

Dokumentation CO2

Einleitung

Autorinnen (alphabetische Sortierung): *****, *****

Dieses Paper ist durch ein Projekt der Hochschule für Technik Stuttgart in Kooperation mit dem Mathe-Informatik Kurs der 10. Stufe des Humboldtgymnasiums Solingen entstanden.

Abstract:

In diesem Paper befassen wir uns mit dem Verhältnis zwischen der Personenzahl und dem CO₂-Gehalt in einem Raum. Zusammengefasst haben wir herausgefunden, dass sich, wenn das Raumvolumen, sowie die Steigung des CO₂-Gehalts in ppm (Parts per million) pro Minute bekannt sind, auf die ungefähre Anzahl der Personen, die sich in diesem Raum befinden, schließen lässt.

Keywords:

- CO₂
- Nachhaltigkeit
- Technik

Einführung:

Die leitende Frage bei unserem Projekt war, ob sich durch den CO₂-Gehalt in einem Raum auf die Anzahl der Personen die sich in diesem Raum befindet schließen lässt. Diese haben wir im Zusammenhang mit der Überlegung, ob eine Steuerung der Heizungen in Bezug auf die, mithilfe des CO₂-Gehalts ermittelte, Personenzahl sinnvoll ist.

Bis jetzt wurde der CO₂-Ausstoß von Menschen zwar untersucht, aber es sind keine validen Daten zu darauf basierenden Heizungssteuerungen bekannt.

Methodenteil

Um die Forschungsfrage zu beantworten haben wir eine Reihe von Messungen durchgeführt, bei der wir an mehreren unterschiedlichen Tagen für je zwanzig bis dreißig Minuten den CO₂-Gehalt in einem Testraum mit einer CO₂-Ampel gemessen und dabei sowohl minütlich den CO₂-Gehalt der Luft, als auch die Anzahl der Menschen im Testraum protokolliert haben.

Um repräsentative Ergebnisse zu generieren wurden im Testraum für besagten Zeitraum die Fenster und Türen geschlossen, um einen Luftaustausch zu verhindern und nutzbare Messwerte zu generieren.

Von unseren Messwerten waren fünf nutzbar, da bei den anderen, durch Öffnen der Fenster oder Türen die Daten verfälscht wurden.

Der Testraum war in unserem Fall ein Klassenraum, dessen Raumvolumen näherungsweise 189,5 m³ entspricht. Das Raumvolumen setzt sich aus dem Grundvolumen des Raums von 192,963 m³ und dem Negativvolumen der Gegenstände in diesem Raum, zum Beispiel Tische, Stühle oder Fensterbänke von

3,917 m3.

Bei dem von uns zur Messung der CO₂-Werte genutzten Gerät, der CO₂-Ampel, handelt es sich um ein Gerät der Hochschule für Technik Stuttgart, das den CO₂-Gehalt in einem Raum in parts per million bestimmt.

Dieses haben wir in etwa auf Kopfhöhe der meistens sitzenden Personen installiert und an das Stromnetzwerk angeschlossen.

Zu Beginn jeder Messreihe haben wir die CO₂-Ampel mit einem digitalen Endgerät über WLAN verbunden und die Verbindung während der Messdauer aufrecht gehalten, um die Messwerte zu übertragen. Am Ende der Messdauer haben wir das entstandene Dokument mit den Messdaten gespeichert.

Ergebnisse

Im August 2023 haben wir vom 11. bis zum 30. des Monats während des Unterrichts Messreihen aufgenommen, in denen wir den CO₂-Gehalt der Luft in regelmäßigen Abständen, die jeweils eine Minute auseinander liegen, gemessen haben.

Um unsere Ergebnisse zu veranschaulichen haben wir diese in ein Tabellenkalkulationsprogramm eingegeben und Grafiken dazu erstellt. Die blaue Linie zeigt jeweils den gemessenen CO₂ Wert. Aufgrund ihres annähernd gleichmäßigen Verlaufs haben wir eine lineare Regressionslinie dazu erstellt, die in unserem Fall schwarz ist.

Außerdem haben wir eine Formel entwickelt, die zur Berechnung idealer Messwerte dient und so einen Vergleichswert zu den gemessenen Daten darstellen soll. Der Graph dazu ist hier in orange sichtbar.

$$\text{CO}_2\text{-Wert} = (\text{CO}_2 \text{ pro Person pro Minute} * \text{Personenanzahl} / \text{Raumvolumen}) * \text{Zeit in Minuten} + \text{CO}_2 \text{ Wert bei Minute 0}$$

In unserem Fall war das:

$$\text{CO}_2\text{-Wert} = (360 \text{ ppm} * \text{Personenanzahl} / 189,5 \text{ m}^3) * \text{Minutenzahl} + \text{CO}_2\text{-Wert bei Minute 0}$$

Zur Überprüfung der These, dass die Personenanzahl in einem Raum durch die Steigung des CO₂-Gehalts in selbigem Raum näherungsweise bestimmbar ist, haben wir eine Formel erstellt, mit der man die Personenanzahl berechnen kann, wenn die CO₂-Werte vorliegen:

$$\text{Personenanzahl} = (\text{y-Wert} - \text{y-Achsenabschnitt}) : \text{x-Wert} * \text{Raumvolumen} : \text{CO}_2 \text{ in ppm pro Minute}$$

(x-Wert = Zeit in Minuten; y-Wert = CO₂-Gehalt; y-Achsenabschnitt = CO₂-Gehalt bei Minute 0)

Mithilfe dieser Formel wurde nun die Personenanzahl für die bereits vorhandenen Wertepaare der Messwerte bestimmt. Und aus den Ergebnissen der einzelnen Wertepaare wiederum das arithmetische Mittel.

So kamen wir beispielsweise für den 14. August bei unserer Berechnung auf 33 Personen, obwohl es eigentlich 26 waren, und für den 17. August kamen wir auf gerundet 29, jedoch waren nur 21 Personen im Raum. Für den 29. August haben wir 33 Personen berechnet, es waren aber 23.

Wegen diesen zu hoch berechneten durchschnittlichen Personenanzahlen haben wir die Werte, die sich am nächsten an der orangenen Linie befinden genommen und mit diesen die Personenanzahl berechnet. Auf diesem Weg kamen wir für den 14. August bei Minute 10 auf 26 Personen, sowie für den 17. August bei Minute 24 auf zutreffende 21 Personen. Für den 29. August berechneten wir so bei Minute 23 26 Personen.

In der Regel glichen sich die gemessenen Werte und somit auch die daraus berechnete Personenzahl nach längerer Messdauer an die berechneten Werte an.

Hier noch ein paar weitere als Grafiken veranschaulichte Messreihen:

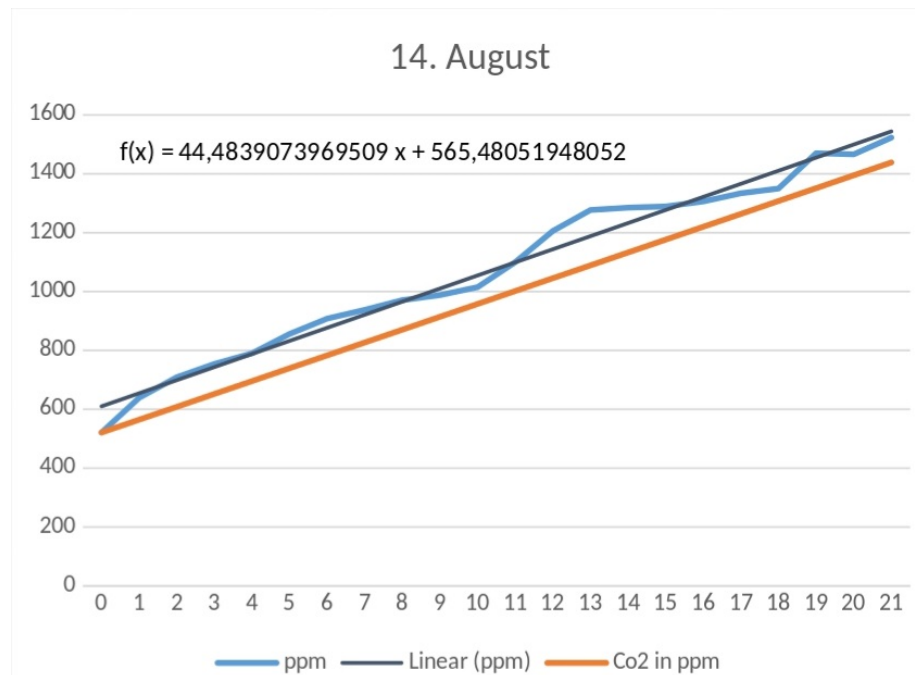


Figure 1: Messung14aug.png

In allen Grafiken kann man erkennen, dass der CO2-Gehalt der Luft in etwa linear ansteigt, es aber überall auch Abweichungen gibt. Die berechneten Werte stimmen nur annähernd mit den gemessenen überein.

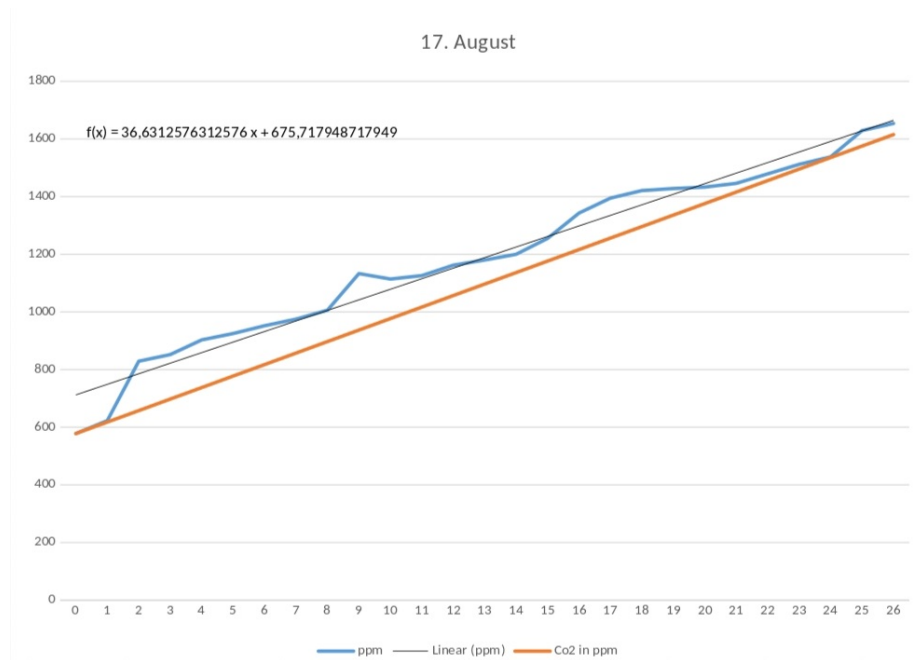


Figure 2: Messung17aug.png

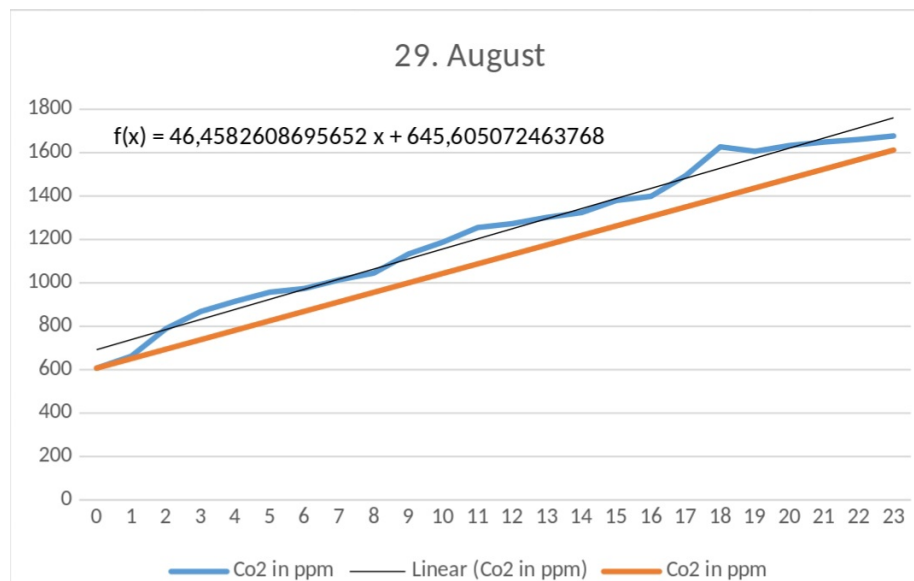


Figure 3: Messung29aug.png

Diskussion

Zusammenfassend kann man zum Ergebnisteil also sagen, dass sich mithilfe der Formel die Personenanzahl anfangs nur recht ungenau bestimmen lässt, das sich aber wahrscheinlich bei längeren Messreihen deutlich bessern würde, was wir daran erkennen, dass die berechneten Werte nach längeren Messungen eher mit den gemessenen übereinstimmen.

Basierend auf all unseren bisherigen Ergebnissen kommen wir zu dem Schluss, dass man mit konstanten CO₂-Messgeräten nach einer längeren Zeit durchaus eine ungefähre Schätzung der Personen in diesem Raum aufstellen kann und daraufhin die Heizleistung anpassen könnte.

Jedoch ist mit dem aktuellen Verfahren nur eine sehr näherungsweise Bestimmung der Personenzahl möglich, was es schwierig machen würde die Heizleistung genau auf eine bestimmte Anzahl von Personen anzupassen und in extremen Fällen zu einer gravierenden Unter- oder Überbeheizung führen könnte.

Aufgrund der scheinbaren Angleichung der errechneten Personenzahlen an die real anwesenden Personen mit längerer Messdauer würden wir im nächsten Schritt deutlich längere Messungen vornehmen, um diese These zu bestätigen.

Da wir es für möglich halten, dass die hohe Diskrepanz zu Beginn aus der vermehrten Bewegung am Beginn einer Unterrichtsstunde liegt, würden wir in einer weitem Messreihe einen Raum ohne Bewegung untersuchen.

Da die Abweichung zwischen den gemessenen und den errechneten Werten so hoch ist würden wir als weitem Schritt das Raumvolumen präzisieren, indem wir zum Beispiel die anwesenden Personen miteinbeziehen.

Außerdem würden wir bezüglich des Lungenvolumens, beziehungsweise des ausgeatmeten CO₂s pro Minute pro Person weitere Recherche betreiben, die auch auf die Altersgruppe der meisten anwesenden Personen (zwischen 14 und 16 Jahren) zugeschnitten wäre.

Davon erhoffen wir uns eine Annäherung der errechneten an die gemessenen Werte und daraus resultierend auch eine präzisere Berechnung der Personenzahl im Raum anhand der CO₂-Werte.

Obwohl nach diesen Maßnahmen eine fast fehlerfreie Anpassung der Formel zustande kommen könnte, basiert diese Methode auf einem für eine lange Zeit geschlossenen Raum, was in einer Schule und gerade nach der Corona-Pandemie nur eine sehr kleine Anzahl der Stunden widerspiegeln könnte, was zu massiven Störungen des Heizsystems führen könnte.

Sollte die These sich bestätigen, dass ein Teil der Diskrepanz aus der Bewegung im Raum resultiert, wäre auch das eine Schwierigkeit, da Bewegung in einem Klassenzimmer kaum auf längere Zeit unterbindbar ist.

In solchen Fällen wäre in jedem Fall eine Möglichkeit der manuellen Anpassung des Heizsystems vonnöten, außerdem weitere Untersuchungen unter realistischeren Bedingungen.

Schlussfolgerung

Nach einer ausführlichen Weiterführung dieser Untersuchungen und weiteren Anschlussuntersuchungen hinsichtlich realistischer Szenarien, die auch Luftzirkulation und Bewegung beinhalten, würden wir eine Installation eines CO₂ Messgeräts zur Optimierung des Heizsystems empfehlen.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Hochschule für Technik Stuttgart und dem Humboldt-gymnasium dafür, dass sie uns diese Untersuchungen ermöglicht haben.

Außerdem danken wir Herrn Pohler, dem Mathematik-Informatik-Diff-Kurs der Klassenstufe 10 und Herrn Otto und Frau Guedey von der HTF Stuttgart für Anregungen und Unterstützung bei Fragen.

Ganz besonders möchten wir uns auch bei der 10b des Humboldtgyrnasiums und unserem Lehrpersonal bedanken, die sich uns als Testpersonen zur Verfügung gestellt hat.