



Aufgabenbeschreibung der schulischen Projektbegleitung des iCity 2 Teil- projektes – UDigiT4iCity

Kaskadiertes Aufgabenbeschreibung für die Erfassung der Präsenzzeit mit Hilfe von CO2-Sensoren

Myriam Guedey
M. Sc. Robert Otto
Im Rahmen des Forschungsprojektes:
iCity 2 – Teilprojekt UDigiT4iCity

Gefördert durch:
Bundesministerium für Bildung & Forschung
Förderkennzeichen: 13FH91061A

Juli 2023
Hochschule für Technik Stuttgart

Hochschule
für Technik
Stuttgart

1. Vorwort

Der Gebäudesektor hat einen großen Einfluss auf den Klimawandel. Etwa 40% des weltweiten Energieverbrauchs entfallen auf den Betrieb von Gebäuden, und damit einhergehend entstehen etwa 30% der CO₂-Emissionen. Die Gebäudeinfrastruktur hat also einen enormen Einfluss auf die Umwelt und den Klimawandel. Daher ist es umso wichtiger, den Energieverbrauch in Gebäuden zu reduzieren und damit auch den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern. Eine Möglichkeit zur Reduktion des Energieverbrauchs besteht in der Energieeinsparung im Gebäude. Hierzu können unterschiedliche Maßnahmen eingesetzt werden, wie beispielsweise die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, die Verbesserung der Gebäudedämmung oder die intelligente Steuerung der Gebäudeinfrastruktur durch Präsenzerkennung und Energiemonitoring. Indem Gebäude energieeffizienter gestaltet werden, kann nicht nur ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet, sondern auch langfristig Geld gespart werden. Daher ist die Energieeinsparung im Gebäude ein äußerst sinnvoller Ansatz, um die Umweltbelastung durch den Gebäudesektor zu reduzieren und somit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Das Forschungsprojekt iCity 2 – UdiGiT4iCity beschäftigt sich im TP2 mit der Integration öffentlicher Gebäude und Infrastrukturen in Smart-City-Plattformen. Hierzu gehört der Use Case des energetischen Gebäudemonitorings des Humboldtgyrnasiums in Solingen. Hierzu werden bereits die Daten der Energiezähler für Wärme und Strom ausgelesen und gespeichert. Anhand der Präsenzerkennung, also ob ein Raum genutzt wird oder nicht sollen zukünftig in drei beispielhaft ausgestatteten Klassenzimmern die Thermostate automatisiert geregelt werden. Abschließend erfolgt die Untersuchung, ob diese Maßnahme zu signifikanten Energieeinsparung führt.

Ein wichtiges Element dieses Monitorings ist die Präsenzerkennung in Räumlichkeiten. Nur wenn diese effektiv funktioniert, können so massive Energieeinsparungen erfolgen. Aus diesem Grund soll hier auf unterschiedlich Sensorik zurückgegriffen werden. Ein Ansatz ist der CO₂ Gehalt der Raumluft. Steigt diese in einem bestimmten Zeitraum an, kann auf eine Nutzung des Raumes rückgeschlossen werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass durch die Steigung, also die Entwicklung der CO₂-Belastung in einem Raum über die Zeit, die Anzahl der Personen abgeschätzt werden kann. Dieser Prozess der Präsenzerkennung soll durch die Schülerinnen und Schüler des Humboldtgyrnasiums entwickelt

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort	2
2.	Grundlagen.....	4
2.1	Frischlufbedarf – Ein Überblick	4
2.2	CO2-Konzentrationen in Räumlichkeiten.....	4
2.2.1	Messung von CO2 in der Raumluft.....	5
3.	Stand der Technik	6
4.	Aufgabenbeschreibung.....	7
4.1	AP1: Was sind ppm und wie wird der Anteil berechnet	7
4.2	AP2: Erfassung & Analyse der Messdaten	7
4.3	AP3: Entwicklung eines Workflows zur Bestimmung der Präsenz in einem Raum.....	7
4.4	AP4: Umsetzung eines Skriptes in Python, das anhand der Messwerte die Echtzeitabschätzung von Personen in einem Raum berechnet	7
4.5	AP5: Dokumentation des Projektes auf dem GitLab-Transfer Portal der HFT-Stuttgart 7	
5.	Zeitplan	8
6.	Bereitgestellte Materialien durch die HFT-Stuttgart.....	9
7.	Literaturverzeichnis.....	9
8.	Abbildungsverzeichnis.....	9
9.	Tabellenverzeichnis.....	9

2. Grundlagen

2.1 Frischluftbedarf – Ein Überblick

Frischluft ist für den menschlichen Körper lebenswichtig und eine ausreichende Versorgung mit sauberer Luft ist entscheidend für unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden. Bei unterschiedlichen Aktivitäten variiert der Bedarf an Frischluft und die Art und Weise, wie wir diese aufnehmen.

Grundsätzlich benötigt der menschliche Körper in Ruhephasen etwa 0,5 bis 1 Liter Luft pro Minute. Bei körperlicher Aktivität steigt der Bedarf an Frischluft deutlich an, da der Körper mehr Sauerstoff benötigt, um Energie zu erzeugen. Je intensiver die körperliche Belastung, desto höher ist der Bedarf an Frischluft.

Beim Gehen oder Spaziergehen benötigt der Körper etwa das Doppelte an Frischluft im Vergleich zu Ruhephasen. Beim Joggen oder intensivem Sport kann der Bedarf sogar um das Zehnfache steigen. Der Körper versucht, diesen gesteigerten Bedarf durch eine Erhöhung der Atemfrequenz und der Atemtiefe zu decken.

Aber nicht nur bei körperlicher Aktivität ist eine ausreichende Frischluftzufuhr wichtig. Auch in geschlossenen Räumen ist eine gute Luftqualität entscheidend. Durch Atmen, Schwitzen und Verdunsten von Feuchtigkeit geben wir ständig Feuchtigkeit und CO₂ ab, die die Luftqualität verschlechtern können. Eine zu hohe Konzentration von CO₂ und anderen Schadstoffen in der Luft kann zu gesundheitlichen Problemen wie Kopfschmerzen, Müdigkeit und Konzentrationsschwierigkeiten führen.

Um eine gute Luftqualität in Innenräumen zu gewährleisten, ist regelmäßiges Lüften wichtig. Experten empfehlen, mindestens alle zwei Stunden für fünf bis zehn Minuten zu lüften, um die Luft auszutauschen und Schadstoffe abzuführen. Bei intensiver Nutzung von Räumen, wie z.B. bei einer Party oder einem Meeting, ist häufigeres Lüften notwendig.

Insgesamt ist eine ausreichende Versorgung mit sauberer Luft für unsere Gesundheit und unser Wohlbefinden entscheidend. Bei körperlicher Aktivität steigt der Bedarf an Frischluft deutlich an, aber auch in Innenräumen ist eine gute Luftqualität durch regelmäßiges Lüften wichtig.

Tabelle 1: Frischluftbedarf pro Person

Aktivität	Frischluftbedarf pro Person und Stunde
Person entspannt sitzend	25-35 m ³
Person entspannt stehend	35 m ³
Person(en) stehend arbeitend (Tätigkeit I):	46 m ³
Person(en) stehend arbeitend (Tätigkeit II):	58 m ³

2.2 CO₂-Konzentrationen in Räumlichkeiten

Die CO₂-Konzentration in Innenräumen kann eine wichtige Rolle für die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen spielen. Wenn die CO₂-Konzentration in einem Raum zu hoch ist, kann dies verschiedene Auswirkungen haben.

Tabelle 2: CO₂-Konzentrationen und deren Auswirkung auf den Körper

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

Eine hohe CO₂-Konzentration kann zu Müdigkeit, Konzentrationsproblemen und Kopfschmerzen führen. Es kann auch die Atemwege reizen und die Herzfrequenz erhöhen. In extremen Fällen kann eine hohe CO₂-Konzentration zu Bewusstlosigkeit führen.

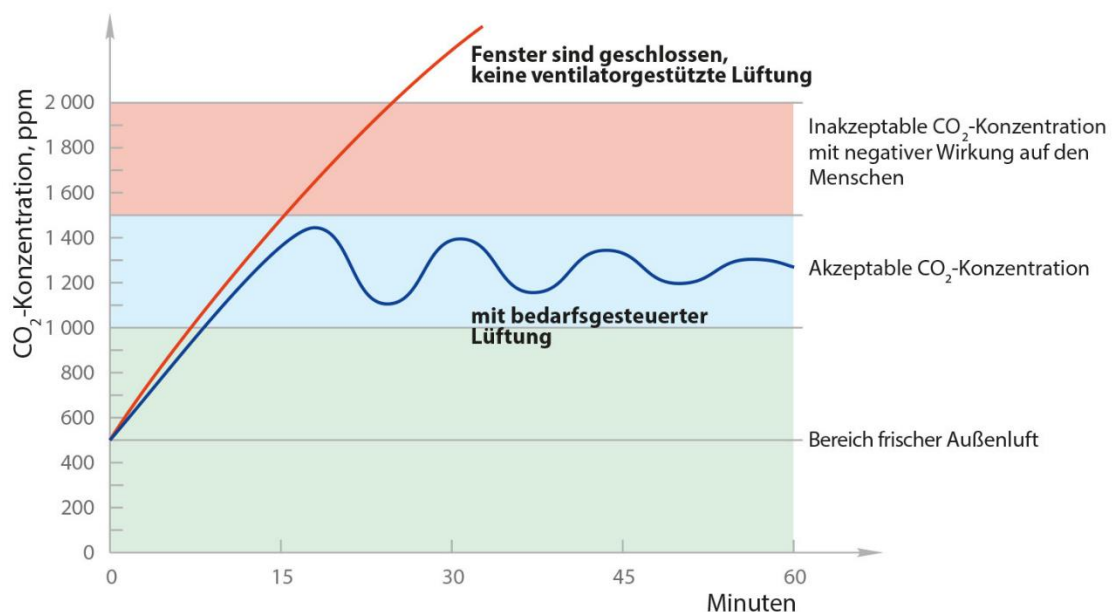


Abbildung 1: CO₂-Konzentration in Abhängigkeit des Lüftungsverhaltens.

2.2.1 Messung von CO₂ in der Raumluft

CO₂-Konzentrationen können mit verschiedenen Messgeräten gemessen werden. Die gängigsten Messgeräte sind CO₂-Sensoren, die in der Regel Infrarotsensoren verwenden, um die CO₂-Konzentration in der Luft zu messen. Diese Sensoren arbeiten in der Regel nach dem Prinzip der Nondispersive Infrarot-Spektroskopie (NDIR).

Bei dieser Methode wird Infrarotstrahlung durch einen Detektor geleitet. Die Moleküle in der Luft absorbieren diese Strahlung auf verschiedene Weise. Die Menge der absorbierten Strahlung hängt von der Konzentration der jeweiligen Moleküle ab. CO₂-Moleküle absorbieren Infrarotstrahlung bei bestimmten Wellenlängen, und der Detektor kann die Menge der absorbierten Strahlung messen, um die CO₂-Konzentration in der Luft zu bestimmen.

CO₂-Messgeräte sind in der Regel einfach zu bedienen und können schnell und einfach die CO₂-Konzentration in der Luft messen. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Messgenauigkeit

und -empfindlichkeit je nach Gerät und Umgebung variieren kann. Es ist auch wichtig, dass das Messgerät regelmäßig kalibriert wird, um eine genaue Messung zu gewährleisten.

3. Stand der Technik

Die Erkennung von Personenpräsenz spielt eine entscheidende Rolle in verschiedenen Anwendungen, wie zum Beispiel im Energiemanagement, der Gebäudeautomation und der Sicherheitstechnik. In den letzten Jahren hat sich ein neuer Ansatz zur Präsenzerkennung herauskristallisiert, der auf CO₂-Messungen basiert. Diese Methode nutzt die Tatsache aus, dass Menschen beim Ausatmen CO₂ abgeben, was zu einem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Luft führt. Durch die Messung und Auswertung dieser CO₂-Konzentration kann auf die Anwesenheit von Personen geschlossen werden.

Forscherinnen und Forscher haben eine Studie durchgeführt, die sich mit der Präsenzerkennung mittels CO₂-Messungen befasst. Das Team hat einen umfassenden Ansatz entwickelt und implementiert, um diese Methode zu untersuchen. In den Experimenten wurden die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der CO₂-basierten Präsenzerkennung analysiert.

Die Methodik umfasste die Verwendung verschiedener Sensortechnologien zur Messung der CO₂-Konzentration in der Luft. Die Sensoren wurden strategisch platziert, um eine maximale Raumabdeckung zu gewährleisten. Mithilfe spezieller Algorithmen wurden die gesammelten CO₂-Daten analysiert, um die Anwesenheit von Personen zu identifizieren und zu bestätigen.

Die Ergebnisse zeigen vielversprechende Resultate für die CO₂-Messung als Methode zur Präsenzerkennung. Die Genauigkeit war hoch, da die CO₂-Konzentration zuverlässig auf menschliche Präsenz hinwies. Besonders effektiv erwies sich die CO₂-basierte Präsenzerkennung in Innenräumen, da sich die CO₂-Konzentration dort schneller ändert.

Die Studie diskutiert zudem potenzielle Anwendungen wie Energiemanagement, Raumbelegungserfassung und Sicherheitstechnik. Es wird betont, dass weitere Forschung und Entwicklung notwendig sind, um die CO₂-basierte Präsenzerkennung zu verbessern und ihre Anwendbarkeit in verschiedenen Szenarien zu erweitern.

Insgesamt liefert die Studie wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung und Implementierung von CO₂-basierten Präsenzerkennungssystemen und zeigt das Potenzial dieser Methode zur effektiven Erfassung von Personenpräsenz in Innenräumen auf [1].

In dem Review-Artikel [2] wurden verschiedene Ansätze zur Belegungserkennung und -vorhersage in der Gebäudesimulation untersucht, um Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch nutzerorientierte Steuerung aufzuzeigen. Die Forscher*innen analysierten Methoden der Belegungsüberwachung und deren Kombinationen, um wirksame Leitlinien für die Auswahl und Anwendung dieser Methoden zu liefern. Zudem wurden die Vorteile deterministischer Zeitpläne, stochastischer Zeitpläne und maschinellen Lernens für die Belegungsvorhersage zusammengefasst und diskutiert. Die Ergebnisse des Reviews bieten wichtige Erkenntnisse über die Belegungserkennung und -vorhersage in der Gebäudesimulation und zeigen, wie nutzerorientierte Steuerungsmethoden zur Energieeinsparung in Gebäuden beitragen können.

4. Aufgabenbeschreibung

4.1 AP1: Was sind ppm und wie wird der Anteil berechnet

Das Arbeitspaket 2 konzentriert sich auf die Berechnung und Entwicklung des ppm-Anteils (parts per million) von CO₂ in der Luft. Zunächst wird erklärt, was ppm bedeutet und wie es als Maßeinheit verwendet wird, um den Anteil einer Substanz in einer Mischung auszudrücken. Die Berechnung des CO₂-Anteils in der Luft wird erläutert, wobei der Zusammenhang zwischen dem CO₂-Volumen und dem Gesamtvolumen der Luft betrachtet wird. Des Weiteren wird die Umrechnung von ppm behandelt, um den CO₂-Anteil in der Luft darzustellen. Hierbei wird beschrieben, wie ppm-Werte auf Grundlage des CO₂-Anteils und des Gesamtvolumens der Luft berechnet werden. Schließlich wird die Entwicklung des ppm-Anteils in einem Beispielraum dargestellt. Dabei wird ein Beispielraum vorgestellt und seine Ausgangswerte für den CO₂-Anteil werden festgelegt. Faktoren wie die Personenanzahl, Raumgröße und das Belüftungssystem werden berücksichtigt, um die Entwicklung des ppm-Anteils über einen bestimmten Zeitraum zu veranschaulichen.

4.2 AP2: Erfassung & Analyse der Messdaten

Im Arbeitspaket 4.3 (AP4) werden Messdaten erfasst und analysiert. Dabei werden während des Unterrichts die CO₂-Konzentration, Fensterstellungen und die Anzahl der Schülerinnen und Schüler erfasst. Die Kurven und Steigungen in Abhängigkeit von CO₂-Konzentrationen und Fensterstellungen werden analysiert. Zusätzlich werden Raumdaten wie Volumen und Anzahl der Fenster dokumentiert. Das Ziel ist es, präzise Messdaten zu gewinnen und Zusammenhänge zu identifizieren, um die Lüftungssituation im Raum zu optimieren.

4.3 AP3: Entwicklung eines Workflows zur Bestimmung der Präsenz in einem Raum

Das Arbeitspaket 4 (AP4) entwickelt einen Workflow zur Bestimmung der Personenpräsenz in einem Raum. CO₂-Messungen und Analyse werden genutzt, um die Anwesenheit von Personen festzustellen. Zusätzlich werden die erhobenen Daten der Schüler*innen zur Personenanzahl integriert. Der Workflow basiert auf einem rechnerischen Modell, berücksichtigt Raumgröße, CO₂-Konzentration und Belüftung. Ziel ist die genaue Abschätzung der Personenpräsenz zur Optimierung von Lüftungsstrategien.

4.4 AP4: Umsetzung eines Skriptes in Python, das anhand der Messwerte die Echtzeitabschätzung von Personen in einem Raum berechnet

Im Arbeitspaket 4 wird ein Python-Skript entwickelt, das basierend auf den Messwerten eine Echtzeitabschätzung der Personenanzahl in einem Raum ermöglicht. Der zuvor entwickelte Workflow wird dabei in das Skript integriert.

Das Ziel besteht darin, dass das Skript anhand der Messwerte und der Steigung innerhalb eines Zeitintervalls abschätzen kann, ob eine Präsenz im Raum vorherrscht und die Anzahl der Personen im Raum abschätzt. Durch die Nutzung der gesammelten Daten und der Analyse der Steigung wird eine Echtzeitabschätzung ermöglicht.

Mit Hilfe des Python-Skripts wird somit eine automatisierte Berechnung der Personenanzahl in Echtzeit ermöglicht, was zur Optimierung des Raummanagements beitragen kann. Das Skript wird entsprechend den Anforderungen des Projekts entwickelt und implementiert, um genaue und zuverlässige Abschätzungen der Personenpräsenz im Raum zu gewährleisten.

4.5 AP5: Dokumentation des Projektes auf dem GitLab-Transfer Portal der HFT-Stuttgart

Im Arbeitspaket 5 erfolgt die Dokumentation des Projekts auf dem GitLab-Transfer Portal der HFT-Stuttgart. Die abschließende Arbeit wird dabei als Wiki-Beitrag im Markdown-Format hinterlegt. Die Dokumentation umfasst in etwa 5-10 Seiten und beinhaltet eine Beschreibung der

Grundlagen des Projekts, der angewandten Methodik sowie der erzielten Ergebnisse. Die Schülerinnen und Schüler dokumentieren ihre Arbeit detailliert und strukturiert, um einen umfassenden Überblick über das Projekt zu geben.

Durch die Bereitstellung der Dokumentation auf dem Hochschulportal wird das Projekt für andere zugänglich gemacht und dient als Wissensquelle und Nachschlagewerk. Die Schülerinnen und Schüler tragen somit aktiv zur Wissensverbreitung und zum Austausch innerhalb der Hochschulgemeinschaft bei.

5. Zeitplan

Zeitraum	Aktivität	Tagesaufgabe
10.08.2023	Einführung in das Projekt, Verteilung der Gruppen und Materialien	Gruppen bilden und Materialien vorbereiten
14.08.2023	AP1 - Was sind ppm und wie wird der Anteil berechnet	Theoretische Einführung in ppm und Berechnung des CO ₂ -Anteils
17.08.2023	AP1 - Was sind ppm und wie wird der Anteil berechnet	Theoretische Einführung in ppm und Berechnung des CO ₂ -Anteils
21.08.2023	AP2 - Erfassung & Analyse der Messdaten	Inbetriebnahme der CO ₂ -Ampeln und Datenerfassung
24.08.2023	AP2 - Erfassung & Analyse der Messdaten	Fortlaufende Datenerfassung und Notieren der Personenanzahl sowie Fensterstellung
28.08.2023	AP3 - Entwicklung eines Workflows zur Bestimmung der Präsenz	Einführung in Leckagen und natürliche Lüftung
31.08.2023	AP3 - Entwicklung eines Workflows zur Bestimmung der Präsenz	Weiterentwicklung des Workflows basierend auf Raumgröße und Leckagen
04.09.2023	AP4 - Umsetzung eines Skriptes in Python	Programmierung des Skripts zur Echtzeitabschätzung von Personen
07.09.2023	AP4 - Umsetzung eines Skriptes in Python	- Programmierung und Test des Skripts
11.09.2023	Überprüfung und Feinabstimmung der bisherigen Ergebnisse	Überprüfung der bisherigen Ergebnisse und Feinabstimmung
14.09.2023	Fortsetzung der Datenerfassung und Anpassung des Workflows und Skripts	Fortlaufende Datenerfassung und Anpassung des Workflows und Skripts
18.09.2023	Fortsetzung der Datenerfassung und Anpassung des Workflows und Skripts	Fortlaufende Datenerfassung und Anpassung des Workflows und Skripts
21.09.2023	AP 5 Dokumentation des Projektes auf dem GitLab-Transfer Portal der HFT-Stuttgart	Dokumentation der bisherigen Arbeit im Markdownformat
25.09.2023	AP 5 Dokumentation des Projektes auf dem GitLab-Transfer Portal der HFT-Stuttgart	Fortführung der Dokumentation im Markdownformat
28.09.2023	Abschlusspräsentation/Abgabe	Abschlusspräsentation des Projekts und Ablage der Dokumentation

6. Bereitgestellte Materialien durch die HFT-Stuttgart

Für die Durchführung der Schülerprojektes werden 5 CO₂-Ampel der HFT-Stuttgart bereitgestellt sowie 10 SD-Karten zur Datenspeicherung in den bereits installierten Anlagen.

7. Literaturverzeichnis

- [1] R. Adeogun, I. Rodriguez, M. Razzaghpour, G. Berardinelli, P. H. Christensen, and P. E. Mogensen, "Indoor Occupancy Detection and Estimation using Machine Learning and Measurements from an IoT LoRa-based Monitoring System," in *2019 Global IoT Summit (GIoTS)*, 2019, pp. 1–5, doi: 10.1109/GIOTS.2019.8766374.
- [2] Y. Ding, S. Han, Z. Tian, J. Yao, W. Chen, and Q. Zhang, "Review on occupancy detection and prediction in building simulation," *Build. Simul.*, vol. 15, no. 3, pp. 333–356, 2022, doi: 10.1007/s12273-021-0813-8.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:CO₂-Konzentration in Abhängigkeit des Lüftungsverhaltens..... 5

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Frischluftbedarf pro Person..... 4
Tabelle 2:CO₂-Konzentrationen und deren Auswirkung auf den Körper 5