когда должен открывать окна в классах, особенно в зимние месяцы. В результате концентрация CO₂ там ожидаемо оказывается очень высокой (3000 ppm и более). Это прямо влияет на риск инфекционных заболеваний в школах: при большом количестве CO₂ число микробов также резко возрастает.¹⁷

Например, в 2003 году американские учёные Радник и Милтон изучали риск заболевания гриппом в классе. На протяжении четырёх часов в классе присутствовало 30 человек, один из которых страдал от острого гриппа. В результате при концентрации CO₂ в 1000 ppm заразились пять человек, при 2000 ppm заразившихся было двенадцать, а при 3000 ppm уже 15.¹⁸

Текущая ситуация во многих школах демонстрирует: в некоторых случаях требования регулярно и интенсивно проветривать классы недостаточно, чтобы решить проблему CO₂. Неизбежны технологические меры по организации вентиляции, позволяющие достичь постоянного качества воздуха с низким содержанием CO₂ при любой интенсивности использования.¹⁹

Нормы по содержанию CO₂ в воздухе помещения

В Германии и Европе нет всесторонних юридически обязательных норм по качеству воздуха в помещениях. Вместо этого существует множество оценочных величин, которые называются ориентировочными или целевыми. В Германии в качестве гигиенической ориентировочной величины согласно стандарту DIN 1946 часть 2 применяется значение CO₂ 0,15% об. (= 1500 ppm). Ориентировочные значения по концентрации CO₂ в помещениях были опубликованы Комиссией по гигиене воздуха в помещении (IRK) Федерального министерства окружающей среды и Государственным органом по здравоохранению.²⁰

Ряд соседних стран опубликовал нормы и рекомендации по вентиляции в зданиях, включая школы, в которые входят положения об ограничении концентрации CO₂ в

воздухе помещений. В Финляндии максимально допустимая концентрация CO₂ в используемом помещении при нормальных погодных условиях составляет 1200 ppm. В норвежских и шведских нормах для жилых помещений, школ и офисов установлена максимальная концентрация CO₂ 1000 ppm. В Дании, согласно нормам органа по охране труда, содержание углекислого газа в детских садах, школах и офисах не должно превышать 1000 ppm. Воздухообмен считается недостаточным, если несколько раз в день на короткое время концентрация CO₂ превышает значение 2000 ppm.²¹

Для рабочих мест, подпадающих под положения Директивы об опасных веществах, согласно TRGS 900 установлено предельное значение 5000 ppm CO₂.

Технология измерения CO₂

Существуют три типа приборов для измерения и мониторинга концентрации углекислого газа в помещениях:

Приборы для измерения CO₂ (например, testo 535):



Портативные, но также подходящие для долгосрочных измерений, они быстро и точно измеряют содержание CO₂ в воздухе.

Логгеры данных CO₂ (testo 160 IAQ):



Помимо CO₂ они непрерывно регистрируют температуру и влажность. Результаты по WiFi передаются в облако, что позволяет рассылать уведомления о нарушениях граничных значений по e-mail или SMS. Наглядная система оценки по типу "светофора" позволяет ответственным сотрудникам моментально видеть текущее состояние качества воздуха.

Многофункциональные приборы (например, testo 440):



Помимо CO₂, они измеряют все параметры вентиляции и кондиционирования, такие как скорость воздуха, температуру, влажность, степень турбулентности, CO или освещенность.

Если вам интересны технологии Testo для измерения CO₂, зайдите на наш сайт www.testo.ru и свяжитесь с нами

ИСТОЧНИКИ

- ¹ Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1358
- ² Müller-Limroth (1977): quoted in Luftqualität in Innenräumen (1997). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287, quoted in Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient, Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung August 2011, authors (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 Twrdik, Dr. Peter Wallner), <http://www.komfortlüftung.at/>
- ³ Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1362
- ⁴ Komfortlüftung.at gesund & energieeffizient, Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter, Aktualisierte Fassung August 2011, page 6, authors (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 Twrdik, 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, quoted in: Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1366
- ⁶ Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1358f
- ⁷ ibid
- 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, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008, page 32, http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebaeude.pdf
- ¹⁰ Fig. 3: Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz
- ¹¹ Über das Sick-Building Syndrome, author 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, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008, page 10
- ¹³ Frauenhofer IBP, Frauenhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, authors 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, quoted in: Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung
- ¹⁵ Frauenhofer IBP, Frauenhofer Institut für Bauphysik IBP, Study Report Titel Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe, authors 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, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske and Dr. Regine Szewzyk, 2008 (http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebaeude.pdf, Seite 7
- ¹⁷ Mensch-Umwelt-Gesundheit, Bericht CO₂: <http://raumluft.linux47.webhome.at/naturliche-mechanische-lueftung/co2-als-lueftungsindikator/>, page 2
- ¹⁸ Rudnick SN, Milton DK (2003) Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration. -245 Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung, page 1365
- ¹⁹ Umweltbundesamt Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, authors Dr. Heinz-Jörn Moriske und Dr. Regine Szewzyk, 2008 (http://raumluft.linux47.webhome.at/fileadmin/dokumente/uba_innenraumhygiene_schulgebaeude.pdf, page 39
- ²⁰ Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, page 1358- 1369, <http://www.komfortlüftung.at/gesund&energieeffizient,Komfortlüftunginfo.No.4,GesetzlicheVorgabenundRegelwerke,Herausgegebenam15.10.2010,page7>
- 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: Bundesgesundheitsbelehrung, Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz des Umweltbundesamtes 2008, Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Springer Medizin Verlag Ergonomic Institut für Arbeits- und Sozialforschung