

1 Titelseite

CO₂ Projekt

Im Rahmen des Forschungsprojektes: iCity 2 Teilprojekt UDigiT4iCity

Inhaltsverzeichnis

[1 Titelseite](#)

[2 Methodenteil](#)

[3 Ergebnisse](#)

[4 Diskussion](#)

[5 Fazit](#)

[6 Danksagung](#)

[7 Weitere Angaben](#)

[8 Literaturverzeichnis](#)

[9 Autor:innen](#)

Was ist CO₂ und wie ist die Verbindung zu unserem Projekt?

Kohlenstoffdioxid (CO) Ist unter anderem ein Abbauprodukt der menschlichen Atmung. Die CO₂-Konzentration in der Innenluft gilt daher als allgemeiner Indikator für die Raumluftqualität und als Leitparameter zur Beurteilung von Lüftungssituationen. Klassenräume sind wegen der hohen Zahl der Nutzerinnen und Nutzer und deren regelmäßigen langen Aufenthaltszeiten unter diesem Aspekt besonders kritisch zu betrachten. Eine gute Raumluftqualität ist aber eine wichtige Voraussetzung für gutes Lernen und Lehren, wie verschiedene Studien zeigen.

Worum geht es in dem Projekt?

Erfassung der CO₂ Emission während der Schulzeit in der Schule mit Hilfe von CO₂-Sensoren.

In diesem Paper geht es um ein Projekt, welches wir, mithilfe der [HFT Stuttgart](#), in Räumen des [Humboldt Gymnasiums](#)-Solingen, durchgeführt haben.

Das Projekt zeigt die Messung der **CO₂-Werte**, die mit einem Messgerät, einer sogenannten **CO₂-Ampel** (diese wurde uns von der HFT Stuttgart zur Verfügung gestellt), bestimmt wurden.

Der Kohlenstoffdioxidanteil in der Luft wird in der Maßeinheit „ppm“ (**parts per million**) angegeben

Wir konzentrierten uns auf die Berechnung und Entwicklung des ppm-Anteils von CO₂ in der Luft und beschäftigten uns mit der Erfassung und der Analyse der Messdaten, unter Berücksichtigung der Raumgröße, der Luftzufuhr und die Anzahl der Personen im Raum, in einem bestimmten Zeitrahmen. Ziel war, präzise Messdaten zu gewinnen und Zusammenhänge zu identifizieren, um die Lüftungssituation im Raum zu optimieren. Also einen Arbeitsablauf zur Bestimmung der Personenpräsenz in einem Raum zu entwickeln zur Planung von Lüftungsstrategien.

Die Frage die wir uns stellten lautet:

Kann man Anhand des CO₂-Messwerts feststellen,

wie viele Personen sich im Raum befinden?

Der Prozess der Präsenzerkennung soll durch Schülerinnen und Schüler entwickelt werden.

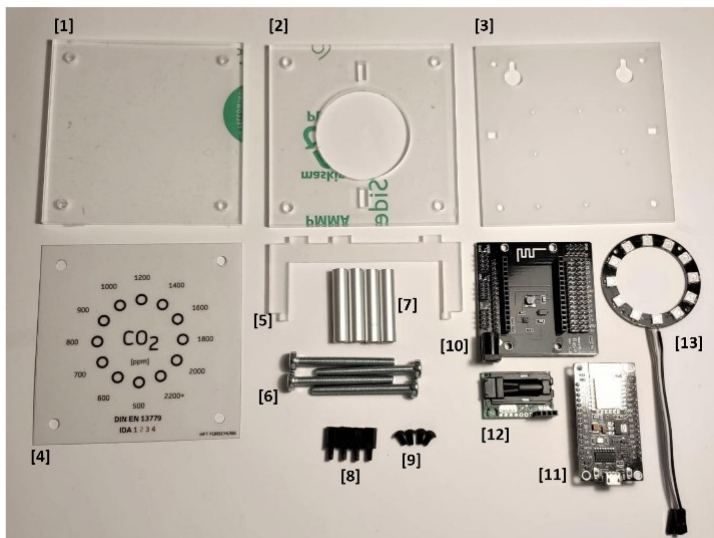
2 Methodenteil

Was ist ein CO₂ Ampel?

CO₂-Ampel | Bauanleitung

HFT-FORSCHUNG

Material Bausatz



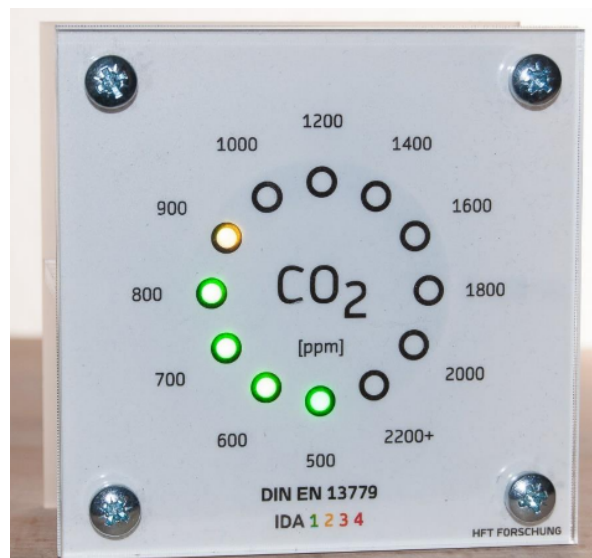
▪ Gehäuse bestehend aus:

- Frontplatte [1]
- LED-Halter (Zwischenplatte) [2]
- Rückplatte [3]
- Anzeigen Papier [4]
- Abstandshalter (optional) [5]
- 4 x Gewindeschrauben M5x50mm [6]
- 4 x Alu Distanzhülsen 8x1.0mm | 37 mm [7]
- 4 x Abstandsbolzen M3x10mm +6 [8]
- 4 x Platinen Schrauben M3x8mm [9]

▪ Sensor Komponenten bestehend aus:

- Breakout Board (NodeMCU V3 Base Plate) [10]
- ESP8266 (NodeMCU V3) [11]
- CO₂-Sensor (Sensirion SCD 30) [12]
- LED Ring (NeoPixel 12 x WS2812 RGB LED | 50 mm) [13]

CO₂-Ampel



Die HFT-CO₂-Ampel erfasst CO₂ in der Raumluft und zeigt mit einer LED-Skala an wann es Zeit ist zu lüften. Die Skala orientiert sich an der DIN EN 13779.

- Luftqualität Kategorie 1: die LEDs leuchten grün (bis 800 ppm)
- Luftqualität Kategorie 2: die LEDs leuchten gelb (900-1200 ppm)
- Luftqualität Kategorie 3: die LEDs leuchten orange (1200 bis 1600ppm)
- Luftqualität Kategorie 4: die LEDs leuchten rot (ab 1600ppm)
- Luftqualität Kategorie 4: die gesamte Skala blinkt rot (ab 2000ppm)

Bei orange ist Lüften empfohlen, bei rot ist Lüften dringend erforderlich!

Für die Messungen haben wir ein fertig montiertes und kalibriertes CO₂ Messgerät mit einer Speicherkarte, von unserem Informatiklehrer Herrn Pohler bekommen.

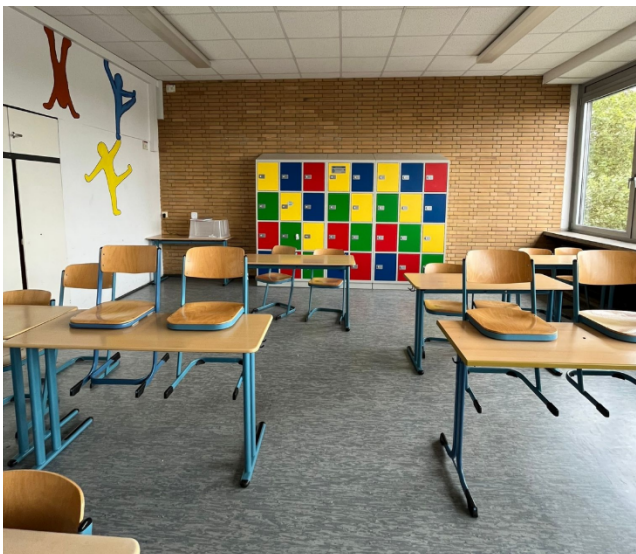
Wir haben bei unserem Projekt an verschiedenen Tagen zu unterschiedlichen Zeiten den CO₂ Gehalt in unserem Klassenraum gemessen.

Vorabüberlegungen:

Ein paar **Faktoren** die wichtig für die Berechnung sind:

- das **Raumvolumen**, in dem gemessen wird (geringeres Raumvolumen höher CO₂ Gehalt / Steigung)
- die **Temperatur** im Raum (Ausatmung bei Hitze mehr als bei Kälte)
- wie viel **Frischluft** im Durchschnitt in den Raum gelangt (Fensterstellung)
- der Körperbau der **Personen**: Größe, Gewicht etc. (CO₂ Ausstoß)
- die **Aktivitäten** der Personen, also ob sie sich bewegen und wenn wie viel oder ob sie stillsitzen (CO₂ Ausstoß)
- Dauer des **Aufenthalts** von Personen

Wir haben für unser Projekt das CO₂ Messgerät (Ampel) genommen und dieses in der hinteren linken Ecke des Klassenraums auf einen Schultisch platziert. Die Ampel ist ca. 6 m von dem nächsten Fenster entfernt und ca. 1,30 m hoch vom Boden aufgestellt.



Relevant für die Berechnung sind, das Raumvolumen und das Interieur das sich zur Zeit der Messung im Raum befindet.

Zur Berechnung haben wir den Raum und das Interieur vermessen.

Maße:	Länge	Breite	Höhe	Volumen
Raum:	9.50 m	6.76 m	3.26 m	209,36 m ³
Interieur gesamt:				4.44 m ³
Raumvolumen abzüglich Interieur:				204,92 m ³

Für unsere Berechnung ergab sich:

- Raumvolumen (nach Abzug der Raumausstattung): $\approx 205 \text{ m}^3$

Außerdem Ausschlag gebend ist die Personenanzahl zur Zeit der Messung im Raum.

- durchschnittliche Personenanzahl im Raum: **20 Personen**

Die Präsenzerkennung in Räumlichkeiten soll durch den CO_2 -Gehalt der Raumluft ermittelt werden. Steigt der CO_2 -Gehalt in einem konkreten Zeitraum an, kann es darauf zurückgeführt werden, dass der Raum genutzt wird. Durch die Steigung der CO_2 -Belastung in einem Raum über einen Zeitraum soll dann die Anzahl der Personen abgeschätzt werden kann.

Inbetriebnahme des CO_2 -Messgeräts:

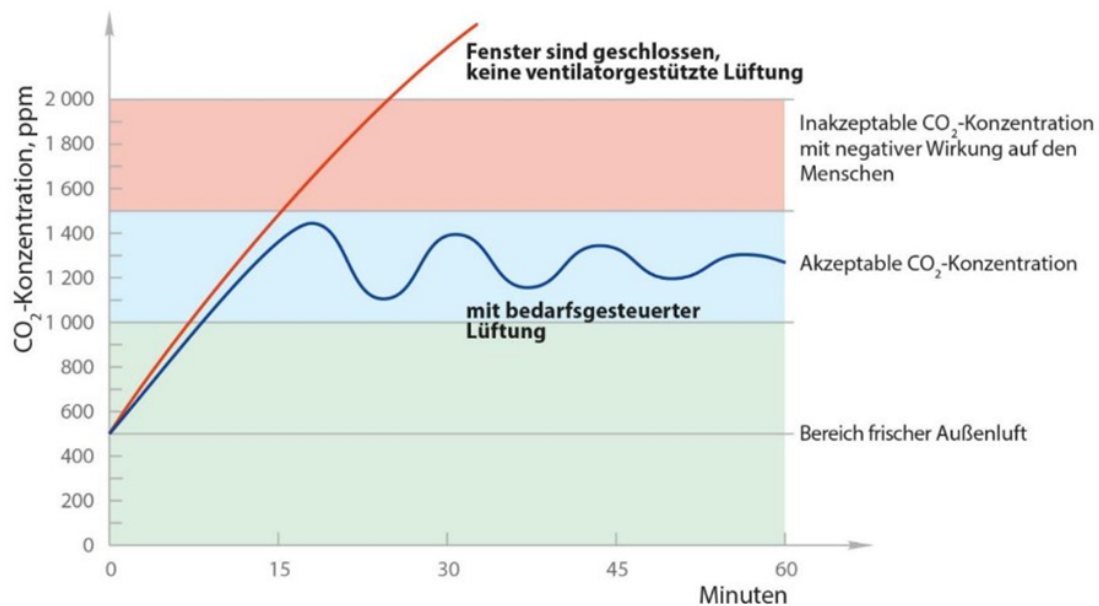
Das CO_2 -Messgerät haben wir zunächst mit einem Stromkabel in einer Steckdose aktiviert. Nachdem das Gerät hochgefahren ist verbindet man sich über ein, von diesem Gerät ausgehendem, eigenständigem W-Lan mit einem passenden Endgerät. Wenn man verbunden ist löscht man die alten Daten, stellt das richtige Datum und die aktuelle Uhrzeit für die Messung von CO_2 in ppm ein. Jetzt kann man mit dem Messen beginnen und sollte währenddessen Notizen zu der Anzahl der Personen im Raum und dem Lüftungsverhalten machen. Nachdem die Stunde vorbei ist, speichert man die Messungen, trennt das Endgerät vom W-Lan des CO_2 -Messgeräts und kann die gemessenen Daten mit den bereits gefertigten Notizen vergleichen.

Hier ein Beispiel, wie eine Messung des Gerätes in einem Tabellenkalkulationsprogramm aussehen könnte:

	A	B	C	D
1	Sensor Zeit	CO_2 Konzentration	Temperatur	Feuchtigkeit
2	Datum und Uhrzeit	ppm	c°	%
3	2023-08-16 11:01:23+01	960	27,5	63.7
4	2023-08-16 11:02:31+01	979	27,4	63.8
5	2023-08-16 11:03:38+01	998	27,4	62.1
6	2023-08-16 11:04:45+01	1010	27,3	61.8
7	2023-08-16 11:05:52+01	1018	27,3	62.0
8	2023-08-16 11:06:59+01	1028	27,2	61.9
9	2023-08-16 11:08:06+01	1033	27,2	62.2
10	2023-08-16 11:09:13+01	1046	27,1	61.8
11	2023-08-16 11:10:20+01	1055	27,1	61.9
12	2023-08-16 11:11:27+01	1071	26,9	61.5
13	2023-08-16 11:01:23+01	1119	26,9	61.8

3 Ergebnisse

Das folgende Diagramm zeigt die CO₂-Konzentration in Abhängigkeit des Lüftungsverhaltens.



Die CO₂-Konzentration in Räumen kann Auswirkungen auf den Körper und dem entsprechend Folgen für das Wohlbefinden und die Gesundheit haben.

CO ₂ - Konzentration	Auswirkungen auf den Körper
410 ppm	Normaler Bereich in der Atmosphäre im Freien
410-1000 ppm	Normalbereich in Innenräumen
1000-2000 ppm	Kopfschmerzen, Müdigkeit, Beeinträchtigung der Konzentration, verringerte kognitive Fähigkeiten
2000-5000 ppm	Schwerere Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsprobleme, Übelkeit, erhöhtes Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen
5000 ppm oder mehr	Symptome wie Ohnmacht, Verwirrung, Atembeschwerden, Krämpfe, möglicherweise lebensbedrohlich

Berechnungsüberlegung bei den folgenden Voraussetzungen:

Der CO₂-Gehalt der Ausatemluft liegt bei 4 Prozent, also **40 Milliliter CO₂ pro Liter Luft**.

Bei einem Raumvolumen von **205,00 m³** und bei der Annahme, dass pro Person im Ruhezustand, bei benötigten **5 Litern** Luftbedarf pro Minute durch die Ausatmung (CO₂ Ausstoß) konstant **4%** CO₂-Gehalt pro Liter Luft in den Raum fließen und mit unbekannter Frischluftzufuhr, den CO₂-Ausstoß pro Minute pro Person im Ruhezustand pro Liter Luftbedarf mit Raumbezug. Dieser errechnete Wert kann dann mit der Personenzahl die sich im Raum befindet multipliziert um den CO₂ Ausstoß aller im Raum vorhandenen Personen zu ermitteln.

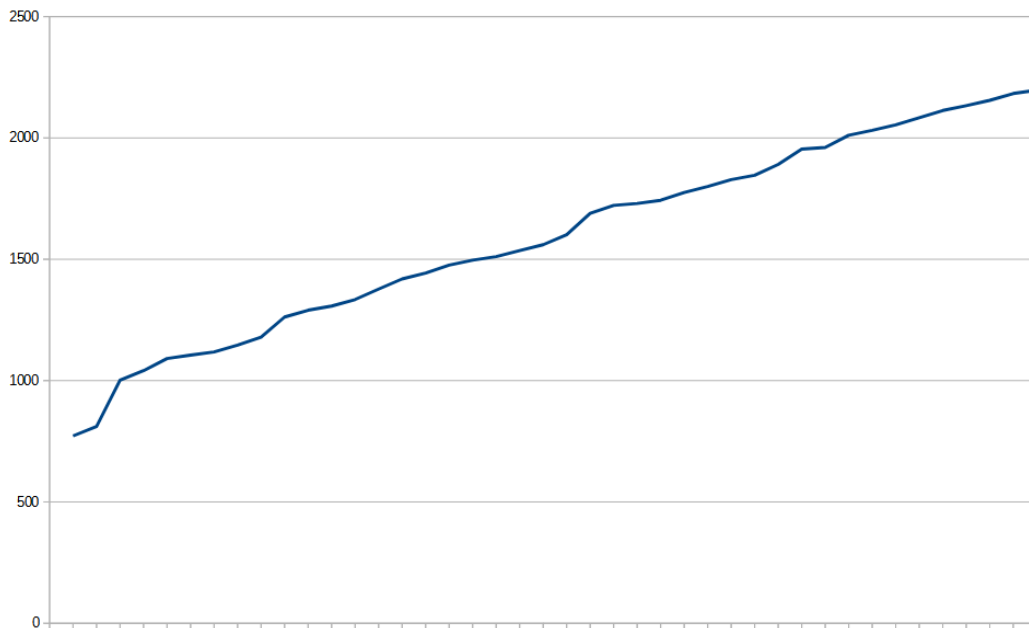
Bei der Messung des CO₂-Gehaltes der Luft gibt es den Startwert, das ist der CO₂-Gehalt im Raum am Anfang der Messung, auf diesem wird die Messung in einem bestimmten Zeitfenster aufgebaut und durch die Differenz der ppm Werte im Messungszeitraum kann man auf den durchschnittlichen CO₂ Anstieg pro Person schließen.

Die genaue Messung der Personenanzahl wird durch die variablen Körpervolumina der Personen, ihrer Aktivitäten und dem Luftstrom im Raum sowie der veränderbaren Menge an Interieur erschwert.

Wir haben im Zeitraum vom 12.08. - 30.08.23 verschiedene Messwerte gesammelt.

Grafiken zu unseren Messungen:

Anhand unserer Messungen konnten wir bei geschlossenen Fenstern eine nahezu lineare Steigung des CO² Gehalts erkennen, wie die anschließende Grafik zeigt.



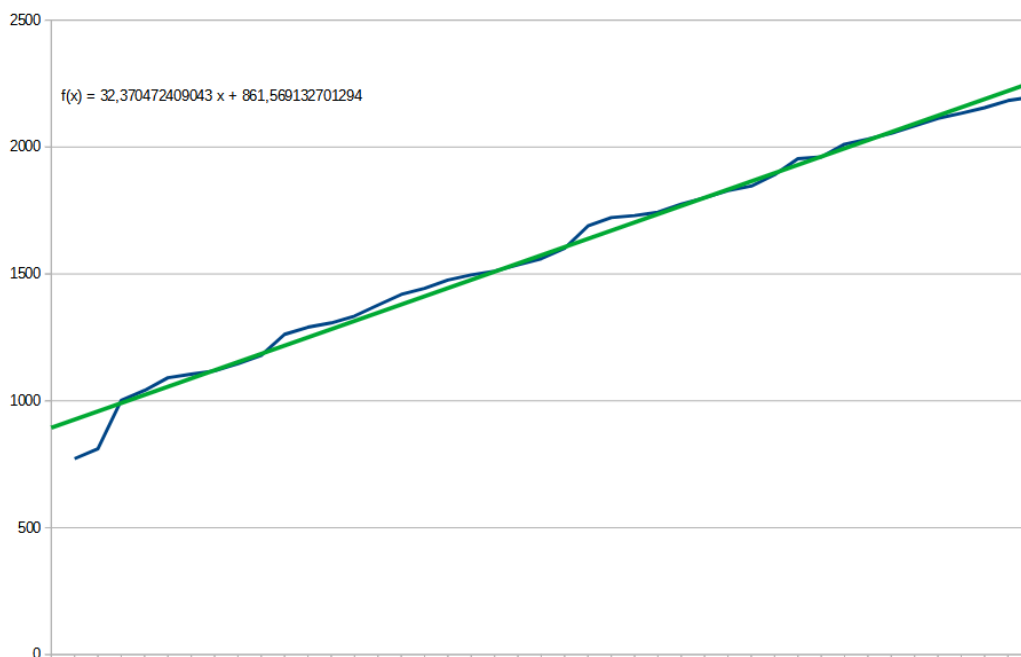
(Abb. 1)

Bei dieser Messung waren zunächst 19 Schüler/-innen und 1 Lehrer/-in im Raum und nach 25 Minuten kam ein/-e weitere/-r Schüler/-in hinzu.

Die Messung erfolgte bei 27°C Außentemperatur.

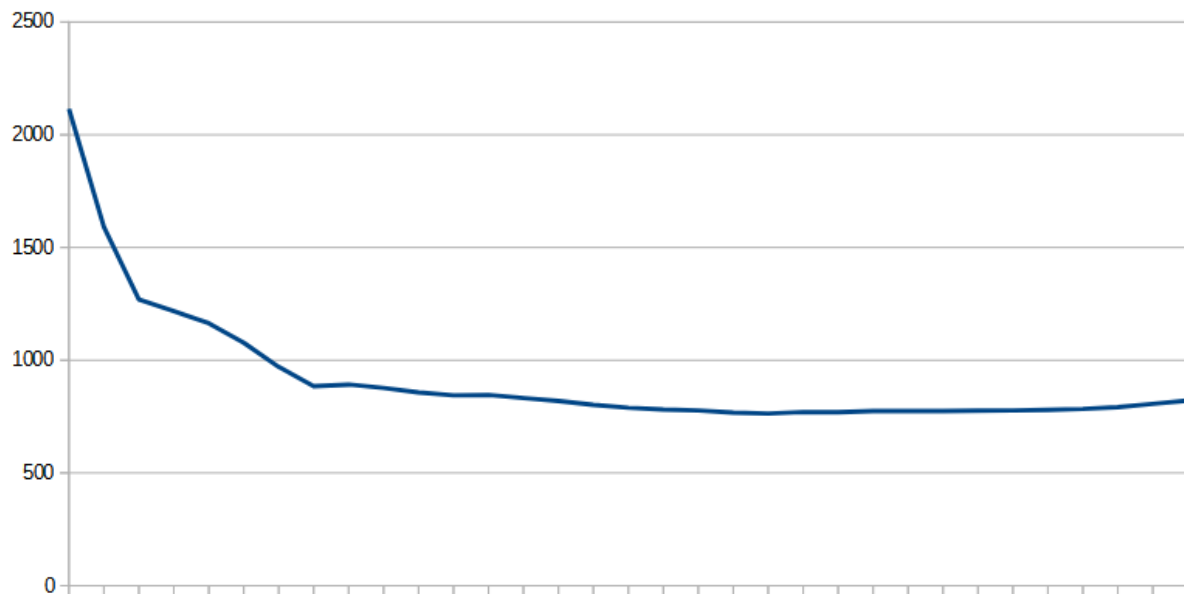
Die Grafik zeigt eine 40-minütige Messung bei der auf der Y-Achse der CO² Wert in ppm und auf der X-Achse die Zeit dargestellt ist.

Der blaue Graph in der nachkommenden Grafik ist der aktuelle CO² Wert in ppm und die grüne Linie ist eine sogenannte Trendlinie, welche die durchschnitts Werte des blauen Graphen darstellt.



(Abb. 2)

Die folgende Grafik zeigt die Fortsetzung der ersten Grafik mit einem komplett geöffneten Fenster und vier weiteren Fenstern die auf Kipp geöffnet sind.



(Abb. 3)

Diese Grafik zeigt eine 30-minütige Messung mit gleichbleibender Personenanzahl von 22 Personen im Klassenzimmer.

Anhand dieser Grafik lässt sich erkennen, dass der CO² Wert in ppm innerhalb von 10 Minuten nach Öffnung der Fenster auf einen Wert von 800 ppm sinkt und anschließend um diesen Wert pendelt.

Sensor Zeit	CO2 Konzentration	Differenz
Datum und Uhrzeit	ppm	ppm
2023-08-17 09:07:49+01	772	
2023-08-17 09:08:56+01	811	39
2023-08-17 09:10:03+01	1002	191
2023-08-17 09:11:11+01	1041	39
2023-08-17 09:12:18+01	1091	50
2023-08-17 09:13:25+01	1105	14
2023-08-17 09:14:32+01	1118	13
2023-08-17 09:15:39+01	1146	28
2023-08-17 09:16:46+01	1179	33
2023-08-17 09:17:53+01	1262	83
2023-08-17 09:19:00+01	1290	28
2023-08-17 09:20:07+01	1307	17
2023-08-17 09:21:14+01	1334	27
2023-08-17 09:22:21+01	1377	43
2023-08-17 09:23:28+01	1419	42
2023-08-17 09:24:35+01	1443	24
2023-08-17 09:25:42+01	1476	33
2023-08-17 09:26:49+01	1496	20
2023-08-17 09:27:56+01	1511	15
2023-08-17 09:29:03+01	1536	25
2023-08-17 09:30:10+01	1560	24
2023-08-17 09:31:17+01	1601	41
2023-08-17 09:32:24+01	1689	88
Differenz der ppm Werte im Messungszeitraum	917	
Mittelwert der Differenz der ppm Werte Differenz im Messungszeitraum	=>	41,68

Tabelle einer Messreihe Mit Differenzwerten und Mittelwert

4 Diskussion

Zu unserer Fragestellung bekamen wir kein eindeutiges Resultat. Die Möglichkeit, die Anzahl an Personen in einem Raum, durch die Messung des CO₂-Wertes darzulegen bzw. berechnen zu können ist von vielen nicht erfassbaren Faktoren abhängig.

Durch die Ausweitung von CO₂-Meldern auf weitere Räume in der Schule, vielleicht auch mit integrierten Bewegungssensoren und einer akustischen Ermahnung, wenn die CO₂-Konzentration steigt, kann die CO₂-Billanz in Schulen sicherlich schon verbessert werden.

Eventuelle Nachteile durch das Messgerät sind höhere Heizkosten im Winter, verursacht durch die Notwendigkeit immer wieder bei geöffnetem Fenster den CO₂-Gehalt im grünen Bereich zu halten, da die Konzentration in Räumen im Winter durch die geringeren Temperaturen höher ist. Ablenkung bringt vielleicht auch die Störung im Unterricht durch die Notwendigkeit der Fensteröffnung, wenn der CO₂-Melder mahnt. Außerdem wird Strom verbraucht, was bei großem Einsatz an Geräten, zu höheren Kosten führen kann. Letztlich ist die falsche Platzierung im Raum auch nachteilig, da der CO₂ Gehalt dann falsch angezeigt wird. Genaue Anweisung und deren Umsetzung zur Positionierung der Geräte sind hier entscheidend, um zu verhindern, dass Geräte an der falschen Stelle installiert werden.

Voraussetzung, um vor allem bei kalten Temperaturen in einen angenehm gewärmten Klassenraum lernen zu können, wäre eine zeitlich automatisierte Schaltung, die den Heizkörpern, die mit einer automatischen "Fenster-Auf-Erkennung" ausgestattet sein sollten, mehrere Minuten vor Unterrichtsbeginn erlauben den Raum zu erwärmen, wodurch nur planmäßig besetzte Räume geheizt werden und somit Energie gespart werden kann.

Um diesen Plan umzusetzen ist noch ausgiebige Forschung nötig, aber alleine die Verwirklichung dieses Zieles ist nicht ausreichend, um den optimalen ökologischen Fußabdruck des Humboldtgymnasiums zu erlangen, da unter anderem trotz der Dämmung des Mauerwerkes und der Fenster, ein Großenteil der, durch die Heizkörper entwickelten Wärme nach kurzer Zeit in die Umwelt freigesetzt wird.

Jedoch wäre die Realisation des Zieles ein deutlicher Fortschritt zur Verbesserung des CO₂-Nachhaltigkeitscontrollings für das Humboldtgymnasium Solingen.

5 Fazit

Die CO₂-Konzentration im Klassenraum hängt im Wesentlichen von der Anzahl der Personen im Raum, deren Aktivität, dem Raumvolumen, der Aufenthaltsdauer und dem Luftwechsel durch Fenster ab.

Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass sich durch gründliche Stoßlüftung in den Pausen und Fenster in Kippstellung während des Unterrichts eine gute Raumluftqualität realisieren lässt.

Daraus folgt, dass sich der CO₂ Verbrauch durch Anzeigen der CO₂-Messgeräte und die damit verbundene Erinnerung an regelmäßige Sauerstoffzufuhr durch Lüften optimieren lässt.

6 Danksagung

Wir bedanken uns bei der HFT (Hochschule für Technik) Stuttgart für die zur Verfügung gestellten Messgeräte und das Arbeitsmaterial, beim Humboldtgymnasium für die

Ermöglichung des Projektes und bei unserm Informatiklehrer Herrn Pohler für die Durchführung in unserer Klassenstufe.

7 Weitere Angaben

Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung & Forschung

Förderkennzeichen: 13FH91061A

Juli 2023

Hochschule für Technik Stuttgart

8 Literaturverzeichnis

- UDigiT4iCity – Schulprojekt der HFT Stuttgart
- UK NRW
- GEO-Wiki

9 Autor:innen

- Collin 10D
- Nolan 10D