

Entwicklung eines CO2-Messers zur Simulation einer automatisierten Fensteransteuerung

Mikrocomputertechnik - Bericht

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Fahrzeugelektronik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Alexander Herrmann Johannes Ruffer Serkant Soylu

Abgabedatum:	19.04.2020
Bearbeitungszeitraum:	01.10.2019 - 19.04.2020
Matrikelnummer:	9859538 x 1011921 x 9964027
Kurs:	TFE18-2
Gutachter der Dualen Hochschule:	Hans Jürgen Herpel

Eidesstattliche Erklärung

Gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2015.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Projektarbeit mit dem Thema:

Entwicklung eines CO₂-Messers zur Simulation einer automatisierten Fensteransteuerung

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben.
Wir versichern zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 4. April 2020

Alexander Herrmann

Johannes Ruffer

Serkant Soylu

AUTOREN

Kurzfassung

Der Bericht wurde von drei Studierenden an der Duale Hochschule Baden-Würtemberg (DHBW)-Ravensburg Campus Friedrichshafen im Rahmen der Mikrocomputertechnik Vorlesung eigenständig von der Projektplanung, über die Durchführung, bis hin zum Projektabchluss mit Dokumentation durchgeführt.

Ziel der Arbeit ist es, durch die Praxiserfahrung mit Mikrocomputern, Fähigkeiten und Wissen in diesem Bereich zu erwerben. Durch das Vergleichen von anfänglichen Kosten- und Komplexitätsschätzungen mit den späteren Ergebnissen in der Umsetzung können die Studierenden ein Fazit ziehen, inwiefern diese übereinstimmen. So werden auch Fähigkeiten im Bereich des Projektmanagements weiterentwickelt.

Dieses Projekt befasst sich mit der Simulation eines Fensterhebers. Dabei wird das Öffnen und Schließen der Fenster mithilfe einer Light Emitting Diode (LED) simuliert, welche nach der Überschreitung eines bestimmten Grenzwertes aufleuchtet. Sobald nach ausreichendem Lüften die Luftgüte unter einen Schwellwert gerät, soll die LED wieder aus gehen.

Damit dies möglich ist, wurde die Entwicklung von Software-Code, sowie ein Schaltungslayout und der 3D-Druck des Gehäuses selbstständig vorgenommen.

Der folgende Bericht dokumentiert die Motivation, Vorgehensweise und Umsetzung von der Projektplanung, über die Implementierung von Hardware und Software, bis hin zu durchgeführten Tests und dem Projektabchluss.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Anforderungen	3
3. Projektplan	7
3.1. Arbeitsplan	7
3.2. Kostenplan	8
4. Entwurf	9
4.1. Architektur und Verhalten	9
4.1.1. Zustandsdiagramm	9
4.1.2. Top-Level-Architektur	11
4.1.3. Komponentendiagramm	12
4.2. Schaltungslayout	12
4.3. Gehäuse	14
5. Softwareimplementation	15
5.1. Arduino vs. Raspberry PI	16
5.2. Arduino	16
5.3. CCS811	17
5.4. Mikro-SD-Karten-Adapter	20
5.5. I ² C-Adapter	21
6. Hardware	25
7. Testing	27
8. Handbuch	29
8.1. Erste Schritte	30
8.2. Durchführung einer Messung	30
8.3. Auslesen einer Messung	31

Inhaltsverzeichnis

9. Installationsanleitung	33
10. Fazit	35
Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Formelzeichen	37
Literaturverzeichnis	39
Sachwortverzeichnis	41
Abbildungsverzeichnis	43
Tabellenverzeichnis	45
A. Anhang	47
A.1. Weitere Abbildungen	47

1. Einleitung

Kohlenstoffdioxid ist ein Spurengas, welches im Durchschnitt 0,04% der Luftzusammensetzung einnimmt, trotz dieses nur kleinen prozentualen Anteils wird es aufgrund der Bedeutung für unser Ökosystem zu den Hauptbestandteilen der Luft gezählt. [Wik, vgl.] Die übliche Angabe des Gehalts in der Luft erfolgt in ppm, so liegt der Durchschnittswert etwa bei 400ppm. Bis zu einem Wert von 800ppm spricht man von einer guten Luftqualität, von 1000-1400ppm gilt die Qualität als mäßig. [CiNS, vgl.]

Erste Einwirkungen auf den Menschen sind um 1300ppm zu vermerken, hier noch in erster Linie durch Konzentrationsschwächen und Schläfrigkeit. Gesundheitlich bedenklich wird es ab ca. 5500ppm. Auswirkungen auf die Atmung entstehen bei einer Konzentration von 30000ppm, was dem Kohlenstoffdioxidegehalt in einem Atemzug entspricht. [Umw17, vgl. S. 1364]

Im Alltag werden solch hohe Werte normalerweise jedoch nicht erreicht, solange in regelmäßigen Abständen gelüftet wird und man sich nicht unnötig in engen überfüllten Räumlichkeiten aufhält. In Büros zum Beispiel, in denen sich viele Menschen befinden ist ein Wert zwischen 5000 und 6000ppm nicht unüblich. [Umw17, vgl. S. 1364]

Stellt man sich nun ein Klassenzimmer voller Studierender vor, die den ganzen Tag ihren Vorlesungen folgen, ist schnell ersichtlich, dass ohne ausreichendes Lüften keine geeigneten Lehrbedingungen geschaffen werden können. Um dieses Problem anzugehen wurde in diesem Projekt ein CO₂-gesteuerter Fensterheber, mit Hilfe eines Arduinos, simuliert. Durch diesen soll es möglich sein optimale Bedingungen im Sinne der Luftqualität bieten zu können.

2. Anforderungen

Damit die Bewertung des Projektes erfolgreich wird, müssen zu Projektbeginn Anforderungen erarbeitet und festgelegt werden. Diese sind unveränderbar, da das Ergebnis sonst verfälschen würde.

Eine Anforderung muss zudem messbar und/oder überprüfbar sein, um deren Umsetzung später objektiv bewerten zu können. Somit wird auch eine sogenannte Verifikationsmethode festgelegt, mit der die Anforderungen später überprüft werden können.

Es wird zwischen sechs verschiedenen Verifikationsmethoden unterschieden:

- Similarity: Suche und Abgleich mit bereits vorhandenen Lösungen [Hel, S. 122]
- Inparity: Soll- und Ist-Abgleich von Ein- und Ausgängen nach einem formalen Ablauf (Ein- und Ausgangskriterien sind vorher definiert) [Pet09, vgl. S. 308]
- Review: Soll- und Ist-Abgleich von Ein- und Ausgängen ohne formalen Ablauf (Ein- und Ausgangskriterien sind vorher nicht definiert) [Pet09, vgl. S. 317]
- Measurement: Durchführung einer Reihe von Operationen, die das Ziel haben, einen Wert einer quantitativen oder kategorialen Darstellung eines oder mehrerer Attribute zu bestimmen [Dep, vgl. S. 395]
- Analysis: Basiert auf Heuristiken und Statistiken [...] [, die man] sich als starke Compiler-Typisierung [...] im Rahmen einer ausführlichen Datenfluss-Analyse vorstellen [kann] [Jay, vgl. S. 4]
- Test: Prüft und bewertet Software auf Erfüllung der für ihren Einsatz definierten Anforderungen und misst ihre Qualität [Wik20a]

2. Anforderungen

Daher wurde am Anfang des Projektes eine Tabelle erstellt, indem alle Anforderungen definiert wurden. Zudem sind diese nummeriert und haben individuelle Verifikationsmethoden zugeordnet bekommen.

Nummer	Anforderungen	Verifikationsmethode
1	Echtzeitmessung der Luftgüte	Measurement
2	Mindestmessbereich von 400 ppm bis 5000 ppm	Review
3	Visualisierung der Luftgüte mithilfe von LEDs (gut, mittel, schlecht)	Test
4	Ausgabe der Luftgüte mithilfe von LiquidCrystal Display (LCD)-Display	Test
5	Ansteuern eines Fensterscheibenmotors mithilfe einer LED simulieren	Test
6	Bei schlechter Luftgüte: Fenster öffnet sich (LED an)	Test
7	Bei guter Luftgüte: Fenster schließt sich (LED aus)	Test
8	Speichern im CSV-Format	Test, Analysis
9	Zugriff auf Messdaten über SD-Karte	Test
10	Benutzer kann zwischen drei Messprofilen auswählen (Messprofil: Abtastrate)	Test

Tabelle 2.1.: Anforderungen an das Projekt

Die Anforderungen sollen jedoch nicht nur mithilfe einer Tabelle und den dazugehörigen Verifikationsmethoden definiert werden. Wie in Abbildung 2.1 zu sehen ist, wurde mithilfe von Architect Enterprise ein sogenanntes Use-Case-Diagramm erstellt, welches den Zusammenhang zwischen Anwender und Programmfunctionen aufzeigen soll.

Zu sehen ist, dass der Anwender zunächst zwischen zwei Funktionen wählen kann. So soll zum einen eine neue Messung gestartet werden können. Zum anderen soll der Benutzer in der Lage sein, dem Programm mitteilen zu können, dass die letzte Messung derzeit ausgelesen wird.

Im Fall, dass der Anwender eine neue Messung starten möchte, kann dieser, wie in Tabelle 2.1 definiert wurde, zwischen drei Messprofilen wählen.

Falls der Benutzer dem Programm zu verstehen gegeben hat, die letzte Messung auslesen zu wollen, geht das Programm in einen Wartezustand. Hier wartet es so lange, bis der Anwender bestätigt hat, dass das Auslesen erfolgreich beendet wurde und die SD-Karte wieder ins Modul eingeführt wurde.

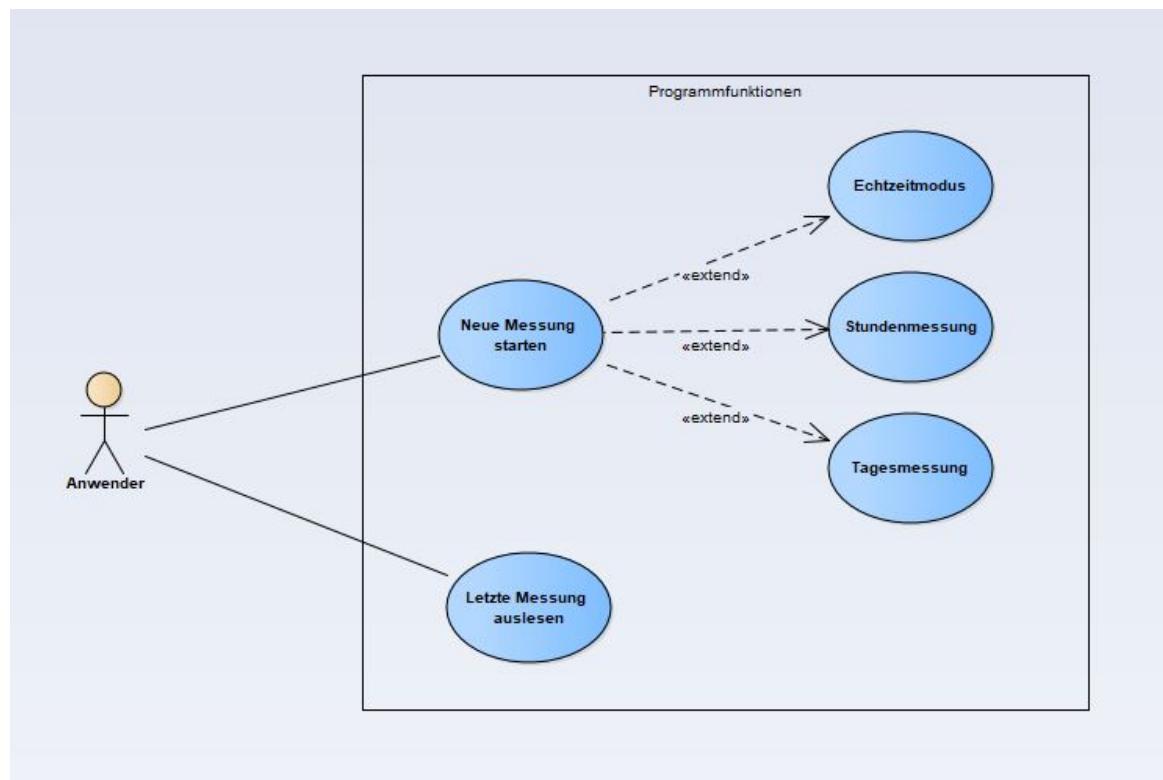


Abbildung 2.1.: Entwurf des Use-Case-Diagramms mithilfe von Enterprise Architect

3. Projektplan

Der Projektplan dient dazu, das Projekt auf Probleme zu minimieren und eine spätere Bewertung zu ermöglichen. In unserem Projektplan wurden Zeit und Kosten zu einem Portfolio auf Basis von Recherchen und eigenen Ideen zusammengetragen.

3.1. Arbeitsplan

Damit wir zu jedem Zeitpunkt einschätzen können, ob wir im Zeitplan sind, haben wir zu Beginn des Jahres den in Abbildung 3.1 zu sehenden Projektplan erstellt. An diesen Ablauf inklusive den Daten, hat sich jedes Gruppenmitglied zu halten. Eine Verzögerung in der Entwicklung, bedeutet eine Verschiebung der Abwicklung des Projektes. Davon hängt somit die Fertigstellung, als auch der Erfolg des Projektes ab.



Abbildung 3.1.: Ablauf des Projektes von Januar bis April

Auch, wenn die Abgabefrist erst vier Wochen nach Semesterende abläuft, haben wir uns, wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist, den 12. April als Meilenstein für die Abgabe des Projektes gesetzt. Die Begründung für diese Entscheidung liegt zum einen darin, dass wir bei Problemen bezüglich der Abgabe einen gewissen Puffer haben. Zum anderen beginnt ab Anfang April die

3. Projektplan

dritte Praxisphase für alle dualen Studierenden, in welcher diese ab Mitte des Monats schon in ihrem neuen Projekt vertieft sind und somit weniger Zeit für das Mikrocomputertechnik-Projekt aufwenden können.

3.2. Kostenplan

Die Kosten des Projektes belaufen sich, wie in Tabelle 3.1 nachzuvollziehen ist, auf 77,13€. An dieser Stelle muss jedoch angefügt werden, dass es sich hierbei nicht um die reinen Materialkosten für das Projekt handelt, da beispielsweise das Arduinoset einiges mehr, als nur die benötigten Materialien geboten hat. Somit kann man sagen, dass sich die Kosten bei einer Bestellung mit Einschränkung auf die benötigten Komponenten senken würden.

Einkauf	Kosten
Arduinoset	27,95€
CO2-Sensor (CCS811)	8,50€
MikroSD-Modul	3,50€
LED-Fassung	4,59€
I ² C-Adapter	3,99€
Mechanische Bauteile	24,99€
Sonstiges	4,56€
Gesamt	77,13€

Tabelle 3.1.: Aufgewendete Kosten für das Projekt

4. Entwurf

Bevor es an die Umsetzung von Soft- und Hardware ging, wurden für die verschiedenen Gebiete Zeichnungen und Diagramme angefertigt. Zum einen diente es dazu, das Vergessen von Anforderungen zu vermeiden. Zum anderen konnten die bevorstehenden Aufgaben so besser verteilt werden. Auch die Vorstellungen der einzelnen Gruppenmitgliedern in Bezug auf die Umsetzung des Projektes wurden mithilfe dieser Methode zusammengeführt, um spätere Differenzen zu vermeiden.

4.1. Architektur und Verhalten

Im folgenden werden drei Diagramme, welche wir im Laufe der Projektplanung anfertigten, beschrieben und erklärt. Diese sind die Grundsteine unseres Projektentwurfs.

Das Zustandsdiagramm ist dazu da, die Zustände, in welches sich das Objekt befindet, zu präsentieren. Auch die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen wird hier deutlich. Zudem zeigt ein Zustandsdiagramm den Anfangs- und Endpunkt einer Sequenz von Zustandsänderungen. [Jos00, vgl. S. 120]

Die Top-Level-Architektur soll anschließend alle Ein- und Ausgänge der Hardware aufzeigen. Zu guter Letzt zeigt das Komponentendiagramm, wie der Name schon verrät, alle Komponenten, welche in Bezug auf das Projekt benötigt werden an. Hier sind sowohl Hard-, als auch Software-Komponenten mit den jeweiligen Verbindungen integriert.

4.1.1. Zustandsdiagramm

Damit der genaue Ablauf unseres Programms definiert ist, wurde mithilfe von Enterprise Architect das Zustandsdiagramm aus Abbildung 4.1 gezeichnet.

Auf unser Projekt übertragen bedeutet es, dass das Diagramm vom Einschalten der Hardware,

durch Stromversorgung des Arduinos, über jede Kombinationsmöglichkeiten der Taster, bis hin zum wieder Ausschalten der Hardware, alle Zustände zeigt, in welche das Programm kommen kann. Dies soll später dem Softwareentwickler die Arbeit vereinfachen. Des Weiteren können auch Tests mithilfe des Zustandsdiagramms leichter durchgeführt werden, da die Eingangsvariablen mit den darauffolgenden Zustandsänderungen, eindeutig zu erkennen sind.

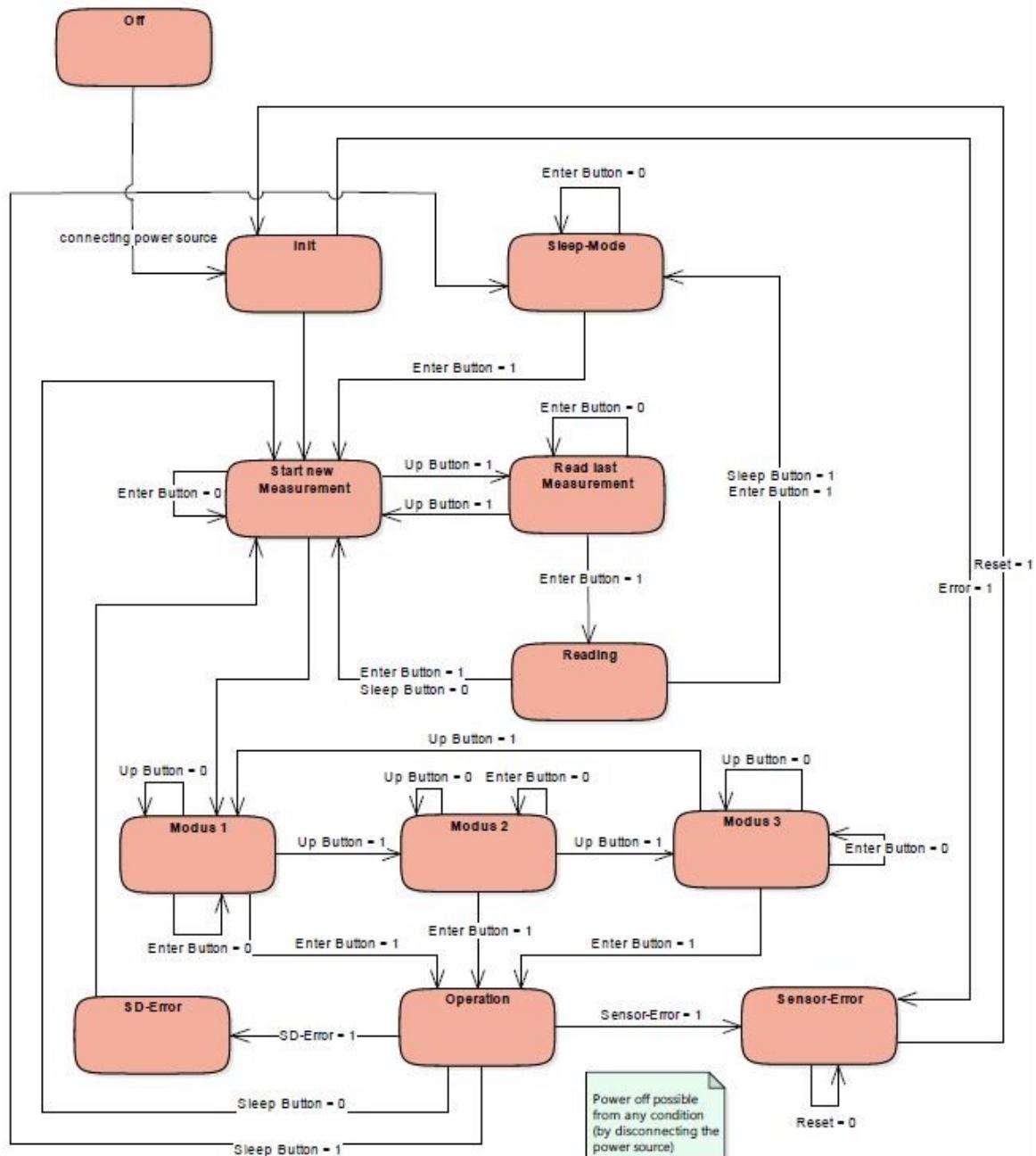


Abbildung 4.1.: Entwurf des Zustandsdiagramms mithilfe von Enterprise Architect

4.1.2. Top-Level-Architektur

Nachdem der genaue Programmablauf niedergeschrieben war, konnten durch die Zeichnung eines Top-Level-Diagramms, alle Ein- und Ausgänge am Arduino definiert werden.

Durch die drei Taster Up Button, Enter Button und Sleep Button, sollte die Bedienung des Menüs ermöglicht werden. Der CO₂-Value in Abbildung 4.2 steht für den, vom Sensor gemessenen Wert, welcher abgespeichert und ausgegeben wird.

Wegen der anfangs definierten Anforderung, die gemessenen CO₂-Werte in einer CSV-kompatiblen Datei auf einer SD-Karte abzuspeichern, muss die Hardware einen Ausgang für die Text-Datei besitzen. Zudem benötigt diese einen weiteren Port für die Ausgabe am LCD-Display und vier weitere für die drei LEDs zur Interpretation der Luftgüte und die, zur Simulation des Fensterscheibenmotors.

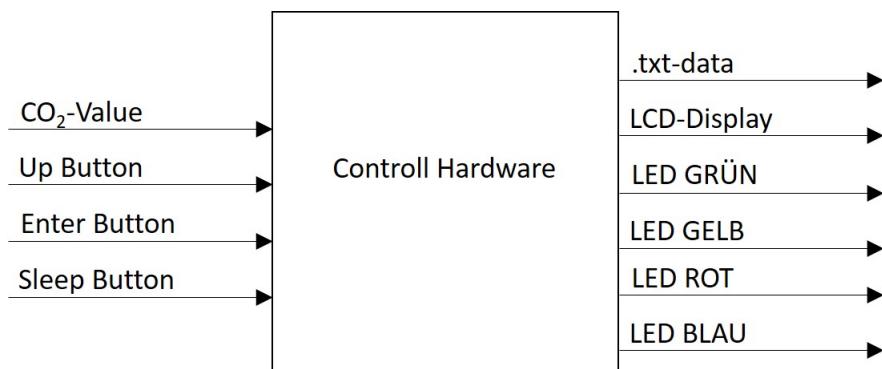


Abbildung 4.2.: Entwurf der Top-Level-Architektur

4.1.3. Komponentendiagramm

Das Komponentendiagramm, welches in 4.3 zu sehen ist, soll dazu dienen, alle Akteure und deren Verbindungen darzustellen.

So teilten wir den Arduino als Controll-Hardware in drei Komponenten. Die Profilauswahl importiert drei Eingangssignale, welche bei Betätigung der Taster, gesendet werden. Je nach Menü sind diese Signale unterschiedlich zu interpretieren. Zudem werden die übersetzten Botschaften, je nach Fall, an das LCD-Display oder die Messeinrichtung weitergeleitet.

Der CO₂-Sensor sendet ausschließlich nach Aufforderung der Messeinrichtung den gemessenen CO₂-Wert, welcher an die Mikro-SD-Karte und die CO₂-Auswertung weitergeleitet wird. In der Mikro-SD werden die Daten abgespeichert, während die Auswertung der Messwerte die unterschiedlichen LEDs ansteuert.

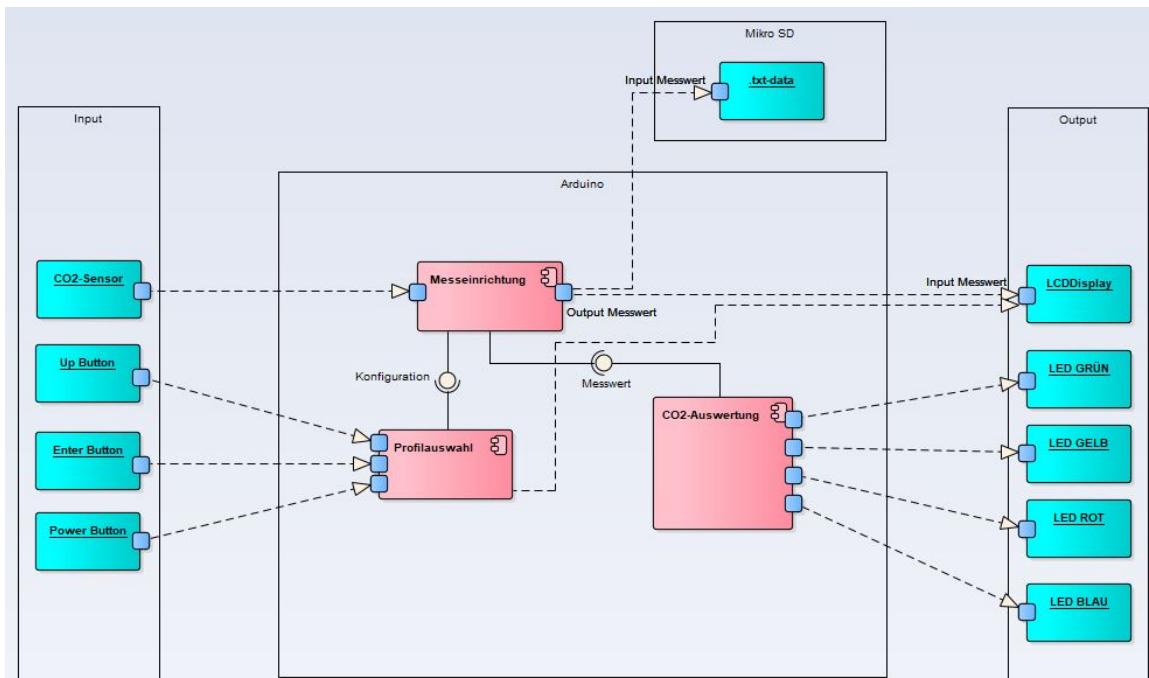


Abbildung 4.3.: Entwurf des Komponentendiagramms mithilfe von Enterprise Architect

4.2. Schaltungslayout

In Abbildung 4.4 ist das Schaltungslayout des Projektes zu sehen, welches wir mithilfe von Fritzing angefertigt haben.

Das LCD-Display ist an sechs Pins mit dem Arduino verbunden. Zudem benötigt es eine Versorgungsspannung von ca. 5 Volt. Der Eingang V0 ist dabei über einen Widerstand auf Masse

geschalten. Je nach Höhe des Widerstandes ändert sich der Kontrast des LCD-Displays. Darunter befindet sich in Abbildung 4.4 der CO₂-Sensor CCS811, welcher über zwei Pins an den Arduino angeschlossen ist. Einen extra Anschluss an die Versorgungsspannung benötigt dieser nicht, da er die maximal benötigten 3.6 Volt über den I²C-Anschluss bekommt. Unterhalb des Co₂-Sensors ist das SD-Karten-Modul zu sehen, welches eine Versorgungsspannung von 5 Volt auf Masse benötigt. Die restlichen vier Anschlüsse sind mit den Pins 8 bis 11 am Arduino verbunden.

Zwei von den oben zu sehenden Taster dienen für die Menüauswahl auf dem LCD-Display. Einer soll dabei für das Wechseln innerhalb des Menüs dienen, der andere ist für die Bestätigung der Auswahl zuständig. Damit die Schaltung auch ein- und ausgeschaltet werden kann, ohne die Versorgungsspannung zu kappen, haben wir einen dritten Taster eingebaut. Die Vorwiderstände aller Taster belaufen sich auf 2kΩ.

Die vier LEDs sind, wie in den Anforderungen definiert, für die Visualisierung der Luftgüte zuständig. Dabei dienen die Farben Grün, Gelb und Rot für gute, mittlere und schlechte Luftgüte. Die blaue simuliert den angeschlossenen Fensterscheibenmotor. Für die Vorwiderstände der vier LEDs haben wir jeweils 330Ω gewählt.

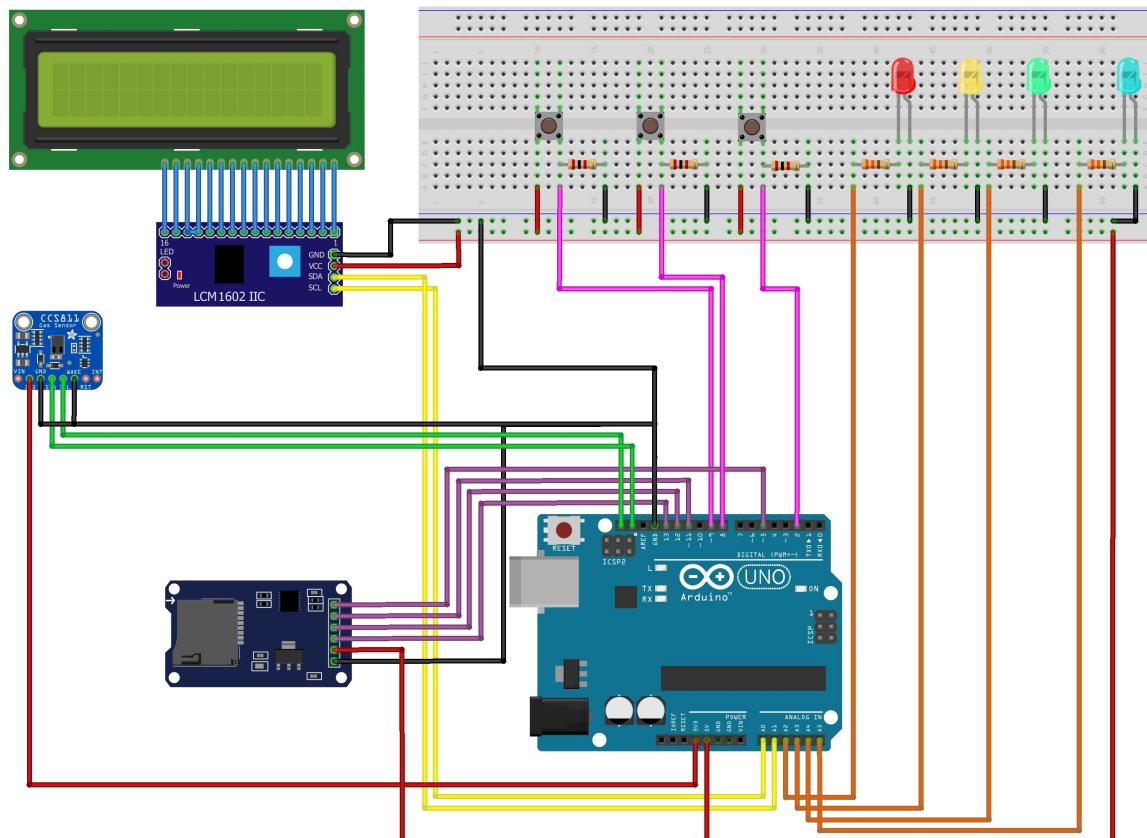


Abbildung 4.4.: Entwurf des Schaltungslayouts mithilfe von Fritzing

4.3. Gehäuse

5. Softwareimplementation

Für die entgültige Struktur der Software waren mehrere Anforderungen ausschlaggebend. Zunächst wurden drei verschiedene Messprofile definiert und implementiert, sodass der Benutzer zu Beginn zwischen einer Echtzeit-, Stunden- und Tagesmessung wählen kann. In den Messprofilen ist definiert, in welchen Abständen und wie lange Messungen durchgeführt werden sollen. Somit konnten Anforderung Nummer 1 und 10 aus der Tabelle 2.1 gemeinsam umgesetzt werden.

Nach der Wahl des Messprofils muss der Arduino den CO₂-Sensor ansteuern und richtig konfigurieren. Es muss getestet werden, ob er funktionstüchtig und bereit ist eine Messung zu starten. Zudem kann der verwendete Sensor nicht nur CO₂-Werte, sondern beispielsweise auch Temperaturen messen, sodass der Arduino die richtigen Werte anfordern muss. Damit dies möglich ist, mussten wir die Bibliothek <Adafruit_CCS811.h> einbinden. Genaueres zu diesem Algorithmus wird in Kapitel 5.3 erläutert.

Zunächst wird im Setup geprüft, ob der Sensor gestartet werden kann. Falls dies nicht der Fall sein sollte, wird eine Fehlermeldung ausgegeben. Nach erfolgreichem Start ist der Arduino angehalten so lange mit dem Programm zu warten, bis der Sensor zurückmeldet, dass er bereit ist, die Messung zu beginnen.

Auch während dem Programmdurchlauf wird bei jeder neuen Messung kontrolliert, ob der CO₂-Sensor funktionstüchtig ist. Danach wird mithilfe der oben genannten Bibliothek der CO₂-Wert gemessen und an den Arduino weitergegeben.

Nach Einlesen der Daten, vergleicht der Mikrocomputer diese mit den gegebenen Grenzwerten. Je nach Bewertung des gemessenen Werte wird eine der grün/gelb/roten LEDs eingeschaltet. Auch die blaue LED, welche die Ansteuerung des automatisierten Fensterscheibenmotors simulieren soll, wird je nach Messwert an- oder ausgeschaltet.

Zudem werden dem Anwender in Echtzeit die jeweiligen Daten im LCD Display aufgegeben, was durch die Bibliothek <LiquidCrystal.h> möglich ist.

Damit der Verlauf der Messung später auf Excel geplottet werden kann, wird auf einer Mikro-SD-Karte der gemessene Wert im .csv-Format als .txt-Datei abgespeichert.

Der Anwender nach nun entscheiden, ob er eine weitere Messung durchführen möchte oder nicht. Bei positiver Eingabe wird das Programm von vorne durchgeführt, während beim Ab-

lehnen einer weiteren Messung der Mikrocomputer in einen sogenannten Sleep-Mode geht.

5.1. Arduino vs. Raspberry PI

Nach dem Definieren der Anforderungen musste entschieden werden, mit welchem Mikrocontroller oder auch Einplatinencomputer das Projekt umgesetzt werden soll. Hierbei wurden ein Arduino und ein Raspberry PI in Betracht gezogen.

Die Vorteile des Arduinos liegen darin, dass ein sofort einsatzbereites Hardware-/Software-Setup zu Verfügung steht. Des Weiteren hat dieser Mikrocontroller eine eigene Entwicklungsumgebung mit plattformübergreifenden Bibliotheken, von welchen wir Gebrauch machen müssen. Zudem ist Arduino eine Plattform, auf Basis von Open-Source-Lizenzen. Dies hat den Vorteil, dass jeder Entwickler sowohl die Quellcodes der Software, als auch die Pläne der Hardware einsehen und für das jeweilige Projekt individuell anpassen kann. [Mir18, vgl.] Nachteile, wie die kostspielige Aufrüstung von Shields sind für unsere Verwendungen nicht von Bedeutung.

Vielmehr überwiegten die Nachteile des Raspberry PI, für welchen man kostenpflichtige Zusatzelemente für den eigenständigen Betrieb benötigt. Auch die Vorteile des Einplatinencomputers, wie die Netzwerkfähigkeit und den standardmäßigen High Definition Multimedia Interface (HDMI)-Anschluss, werden in diesem Projekt nicht benötigt und spielen für uns somit keine Rolle. [ION18, vgl.]

All diese Punkte führten letztendlich zu der Entscheidung, einen Arduino und keinen Raspberry PI für das Projekt zu nehmen.

5.2. Arduino

Der Arduino wurde 2005 von den beiden Entwicklern Massimo Banzi und David Cuartielles entwickelt. Der Mikrocomputer wurde nach einer Bar, in welcher sich die Entwickler gerne und oft trafen, benannt. Diese wiederum bekam ihren Namen nach Arduin von Ivrea, welcher von 1002 bis 1014 König von Italien war. [Wik20b, vgl.]

Aufgrund der hohen Anzahl von verschiedenen Arduino-Modellen, mussten wir uns darüber informieren, welches am besten für unser Projekt geeignet ist. Da wir uns selbst am Anfang des Projektes als Arduino-Einsteiger bezeichneten, wurde uns der in 5.1 zu sehende Arduino Uno empfohlen. Aufgrund von Rechercheergebnissen, dass dieses Modell das bekannteste und meist genutzte Arduino Board ist, entschieden wir uns dazu, dieses Modell zu nutzen. Diese

Entscheidung hat den Hintergrund, dass uns so sehr viele Tutorials und Projektbeispiele im Internet zur Verfügung stehen. Diese sollen uns bei anfänglichem Erwerb von Grundwissen und späteren Projektproblemen weiterhelfen. [Gen16, vgl.]

Neben 13 digitalen und sechs analogen In- und Output-Pins besitzt der Arduino einen USB-B-Port, mit welchem das Laden eines neuen Programms ermöglicht wird. Die empfohlene Versorgungsspannung liegt beim Arduino Uno zwischen 7V und 12V. [ser20, vgl. S. 2] Er besitzt, wie in 5.1 zu sehen, DC Pins von 5V und 3,3V DC-Spannung.

Speichermöglichkeiten gibt es auf dem Arduino zum Einen auf dem ATmega328, welcher eine Speicherkapazität von 32KB besitzt. Darauf werden allerdings 0,5KB vom Arduino Bootloader belegt. Zum Anderen verfügt er über 2KB SPRAM und 1KB EEPROM. [ser20, vgl. S. 2] Das ist auch der Grund dafür, weshalb die Daten später nicht auf dem Arduino selbst, sondern auf einer Mikro-SD-Karte gespeichert werden soll. Näheres dazu in Kapitel 5.4.

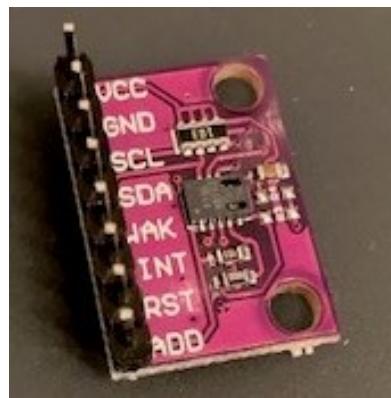


Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/arduino-computer-cpu-373994/>

Abbildung 5.1.: Arduino Uno

5.3. CCS811

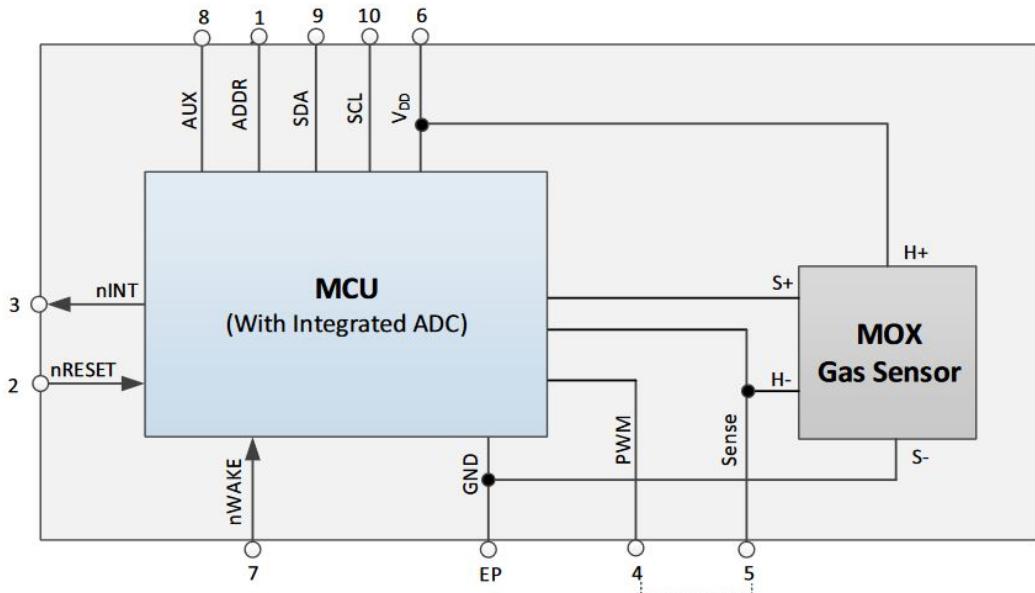
Wir haben den in Abbildung 5.2 zu sehenden CCS811-Sensor verwendet da er einige Vorteile mit sich bringt. Er ist ein digitaler Metalloxid (MOX)-Gassensor mit einem extrem geringen Stromverbrauch. Wie in Abbildung 5.3 zu sehen ist, besitzt er einen Analog-Digital (AD)-Wandler und eine I²C-Schnittstelle, was dem Entwickler eine leichte Soft- und Hardware Integration bietet. Zudem soll er eine Lebenszeit von über 5 Jahren nachweisen. [ams16, vgl. S. 1]



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 5.2.: Verwendeter CCS811-MOX-Gassensor

Der CO₂-Sensor ist über die Pins SDA und SCL mit dem Arduino verbunden. Pin 7 ist dabei auf Masse kurzgeschlossen. Die restlichen Pins werden in unserem Projekt nicht benötigt.



Quelle: [ams16, S. 3]

Abbildung 5.3.: CCS811 Blockdiagramm

Der Abruf von Messdaten auf dem I²C erfolgt über das Master-Slave Prinzip. Dabei nimmt der Arduino die Rolle des Masters, und der CO₂-Sensor die des Slaves ein. Das bedeutet, der CCS811 darf nur Informationen senden, wenn er vom Arduino die Aufforderung bekommen hat.

Um an die richtigen Daten des Sensors zu gelangen, muss der Arduino in unserem Projekt die ersten beiden Bytes auslesen, da diese die nötigen Informationen über den CO₂-Gehalt der Luft

zu Verfügung stellen. Die restlichen Bytes werden in unserem Projekt nicht ausgelesen, da wir für diese keine Verwendung haben.

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3
eCO ₂ High Byte	eCO ₂ Low Byte	TVOC High Byte	TVOC Low Byte

Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
STATUS	ERROR_ID	See RAW_DATA	See RAW_DATA

Quelle: [ams16, vgl. S. 14]

Abbildung 5.4.: Inhalt der 8-Byte-Übertragung des CCS811-MOX-Sensors

In der Softwareimplementierung wird der CO₂-Sensor mithilfe der Bibliothek <Adafruit_CCS811.h>, wie in Abbildung 5.5 gezeigt wird, aufgerufen. Zunächst werden Setups für das I²C-Interface und die Hardware durchgeführt. Danach wird geprüft, ob die Kommunikation mit dem Sensor aufgebaut werden kann. Wenn das der Fall ist, wird solange gewartet, bis der Sensor bereit ist, Daten zu lesen. Falls jedoch ein Problem auftritt, wird eine Fehlermeldung ausgegeben und der Arduino geht in eine sogenannte Endlosschleife, bis das Programm neu geladen oder der Arduino ausgeschalten wird.

```
// sensor control
if(!CCS.begin()){
    Serial.println("Failed to start sensor! Please check your wiring.");
    while(1);
}
// wait for the sensor to be ready
while(!CCS.available());
```

Abbildung 5.5.: Codeausschnitt zur Sensor-Kontrolle im aus dem Quellcode

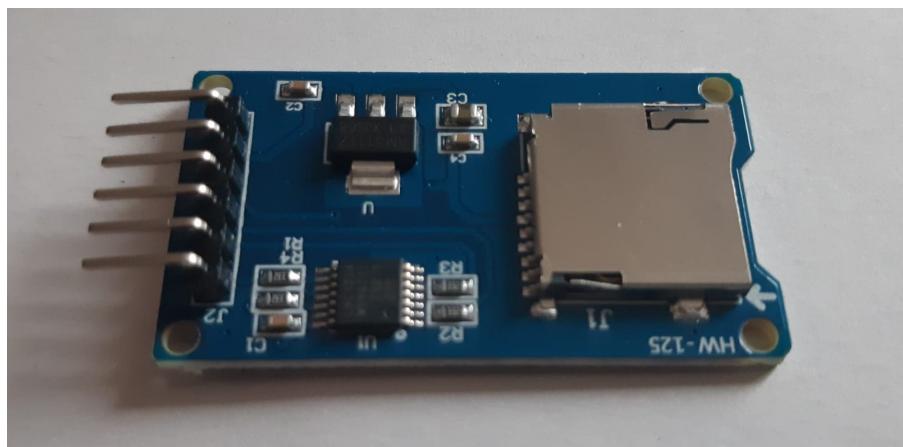
Die Abfrage der CO₂-Werten erfolgt über eine weitere Prüfung auf Fehler und einer darauffolgenden Messung. Das in Array dient hierbei zur Zwischenspeicherung der Daten. Anschließend werden die gespeicherten Informationen an die Mikro-SD-Karte weitergegeben. Näheres dazu in Kapitel 5.4.

```
while(i < NUMB_MEASURE){  
    // checks if co2-sensor is available  
    if(CCS.available()){  
        if(!CCS.readData()){  
  
            // measure co2 value  
            var_measure = CCS.geteCO2();
```

Abbildung 5.6.: Codeausschnitt für die Messung aus dem Quellcode

5.4. Mikro-SD-Karten-Adapter

Zunächst sollten die gemessenen CO₂-Werte auf dem Arduino selbst abgespeichert werden. Der EEPROM wäre dafür die Lösung gewesen. Jedoch besitzt dieser eine Speicherkapazität von 1KB. Bei größeren Messungen reicht das unter Umständen nicht aus, sodass eine Methode gefunden werden musste, in welcher die Daten extern vom Arduino abgespeichert werden können. Dazu haben wir den, in Abbildung 5.7 zu sehenden Mikro-SD-Karten-Adapter hinzugezogen. Hier können die gemessenen CO₂-Werte ohne Speicherprobleme gesichert werden.

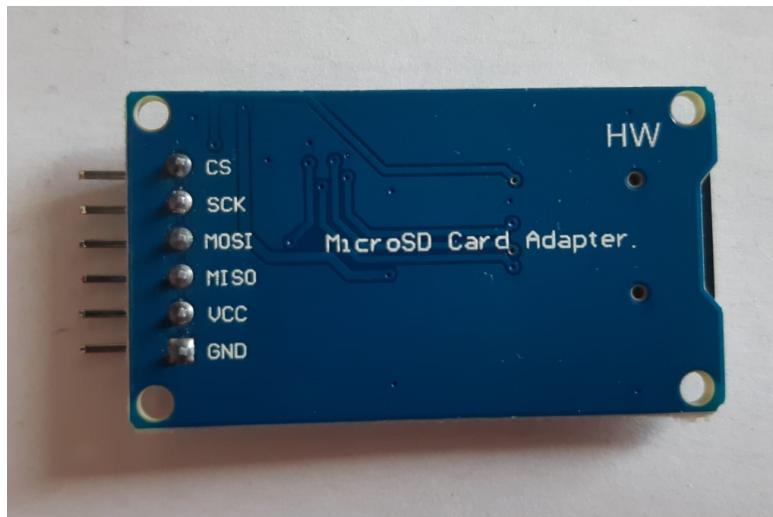


Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 5.7.: Verwendeter Mikro-SD-Karten-Adapter, mit Sicht auf dessen Vorderseite

Der Mikro-SD-Karten-Adapter ist über die, in Abbildung 5.8 zu sehenden PINs MISO, MOSI, SCK und CS, mit dem Arduino verbunden. Die komplementären PINs des Arduinos sind in Abbildung 4.4 zu sehen. Der Adapter benötigt zudem eine Versorgungsspannung von mindestens 4,5V bis maximal 5,5V zur Masse. [eba, vgl. S. 1]

Für die Integration der SD-Karte, muss zunächst die Bibliothek <SD.h> eingebunden werden.



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 5.8.: Verwendeter Mikro-SD-Karten-Adapter, mit Sicht auf dessen Rückseite

Anschließend wird eine globale Variable als File deklariert. In unserem Programmablauf wird die anschließende Initialisierung der SD-Karte zweimal durchgeführt. Das erste mal im Setup, vor dem Programmablauf. Die Begründung liegt darin, dass dem Benutzer bei fehlender SD-Karte schon vor der Auswahl des Messmodus eine Fehlermeldung angezeigt werden kann. Das zweite Mal wird die SD-Karte vor dem Start der Messung durchgeführt. Das hat den Hintergrund, dass die SD-Karte kurz davor entfernt werden könnte. Auch hier wird bei fehlender Karte der Benutzer durch eine Ausgabe informiert. Zudem wird das Programm anschließend neu gestartet.

Vor dem Start der Messung wird außerdem eine .txt-Datei auf der SD-Karte erstellt. Im Fall, dass eine gleichnamige Textdatei bereits existiert, wird diese zum schreiben geöffnet. An dieser Stelle wird im Programmcode auch definiert, dass der Arduino die SD-Karte beschreiben und nicht auslesen soll.

Während der Messung bleibt die SD-Karte geöffnet und der Arduino im Schreibe-Modus, so dass kein lokaler Speicher für die Übertragung der Daten benötigt wird. Somit können so viele Messungen durchgeführt werden, wie Speicherkapazität auf der SD-Karte vorhanden ist. Nach Beenden der Messung wird die Textdatei abgespeichert und geschlossen.

5.5. I^2C -Adapter

Aufgrund der hohen PIN-Belegung des LCD-Displays und den damit fehlenden digitalen Steckmöglichkeiten am Arduino, haben wir uns dazu entschieden, den in Abbildung 5.10 zu sehenden

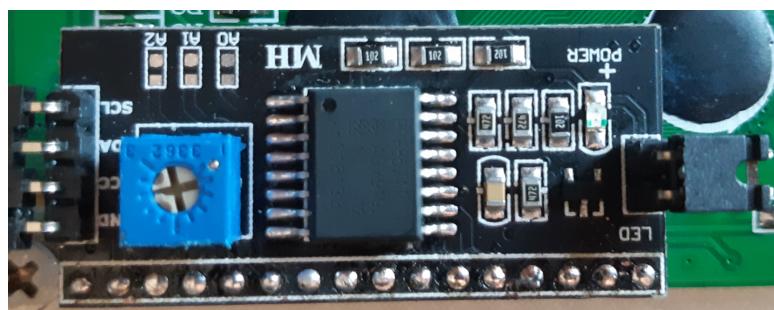
```
// sd-card control
if (!SD.begin(5)) {
    // error-warning
    Serial.println("Initialisation failed!");
    lcd.print("Initialisation");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("of SD failed");
    delay(8000);
    return;
}
```

Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 5.9.: Codeausschnitt zur Initialisierung der SD-Karte im Setup aus dem Quellcode

I²C-Adapter, zu verwenden.

Mit diesem Adapter ist es nun möglich, sechs digitale PINs, welche wir vorher hätten verwenden müssen, auf zwei analoge PINs zu reduzieren. Somit reichen die digitalen PINs am Arduino für drei Taster, einen CO₂-Sensor und eine Mikro-SD-Karten Adapter auf jeden Fall aus.



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 5.10.: Verwendeter I²C-Adapter

Die Implementierung des I²C-Adapters erfolgt über die Bibliothek <LiquidCrystal_I2C.h>. In dieser können die gleichen Befehle aufgerufen werden, welche schon in der Bibliothek <LiquidCrystal.h> genutzt werden konnten. Die restlichen Befehle funktionieren mit beiden Bibliotheken. Somit muss bei einer späteren Umrüstung nur wenig im Quellcode geändert werden. Die einzige Änderung muss bei der Adressvergabe und Größenangabe des LCD-Displays vorgenommen werden.

So konnten die Adressen am Arduino vorher durch das aneinanderreihen der digitalen PINs im Quellcode definiert werden. Zudem gab es im Setup eine weitere Zeile, in welcher die Anzahl der Zeichen und Reihen des Displays angegeben werden musste.

In Abbildung 5.11 ist der Codeausschnitt zu sehen, welcher zum einen die Adressen definiert,

zum anderen aber auch angibt, wie viele Zeichen und Reihen verwendet werden sollen. Durch drehen des Rades am grau-blauen Aufsatz, welcher in Abbildung 5.10 links im Bild zu sehen ist, wird der Kontrast eingestellt. Ein Vorwiderstand muss somit nicht händisch zwischen Arduino und LCD-Display geschaltet werden.

```
// set the lcd address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
```

Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 5.11.: Codeausschnitt zur Definition von Adresse und Anzahl der zu verwendenden Zeichen und Reihen

6. Hardware

@Serkant: Bitte auch noch das CAD-Modell einbinden!

7. Testing

Projekt: CO2-Sensor	Datum:
ID: CO201	Version: 1.0
Titel: Visualisierung der Luftqualität auf Basis von CO2-Grenzen	
Items: void ask(int)	TestKfg: 01
Zielsetzung: Der Test soll zeigen, dass die Software die gemessenen CO2-Werte richtig interpretieren kann.	
Anforderungen: R01	
Erforderliche Inputs zu Testbeginn: CO2 Werte	

Tabelle 7.1.: Testbeschreibung Test 1

Tester:	Beobachter:
Protokolldatei:	
Status:	Problemericht:

Tabelle 7.2.: Testprotokoll Test 1

Projekt: CO2-Sensor	Datum:
ID: CO202	Version: 1.0
Titel: Auswahl von verschiedenen Messprofilen	
Items: void ask(int)	TestKfg: 01
Zielsetzung: Der Test soll zeigen, dass der Anwender zwischen drei verschiedenen Messprofilen wählen kann.	
Anforderungen: R03	
Erforderliche Inputs zu Testbeginn: Anwender	

Tabelle 7.3.: Testbeschreibung Test 2

7. Testing

Tester: Alexander Herrmann	Beobachter: Johannes Ruffer
Protokoll:	
<p>Zunächst wurde der Arduino an den Laptop angeschlossen und somit das aktuelle Programm gestartet. Nach Auswahl des Schreibmodus, wurde das Messprofilmenü angezeigt. Nach drei UP-Button-Klicks, wurde der Messmodus 1 (Echtzeitmodus) mit dem Enter-Button bestätigt.</p> <p>Die anschließende Messung wurde in Echtzeit auf dem LCD-Display ausgegeben. Die abgespeicherten Messungen wurden ebenfalls in Echtzeit gemessen. Anschließend wurde das Programm neu gestartet, um den Modus 2 auszuwählen. Auch dieser wurde erfolgreich mit den richtigen Zeitintervallen durchgeführt.</p> <p>Der dritte Start des Programms diente dazu, die Tagesmessung auszuprobieren. Auch hier hat die Auswahl und Durchführung in Bezug auf die Testanforderungen erfolgreich funktioniert.</p>	
Status: Erfolgreich	Problemericht: Nicht vorhanden

Tabelle 7.4.: Testprotokoll Test 2

8. Handbuch

Die Tabellen 8.1, 8.2 und 8.3 geben allgemeine Informationen über die Verwendung von Tastern und die Interpretation von Ausgaben der LEDs und des LCD-Displays an.

Betätigung	Erklärung
Linker Taster	Durch Betätigung des linken Tasters, wird nach Beenden des begonnenen Programmdurchlaufs das Gerät in den Schlafmodus versetzt.
Mittlerer Taster	In der Menüauswahl dient dieser Taster zur Bestätigung des ausgewählten Menüpunktes. Befindet sich das Gerät im Schlafmodus, wird es durch Betätigung des Tasters wieder in den wachen Zustand versetzt. Das Hauptmenü wird anschließend angezeigt.
Rechter Taster	Dieser Taster dient zum Wechseln der Menüauswahl innerhalb der Menüs.

Tabelle 8.1.: Beschreibung der Taster-Funktionen

Lampen	Erklärung
Grün	Gute Luftgüte (bis 799ppm)
Gelb	Mäßige Luftgüte (800ppm - 1399ppm)
Rot	Schlechte Luftgüte (ab 1400ppm)
Blau	Fensterscheibenmotor öffnet

Tabelle 8.2.: Bedeutung der LEDs

Warnung	Erklärung
Initialisation of SD failed	Die Initialisierung der SD-Karte ist fehlgeschlagen. Kontrollieren Sie, ob die SD-Karte sich in dem dafür vorgesehenen Adapter befindet.
Failed to start sensor	Der CO ₂ -Sensor kann nicht angesteuert werden. Kontrollieren Sie die Steckverbindungen und betätigen Sie den Reset-Taster innerhalb des Gehäuses.
ERROR!	Die Kommunikation mit dem CO ₂ -Sensor ist fehlgeschlagen. Kontrollieren Sie die Steckverbindungen und betätigen Sie den Reset-Taster innerhalb des Gehäuses.
Textfile could not be found	Fehler beim erstellen oder schreiben der Textdatei.

Tabelle 8.3.: Bedeutung der Warnungen

8.1. Erste Schritte

Kontrollieren Sie zunächst, ob sich eine Mikro-SD-Karte in dem dazu vorgesehenen Adapter befindet. Schließen Sie das Gerät zur Inbetriebnahme an ein geeignetes Stromnetz an. Generell können Sie das Gerät ganz leicht mit Ihren Fingern bedienen, indem Sie die Taster auf der Oberfläche antippen.

8.2. Durchführung einer Messung

Sie befinden sich im Hauptmenü und möchten eine neue Messung starten.

- Wählen und bestätigen Sie dazu im Hauptmenü den Punkt <Start new Measurement>.

Anschließend können Sie zwischen drei Messmodi wählen.

- Wählen und bestätigen Sie im angezeigten Menü den Messmodus, in welchem Sie verfahren möchten.

Nach erfolgreichem Abschluss der Messung, kehren Sie in das Hauptmenü wieder zurück.

8.3. Auslesen einer Messung

Sie befinden sich im Hauptmenü, möchten die Mikro-SD-Karte entfernen und die letzte Messung auslesen.

- Wählen und bestätigen Sie im Hauptmenü den Punkt <Read last Measurement>.

Anschließend leuchten die LEDs in den Farben grün, gelb und rot auf. Sie können nun die Mikro-SD-Karte entfernen und ihre Messung analysieren. Lesen Sie dazu die Mikro-SD-Karte mit ihrem Computer aus.

- Öffnen Sie die .txt-Datei <MEASURE> mit Excel.
- Makieren Sie die angezeigten Werte und wählen Sie ein passendes Diagramm aus.

Ihre Messung wird nun als Funktion über die Anzahl der Messungen dargestellt. Bestätigen Sie nach dem Wiedereinfügen der SD-Karte mit dem mittleren Taster. Sie befinden sich nun wieder im Hauptmenü.

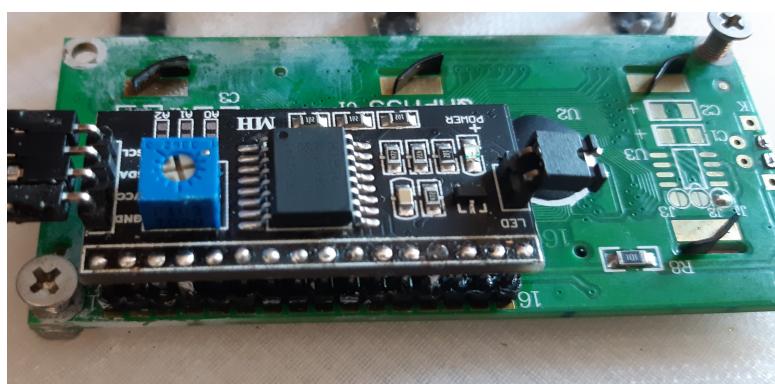
9. Installationsanleitung

Nachfolgend finden Sie eine Anleitung, wie Sie den CO₂-Messer in Betrieb nehmen. Bitte beachten Sie auch die zusätzlichen Hinweise.

Damit die Software erfolgreich vom Computer auf den Arduino geladen werden kann, müssen die folgenden Bibliotheken heruntergeladen sein:

- Adafruit_CCS811.h (Arduino driver für den CCS811 Gas-Sensor)
- SPI.h (Ermöglicht die Kommunikation mit dem Serial Peripheral Interface)
- Wire.h (Ermöglicht die Kommunikation über I^2C)
- LiquidCrystal.h (Zur Integration des LCD-Displays)

Zunächst muss der I²C-Adapter, wie in Abbildung 9.1 abgebildet ist, an das LCD-Display angeschlossen werden. Achten Sie auf die Richtung der beiden Elemente



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung 9.1.: Anschluss des I²C-Adapters an das LCD-Display

In der Tabelle 9.1 sind alle Verbindungen zwischen den einzelnen Komponenten mit dem Arduino aufgelistet. In Abbildung 4.4 ist das entsprechende Layout als Zeichnung zu finden. Achten Sie

9. Installationsanleitung

darauf, dass der Arduino während dieser Arbeit vom Stromnetz getrennt ist, um Kurzschlüsse zu vermeiden.

Nummer	Bauteil	Spezifikation	Anschlusspin Arduino
1	I ² C-Adapter	GND	GND
		SDA	A1
		SCL	A0
2	LEDs	Rot	A3
		Gelb	A2
		Grün	A1
		Blau	A0
3	Taster	Up-Button	12
		Enter-Button	13
4	CCS811	WAK	GND
		SDA	SDA
		SCL	SCL
		VCC	5V
5	Mikro-SD-Adapter	GND	GND
		MISO	D11
		MOSI	D10
		SCK	9
		CS	8
		VCC	5V

Tabelle 9.1.: Zuordnung der Pins

Auch die Vorwiderstände, welche Sie in Tabelle 9.2 sehen können, sind essentiell, um eine erfolgreiche Installation zu garantieren.

Nummer	Bauteil	Vorwiderstand
1	LEDs	330Ω
2	Taster	2KΩ

Tabelle 9.2.: Verwendete Vorwiderstände innerhalb der Schaltung

Bevor der Arduino an das Stromnetz geschlossen werden kann, kontrollieren Sie, ob sich eine Mikro-SD-Karte in dem dafür vorgesehenen Adapter befindet. Verbinden Sie anschließend das Gerät mit einer geeigneten Stromquelle. Das Menü öffnet sich und das Gerät ist installiert. Achten Sie darauf, dass der Arduino während einer Messung nicht von der Stromquelle getrennt wird.

10. Fazit

Verzeichnis verwendeter Abkürzungen und Formelzeichen

DHBW Duale Hochschule Baden-Würtemberg

MOX Metalloxid

AD Analog-Digital

LCD LiquidCrystal Display

HDMI High Definition Multimedia Interface

LED Light Emitting Diode

Literaturverzeichnis

- [ams16] AMS AG ; SPARKFUN (Hrsg.): *CCS811: Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality.* https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/1/4/3/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf. Version: 2016
- [.CiNS] *Kohlenstoffdioxid in Räumen messen und überwachen: CO₂ - Definition und Bedeutung.* <https://www.cik-solutions.com/anwendungen/co2-im-innenraum/>. Version: CiK SOLUTIONS
- [Dep] DEPARTMENT OF RESEARCH & DEVELOPMENT, DEPARTMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS (Hrsg.): *A Data Quality Measurement Information Model Based On ISO/IEC15939.* https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36881777/ICIQ2007-ADataQualityMeasurementInfromationModelBasedOnISOIEC15939.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_Data_Quality_Measurement_Information_M.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200310%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200310T081440Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=68ac8145994178d50baf90ab0a7557af4a341fa239938ed408aba2cd8a3c8e95
- [eba] EBAYSEARCH (Hrsg.): *Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader: Module for Arduino.* <http://datalogger.pbworks.com/w/file/fetch/89507207/Datalogger%20-%20SD%20Memory%20Reader%20Datasheet.pdf>
- [Gen16] GENERATION ROBOTS (Hrsg.): *Wählen Sie das passende Arduino Board aus - Leitfaden: Die Qual der Wahl beim Arduino Board.* <https://www.generationrobots.com/blog/de/auswahl-arduino-board/>. Version: 26.09.2016
- [Hel] HELGA MEYER, Heinz-Josef R.: *Projektmanagement: Von der Defi-*

nition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss. Bremen : Springer Gabler <https://books.google.de/books?id=1ho3CwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=projektmanagement+von+der+definition+%C3%BCber+die+projektplanung+zum+erfolgreichen+abschluss&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwi66ufKpY3oAhUF06YKHSFvB7wQ6AEIMjAB#v=onepage&q=projektmanagement%20von%20der%20definition%20%C3%BCber%20die%20projektplanung%20zum%20erfolgreichen%20abschluss&f=false>. – ISBN 978-3-658-07569-9

- [ION18] IONOS (Hrsg.): *Arduino vs. Raspberry PI: Mikrocontroller und Einplatinencomputer im Vergleich.* <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/arduino-vs-raspberry-pi/>. Version: 2018
- [Jay] JAY ABRAHAM, PAUL JONES, RAOUL JETLEY: *Formale Verifikationsmethoden für die Entwicklung von High-Integrity-Software für Medizinische Geräte.* <http://files.vogel.de/vogelonline/vogelonline/files/3092.pdf>
- [Jos00] JOSEPH SCHMULLER: *Jetzt lerne ich UML: Der einfache Einstieg in die visuelle Objektmodellierung.* 2. Markt+Technik, 2000. – ISBN 3-8272-6591-6
- [Mir18] MIRCO LANG ; HEISE ONLINE (Hrsg.): *Was ist ein Arduino.* <https://www.heise.de/tipps-tricks/Was-ist-Arduino-4035461.html>. Version: 2018
- [Pet09] PETER LIGGESMEYER: *Software-Qualität: Testen, Analysieren und Verifizieren von Software: Prof. Dr.-Ing.* 2. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 2009 <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-8274-2203-3.pdf>. – ISBN 978-3-8274-2056-5
- [ser20] SERTRONICS (Hrsg.): *Arduino Uno R3: Datenblatt.* <https://www.berrybase.de/Pixelpdfdata/Articlepdf/id/1/onumber/A000066>. Version: 19.03.2020
- [Umw17] UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): *Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft: Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluft-hygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden.* https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/kohlendioxid_2008.pdf. Version: 2017
- [Wik] WIKIPEDIA (Hrsg.): *Kohlenstoffdioxid in der Erdatmosphäre.* https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Kohlenstoffdioxid_in_der_Erdatmosph%C3%A4re&oldid=19000000.

wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid_in_der_Erdatmosph%C3%A4re

[Wik20a] WIKIPEDIA (Hrsg.): *Softwaretest*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Softwaretest#Literatur>. Version: 01.03.2020

[Wik20b] WIKIPEDIA (Hrsg.): *Arduino (Plattform)*. [https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_\(Plattform\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_(Plattform)). Version: 2020

Abbildungsverzeichnis

2.1. Entwurf des Use-Case-Diagramms mithilfe von Enterprise Architect	5
3.1. Ablauf des Projektes von Januar bis April	7
4.1. Entwurf des Zustandsdiagramms mithilfe von Enterprise Architect	10
4.2. Entwurf der Top-Level-Architektur	11
4.3. Entwurf des Komponentendiagramms mithilfe von Enterprise Architect	12
4.4. Entwurf des Schaltungslayouts mithilfe von Fritzing	13
5.1. Arduino Uno	17
5.2. Verwendeter CCS811-MOX-Gassensor	18
5.3. CCS811 Blockdiagramm	18
5.4. Inhalt der 8-Byte-Übertragung des CCS811-MOX-Sensors	19
5.5. Codeausschnitt zur Sensor-Kontrolle im aus dem Quellcode	19
5.6. Codeausschnitt für die Messung aus dem Quellcode	20
5.7. Verwendeter Mikro-SD-Karten-Adapter, mit Sicht auf dessen Vorderseite	20
5.8. Verwendeter Mikro-SD-Karten-Adapter, mit Sicht auf dessen Rückseite	21
5.9. Codeausschnitt zur Initialisierung der SD-Karte im Setup aus dem Quellcode	22
5.10. Verwendeter I ² C-Adapter	22
5.11. Codeausschnitt zur Definition von Adresse und Anzahl der zu verwendenden Zeichen und Reihen	23
9.1. Anschluss des I ² C-Adapters an das LCD-Display	33
A.1. Draufsicht auf fertig verbaute Hardware	I
A.2. Slot für Spannungsversorgung in fertig verbauter Hardware	I
A.3. Herausgelegter Mikro-SD-Karten-Adapter in fertig verbauter Hardware	II
A.4. Herausgelegter CO ₂ -Sensor in fertig verbauter Hardware	II

Tabellenverzeichnis

2.1. Anforderungen an das Projekt	4
3.1. Aufgewendete Kosten für das Projekt	8
7.1. Testbeschreibung Test 1	27
7.2. Testprotokoll Test 1	27
7.3. Testbeschreibung Test 2	27
7.4. Testprotokoll Test 2	28
8.1. Beschreibung der Taster-Funktionen	29
8.2. Bedeutung der LEDs	29
8.3. Bedeutung der Warnungen	30
9.1. Zuordnung der Pins	34
9.2. Verwendete Vorwiderstände innerhalb der Schaltung	34

A. Anhang

A.1. Weitere Abbildungen



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung A.1.: Draufsicht auf fertig verbaute Hardware



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung A.2.: Slot für Spannungsversorgung in fertig verbauter Hardware



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung A.3.: Herausgelegter Mikro-SD-Karten-Adapter in fertig verbauter Hardware



Quelle: eigene Aufnahme

Abbildung A.4.: Herausgelegter CO₂-Sensor in fertig verbauter Hardware