

(Aiyana, Karen, Tobias)

Bestimmung der Personenpräsenz in Räumen anhand von CO_2 -Messungen - Projekt UDigiT4iCity

Karen Dalati, Tobias Wendel, Aiyana Ibrahimi

Schlüsselwörter

- CO_2
- Personenpräsenz
- Optimierung der Lüftungszeiten

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
- 1.1 Forschungsfrage
- 1.2 Stand der Forschung
1. Methodenteil
2. Ergebnisse
3. Diskussion
4. Fazit

1. Einleitung

Frischluft ist für den Menschen nicht nur bei hoher körperlicher Aktivität wichtig, sondern auch im entspannten Zustand. Dies ist dadurch erwiesen, dass man bei zu langem Aufenthalt in geschlossenem Raum durch die exponentielle Konzentration von CO_2 gesundheitliche Schäden erlangt; grundsätzlich sollte ein CO_2 -Gehalt von 1000 ppm am besten nicht überschritten werden. Um so eine Situation zu verhindern, ist es notwendig, die Räumlichkeiten regelmäßig zu lüften.

Besonders in der Schule ist es für Schüler wichtig, dass eine ausreichende Menge an sauberer Luft geboten wird, da man sich über einen längeren Zeitraum mit einer relativ hohen Personenanzahl im Innenraum befindet. Dazu kann die Erkennung von Personenpräsenz einiges beitragen. Wir haben uns mit der Erfassung dieser anhand des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes des Humboldt Gymnasium Solingen beschäftigt, die zur Optimierung des Energieverbrauchs unserer Schule dienen sollte.

Der aktuelle Forschungsstand ist, dass dies schon möglich ist. Bisher wurden schon einige Forschungen im Hinblick darauf durchgeführt, die ähnliche Ergebnisse dazu brachten.

In dieser Dokumentation wird über die Bestimmung der Personenpräsenz anhand der CO_2 -Messwerte im Raum berichtet. Diese soll zur Optimierung der

Lüftungszeiten und Heizungsverwendung beitragen. Dafür wurde der CO_2 -Gehalt in einem Klassenraum in Betracht auf verschiedene Aspekte gemessen und analysiert, hinführend zur Entwicklung eines Ansatz zur Berechnung der Personenanzahl. Wir sind zu dem Ergebnis gekommen, dass man tatsächlich die ungefähre Personenpräsenz mit der Kenntnis des Raumvolumen und CO_2 -Anteil ermitteln kann.

2. Methodenteil

Die Forschung haben wir im **Raum 313 des Humboldtgymnasiums Solingen** durchgeführt. Dieser befindet sich in der dritten Etage, mit dem ungefähren Volumen von 205 m^3 mit sieben Fenstern, dessen Größe jeweils ca. 2 m^2 beträgt. Zur Messung des CO_2 -Ausstoßes haben wir ein uns von der HfT Stuttgart zur Verfügung gestelltes Gerät genutzt, welches mit einem eingebauten CO_2 -Sensor ausgestattet war. Diesen haben wir in unserem Klassenraum auf einen Tisch mit ca. einem Meter Höhe platziert und mit ihm während des Unterrichts über den Zeitraum vom 11.08.2023 bis zum 30.08.2023 den CO_2 -Gehalt gemessen. Zur Messung haben wir die CO_2 -Ampel mit unseren digitalen Endgeräten verbunden und jeweils am Anfang des Unterrichts angeschaltet und am Ende die Datei mit den Werten gespeichert.

Wir haben bei jeder Messung einige **Merkmale** zur derzeitigen Situation im Klassenzimmer notiert, wie beispielsweise die Temperatur und die Anzahl an geöffneten Fenstern, darunter auch die Personenanzahl, um später die ausgerechnete Menge mit der tatsächlichen zu vergleichen. Der CO_2 -Gehalt in der Luft wurde in ppm gemessen, sogenannte „parts per million“, also die Anzahl der Teile pro Million Teile.

Als nächste Stufe haben wir die Messwerte an verschiedenen Tagen miteinander **verglichen**, beispielsweise an regnerischen, an besonders warmen, schwülen Tagen, mit verschiedenen langen Lüftungszeiten und abwechslungsreicher Lüftungsquantität, jedoch auch die bei körperlicher Anstrengung, wie z.B. nach dem Sportunterricht. Mit Tabellenkalkulation und graphischer Darstellung der Werte erschufen wir uns dann einen Überblick über die verschiedenen Werte und dessen Veränderung im Laufe der Zeit sowie das durchschnittliche Lungenvolumen. Dabei haben wir mit den erfassten Daten eine lineare Funktionsgleichung aufgestellt, die den konstant steigenden CO_2 -Anteil im Raum bei geschlossenen Fenstern darstellt.

So haben wir analysiert, wie verschiedene **Faktoren** Auswirkung auf die CO_2 -Messung bzw. Erkennung der Personenpräsenz haben.

Anschließend haben wir mit Berücksichtigung der genannten Aspekte einen Rechenansatz entwickelt, der die Personenpräsenz anhand des CO_2 -Messwertes erfasst und insgesamt gewertet.

3. Ergebnisse/Messungen

Wir haben das Volumen unseres Klassenraumes gemessen. Dazu haben wir die Maße gemessen und somit das Volumen berechnet. Wir sind auf ein Ergebnis von ca. $205m^3$ gekommen.

Wir haben die CO_2 -Konzentration in unserem Klassenraum an verschiedenen Tagen während des Unterrichts mit der CO_2 -Ampel gemessen. Hier nun einige beispielhafte Messreihen:

In der folgenden Grafik (Abb.1.1) waren die Fenster durchgehend geschlossen, bis zur Hälfte der Messreihe waren 20 Personen im Raum, danach 21. Die Messreihe besteht aus 42 einzelnen Messungen.

x-Achse = Zeit (jede Markierung steht für 1 Minute und 7 Sekunden)

y-Achse = CO_2 -Konzentration in ppm (parts per million)

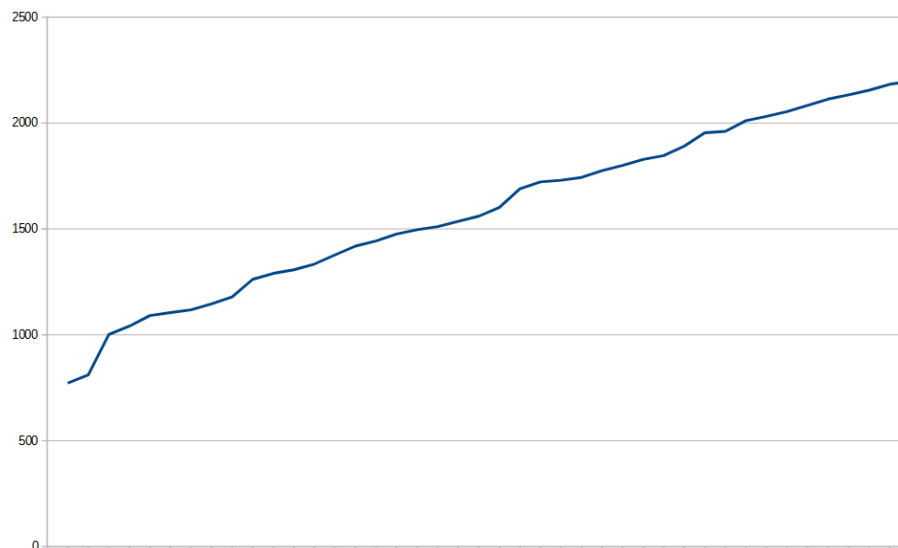


Figure 1: Abb.1.1.png

Es lässt sich ein ziemlich lineares Wachstum der CO_2 -Konzentration feststellen.

Dieses kann durch eine Trendlinie dargestellt werden (Abb.1.2):

Blaue Linie = Messwerte

Grüne Linie = Trendlinie

Die Trendlinie weicht nur geringe Abweichungen zur Messreihe auf, da der Graph der Messreihe einigermaßen linear verläuft.

In dieser Grafik (Abb.2) wurden die Fenster geöffnet (1 war komplett offen, 4 Fenster wurden angeklappt). Es waren immer noch 21 Personen.

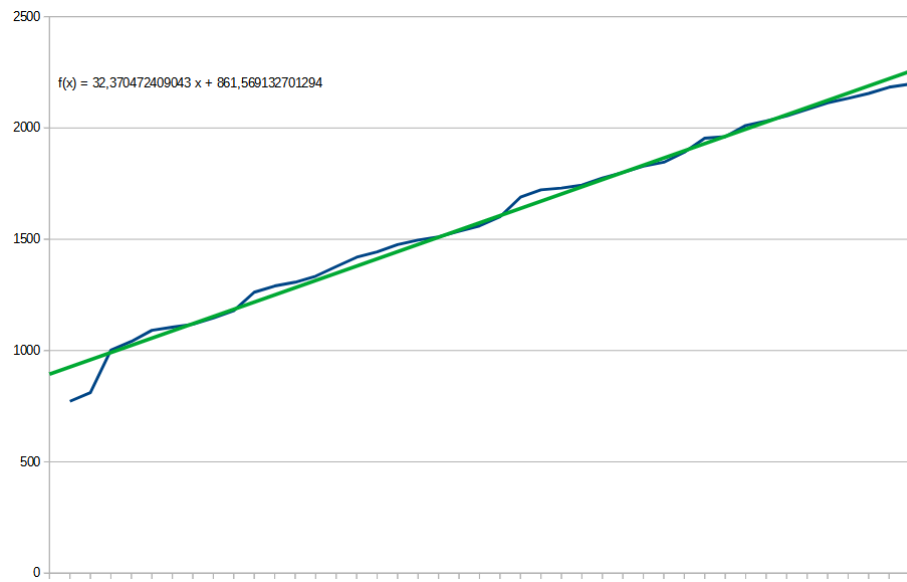


Figure 2: Abb.1.2.png

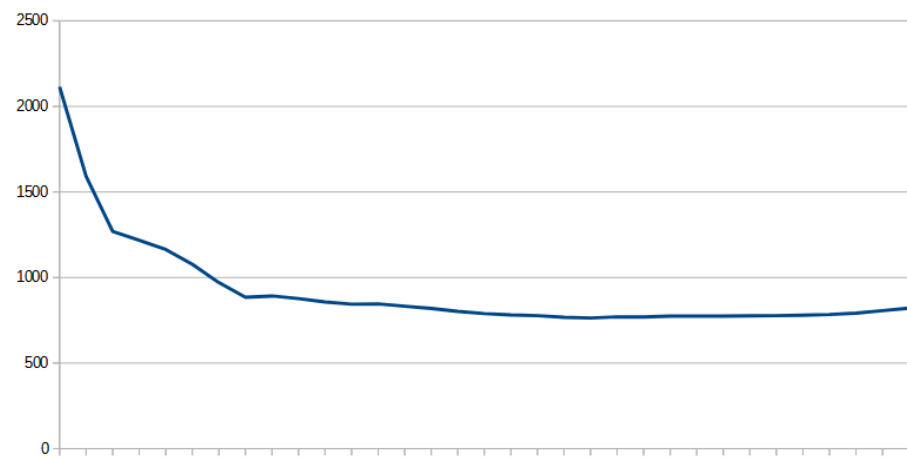


Figure 3: Abb.2.png

Die CO_2 -Konzentration beginnt bei ca. 2100ppm, nimmt erst sehr stark ab, diese Abnahme an CO_2 wird dann jedoch immer schwächer, bis sie bei 800ppm ungefähr gleich bleibt und nur geringe Änderungen aufweist.

Zunächst wird anhand der Messwerte berechnet, wie hoch der CO_2 -Verbrauch pro Person während der Messungen war.

In der oben angegebenen Messreihe (Abb.1.1 und Abb.1.2) waren ca. 20 Personen (siehe oben) im Raum. Die Messreihe besteht aus 42 Messungen im Abstand von 67 Sekunden. Der Zeitabstand zwischen dem ersten und dem letzten Messwert beträgt also $67 \cdot 41 = \mathbf{2747}$ Sekunden, das sind ungefähr 45 Minuten. Der erste Messwert beträgt **772** ppm CO_2 . Der letzte Messwert beträgt **2197** ppm CO_2 . Das ist ein Abstand von $2197 - 772 = \mathbf{1425}$ ppm CO_2 . Das entspricht einer CO_2 -Produktion pro Kopf von 71,25 ppm CO_2 in 45 Minuten, pro 60 Minuten entsprechen das 95 ppm CO_2 pro Person. Pro Kubikmeter Luft müsste man diesen Wert durch das Raumvolumen teilen.

$95 \text{ ppm } CO_2 / \text{Person} / 1\text{h} / 205\text{m}^3 \approx \mathbf{0,5 \text{ ppm } CO_2 \text{ pro Person pro Stunde pro Kubikmeter Luft.}}$

4. Diskussion

Als Nächstes werden unsere Resultate der Forschung diskutiert, weitere Forschungsvorschläge genannt und auf das Ziel bezogen interpretiert.

Unsere **Hypothese** ist, dass viele verschiedene Faktoren die CO_2 -Produktion beeinflussen. Dazu zählt der Zustand und die Merkmal der Menschen und des Raumes. Im Rahmen unserer Forschung hat sich die Hypothese grundsätzlich bestätigt.

Zu beachten ist, dass es **Limitationen bei der Erfassung von Messungen** gab: zum einen, dass folgende Dinge aufgrund von verschiedenen Begrenzungen nicht miteinbezogen werden konnten, wie z.B. die Tatsache, dass es zur Zeit des Projekts mitten im Sommer war. Aufgrund dessen ist uns unbekannt, ob die Messungen andere Werte angezeigt hätten, wenn dieses Projekt in einer anderen Jahreszeit durchgeführt worden wäre. Dazu stimmten die meisten Lehrer*innen infolge der hohen Temperaturen ungern oder gar nicht zu, die Fenster für eine bestimmte Zeit geschlossen zu halten, sodass es uns nur selten gelang, gebräuchliche Daten zu erlangen.

Darüber hinaus war es nicht möglich, den Zustand jeder einzelner Testperson exakt zu erfassen und miteinzubeziehen. Darunter zählt dessen genaues Gewicht, Körpergröße und wie viel CO_2 sie jeweils, sei es pro Minute, verbraucht.

Zudem konnten wir nur eine geringe Zahl gebräuchliche Daten erfassen, da unsere CO_2 -Ampel nach einiger Zeit nicht mehr funktionierte.

Diese Tatsachen führten zu den etwas fehlerhaften und auch nicht vielen Ergebnissen.

Um dieses Projekt also weiter hinauszuführen, würden wir diese grundsätzlichen Informationen für **genauere Daten** präziser recherchieren, beispielsweise eine

akkuratere Messung des Raums, um die genaue CO_2 -Raumkapazität zu erhalten oder das Lungenvolumen an die jeweiligen Schüler:innen angepasst zu verwenden. Außerdem würde es bedeutsame Kenntnisse erbringen, das Projekt über einen beträchtlich größeren Zeitraum durchzuführen - auch zu anderen Jahreszeiten - um in höheren Maßen an die Realität angenäherte Ergebnisse zu erhalten.

Eine interessante **Erweiterungsmöglichkeit** für das Projekt wäre es, wenn man untersucht, welchen Einfluss Pflanzen auf die CO_2 -Entwicklung im Raum haben.

Eine weitere Möglichkeit wäre, zu untersuchen, wie die Schulfächer sich in den CO_2 -Werten unterscheiden.

Das **Ziel des Projektes** war es, den Heizungsverbrauch unserer Schule zu optimieren. Daher stellt sich die Frage, wie die CO_2 -Messungen dazu dienen können.

Ein CO_2 -Messgerät könnte zum Beispiel voraussagen, wann die Fenster geöffnet werden sollten und die Heizung vorher ausschalten, damit möglichst wenig Heizluft sofort nach draußen verschwindet.

Das Projekt wäre auch gut **kombinierbar mit Systemen**, die erkennen, wie viele Leute sich in der Regel zu bestimmten Zeiten in einem Raum aufhalten und wann die Fenster meistens geöffnet werden. Dadurch könnte das System die Heizungen zu bestimmten Zeiten ein- und ausschalten. Zum Beispiel kann es kurz vor dem Unterricht den Raum auf eine bestimmte Temperatur heizen. Wir gehen davon aus, dass dadurch der Heizungsverbrauch noch weiter gesenkt werden kann.

Neben dem Projekt wäre es für den Heizungsverbrauch auch sinnvoll, unserer Schule eine bessere **Dämmung** einzubauen.

5. Fazit

Wir kommen zu dem Fazit, dass man die Forschung definitiv **präzisieren** kann, indem wir zuvor genauere Messungen zu bestimmten Faktoren der CO_2 -Produktion vornehmen. Jedoch sind bestimmte Faktoren vorher und währenddessen nicht messbar, wie z.B. die Aktivität der Personen im Raum. Somit entstehen sehr verschiedene Ergebnisse.

Man kann das Projekt noch **erweitern**, zum Beispiel kann man untersuchen, was Bepflanzung für Auswirkungen hat.

In Hinblick auf das **Ziel des Projektes** kann ein CO_2 -Messgerät durchaus dazu dienen, den Heizungsverbrauch zu verringern, indem es untersucht, wann die Fenster geöffnet werden sollten, und die Heizung daran anpassen.

Es wäre auch sinnvoll, ein **System** einzubauen, welches erkennt, wann sich in der Regel Personen im Raum befinden und anhand dessen den Bedarf voraussagt und die Heizung ein- und ausschaltet.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Hochschule für Technik (HfT) Stuttgart für die Versorgung mit dem CO_2 -Messgerät, wodurch wir die Forschung durchführen konnten, und bei unserem Informatik-Lehrer für die Hilfsbereitschaft.