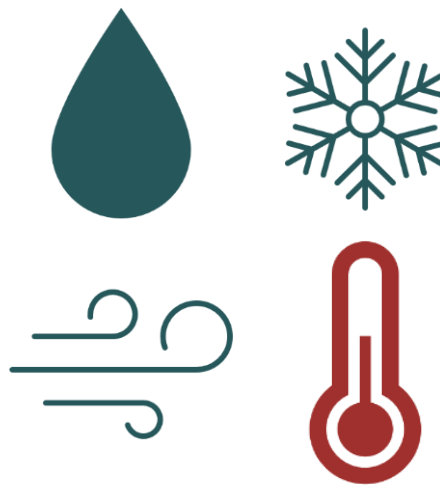

OPTIMIERUNG RAUMFÜHLER

Diplomarbeit



Auftraggeber:

 datenpunkt

2022

FLORIAN SANER

Dipl. Techniker HF Elektrotechnik

TEKO Schweizerische
Fachschule

I. Execute Summary

Die vorliegende Diplomarbeit gibt einen Einblick in die Gebäudeautomation, deren Wichtigkeit und dem vorhandenen Optimierungspotential.

Zu Beginn dieser Arbeit wird aufgeklärt, wieso das Raumklima wichtig für unsere Gesundheit und unseren Lebensraum ist. Danach wird beschrieben, ob eine Raumregulierung optimiert werden kann und falls ja, welche Massnahmen dafür getroffen werden müssen.

Anschliessend wird das Optimierungspotential von Raumfühlern ermittelt. Zudem soll ein Raumfühler entwickelt werden, der den Anforderungen der Firma datenpunkt engineering AG entspricht. Mit dem Raumfühler soll es möglich sein, die Messdaten so zu erfassen, dass eine effizientere Raumregulierung möglich ist. Zudem soll der Installationsaufwand für den Elektriker minimiert werden. Das zu entwickelnde Produkt soll die Basis für den Vertrieb von eigenen Raumfühlern werden. Für die Entwicklung und Funktionsgarantie der Platine wollte man eine Partnerfirma miteinbeziehen. Nach der ersten Kontaktaufnahme zeigte die Firma grosses Interesse. Man tauschte sich über das Vorhaben aus und die Chancen, für eine Zusammenarbeit, bis das Produkt marktfähig ist, standen gut. Man tauschte die Daten für eine grobe Kostenanalyse aus. Seit diesem Zeitpunkt gab es jedoch keine Rückmeldung mehr. Die Firma reagierte weder auf E-Mails noch auf Telefonate. Weil die Zeit zum Realisieren einer Leiterplatte langsam knapp wurde, fokussierte man sich dann vor allem auf die Planung des Raumfühlers.

In der Funktechnologie wird immer wie öfters auf die leistungslose Datenübertragung LoRaWAN gesetzt. Was LoRaWAN ist, welche Eigenschaften LoRaWAN besitzt und wie LoRa in der Gebäudeautomation eingesetzt wird, wird am Ende dieser Dokumentation beschrieben.



II. Inhaltsverzeichnis

I.	Execute Summary	1
II.	Inhaltsverzeichnis.....	2
III.	Darstellungsverzeichnis.....	4
IV.	Abkürzungsverzeichnis	6
V.	Projektdatei	7
VI.	Beruflicher Wertegang	8
VII.	Der Weg zum Ziel	9
1.	Raumklima	10
1.1.	Allgemein.....	10
1.2.	Faktoren für ein gesundes Raumklima [8]	10
1.2.1.	Luftfeuchtigkeit [6]	10
1.2.2.	Temperatur.....	12
1.2.3.	CO ₂ & VOC	13
2.	Raumregulierung optimieren	15
3.	Raumfühler	17
3.1.	Wichtigkeit von Raumfühlern	17
3.2.	Raumfühler optimieren	18
4.	Realisieren von Raumfühler	19
4.1.	Auswahl der Komponenten.....	19
4.1.1.	Sensorauswahl.....	19
4.1.2.	Datenverarbeitung	21
4.1.3.	Spannungsversorgung [27].....	22
4.2.	Leiterplatte	23
4.2.1.	Blockschaltbild.....	23
4.2.2.	Schema	24
4.2.3.	Design	27
4.2.4.	Kosten für ein Exemplar	29
4.3.	Programmierung	30
4.4.	Gehäusedesign	31



5. LoRa in der Gebäudeautomation	33
5.1. Allgemein [29] [30]	33
5.2. Funktion [32]	33
5.3. Einsatzgebiet von LoRa.....	34
5.4. Konzept für die Gebäudeautomation	34
VIII. Schlusswort	35
IX. Danksagung	36
X. Quellenangaben.....	37
XI. Anhang.....	40
XII. Eigenständigkeitserklärung	41



III. Darstellungsverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1 Logo Diplomarbeit [33]	0
Abbildung 2 Logo Arbeitgeber [1]	0
Abbildung 3 Logo Fachschule [2].....	0
Abbildung 4 Vergleich der Sättigungsmenge zur absoluten Feuchte	11
Abbildung 5 CO ₂ -Grenzwerte [9]	13
Abbildung 6 Skala CO ₂ Konzentration [10]	13
Abbildung 7 VOC-Grenzwerte [11].....	14
Abbildung 8 CO ₂ -Ampel [12].....	17
Abbildung 9 Logo Sensirion [13]	19
Abbildung 10 SHT45, Temperatur- und Feuchtesensor [14]	19
Abbildung 11 SCD41, CO ₂ -Sensor [15].....	20
Abbildung 12 SGP40, VOC-Sensor [16]	20
Abbildung 13 Linse für Bewegungsmelder [18]	21
Abbildung 14 IRA-S220ST01A01 Bewegungsmelder [17]	21
Abbildung 15 STM32 Mikrocontroller [19]	21
Abbildung 16 SX1262 LoRa-Transmitter [20].....	21
Abbildung 17 CubeCell HTCC-AB01 Mikrocontroller [21].....	21
Abbildung 18 LM2596S Abwärtsregler [22]	22
Abbildung 19 Aluminiumkondensator [24].....	22
Abbildung 20 LQH3NPH101MMEL Spule [25].....	22
Abbildung 21 BAS40 Diode [26]	22
Abbildung 22 S1A Diode [23]	22
Abbildung 23 Schema Spannungswandlung	22
Abbildung 24 Blockschaltbild	23
Abbildung 25 Schema Einspeisung.....	24
Abbildung 26 TE_28512-4 Anschlussklemme [28].....	24
Abbildung 27 Schema Schnittstelle der Leiterplatten.....	25
Abbildung 28 Schema Sensoren.....	25
Abbildung 29 Schema Bewegungsmelder	25
Abbildung 30 Schema Schnittstelle Mikrocontroller	26
Abbildung 31 Design Spannungsplatine [34]	27
Abbildung 32 Design Sensorplatine [35]	28
Abbildung 33 State Chart [36].....	30
Abbildung 34 Design Grundplatte [37]	31
Abbildung 35 Design Sockel mit Spannungsplatine [37].....	31
Abbildung 36 Design Sockel [37]	31



Abbildung 37 Design Halterung Sensorplatine [37]	31
Abbildung 38 Design Halterung mit Sensorplatine [37].....	31
Abbildung 39 Design Distanzstück [37]	31
Abbildung 40 Design Gehäuse [37]	32
Abbildung 41 LoRa Übertragungstester [31]	34

Tabellen

Tabelle 1 Sättigungsmenge von Wasserdampf in der Luft	11
Tabelle 2 Kostenzusammenstellung.....	29

Formeln

Formel 1 Relative Feuchte.....	11
Formel 2 Elektrische Leistungsberechnung	15
Formel 3 Thermische Leistungsberechnung	15

Gleichungen

Gleichung 1 Beispiel relative Feuchte bei 15°C.....	11
Gleichung 2 Beispiel relative Feuchte bei 25°C.....	11



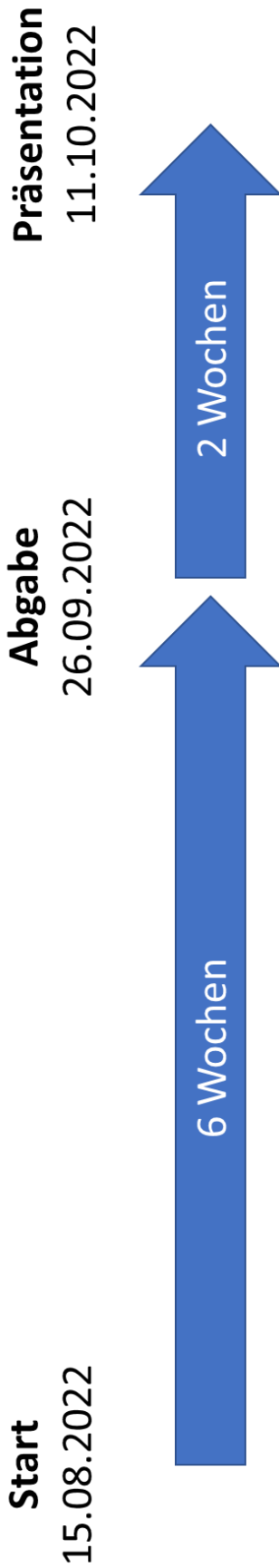
IV. Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius	
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	
HLK	Heizung Lüftung Klima	
LNS	LoRa Netzwerkserver	
LoRa	Long Range	
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network	
LPWAN	Low Power Wide Area Network	
ppb	Stück pro Milliarden Stücke	parts per billion
ppm	Stück pro Millionen Stücke	parts per million
r.F	relative Feuchte	
VOC	flüchtige organische Stoffe	Volatile Organic Compounds



V. Projektdaten

[1] [2]



Projektleiter:
Florian Saner

Diplomlehrer:
Silvan Wirt

Partnerfirma:
Hengartner-Elektronik-AG
s.m.k-Technik-GmbH

Auftraggeber:


Fachschule:

Schweizerische
Fachschule

VI. Beruflicher Wertegang

(Kompetenzprofil im Anhang)

- [1]
- [2]
- [3]
- [4]
- [5]

Beruflich



Elektro Harder & Partner AG



Berufslehre als Elektroinstallateur EFZ:

08.2013 – 07. 2017

Bei Elektro Harder & Partner AG

Angestellt als Elektroinstallateur:

07.2018 – 07.2020

Bei Elektro Harder & Partner AG



Angestellt als Elektroinstallateur:

08.2020 – 09.2020

Bei Elektrotechnik Henzi AG

Diplomarbeit
Optimierung Raumfühler

Weiterbildungen



Militär:

Einheit: Mob Flab Lwf Abt. Papier

RS: 07.2017 – 10.2017

UOS: 10.2017-06.2018

Weiterbildung:

Dipl. Techniker Elektrotechnik HF

10.2019 – 10.2022

Bei TEKO Basel



Angestellt als Junior Projektingenieur:

09.2020 – heute

Bei datenpunkt engineering AG



VII. Der Weg zum Ziel

Während dem das Pflichtenheft erstellt wurde, wurde klar, dass die Entwicklung eines Raumfühlers nicht ganz so einfach wird. Deshalb wurden zwei Elektronikfirmen angeschrieben mit dem Ziel, dass sie dieses Projekt mitentwickeln würden. Nach einem kurzen mündlichen Austausch zeigten beide Firmen ihr Interesse. Über das weitere Vorgehen würde man zu einem späteren Zeitpunkt, wenn das erste Schema gezeichnet ist, diskutieren. Nachdem das Diplomthema von der Fachschule bestätigt wurde, begann man direkt mit dem Erstellen des Schemas. Zu Beginn der zweiten Woche wurde das Schema fertiggestellt und an die erste Firma gesendet. Diese würde den Entwurf überprüfen und eine Kosteneinschätzung abgeben. Für diese Arbeit würde sie acht Arbeitstage brauchen. Dieser Zeitraum war perfekt, um weitere Informationen zu sammeln und um sich mit dem Design des Raumfühlers zu beschäftigen. Als die acht Arbeitstage vorbei waren kam keine Rückmeldung der Elektronikfirma. Deshalb wurde per Mail nachgefragt, wie das weitere Vorgehen aussehen würde. In der zwischen Zeit hatte man sich gründlicher über die einzelnen Komponenten informiert und festgestellt, dass die Bauform von einigen Teile zu gross war. Deshalb wurden kleinere Bauteile ausgewählt und einen neuen Entwurf erstellt. Dieser Entwurf wurde dann der Elektronikfirma per Mail verschickt. Es gab jedoch nie eine Antwort auf dieses Mail. Deshalb versuchte man die Kontaktperson telefonisch zu erreichen. Es wurde aber niemand erreicht. Mit der Hoffnung auf einen Rückruf wurde weitergearbeitet. Man informierte sich zusätzlich über das Raumklima, damit die Wichtigkeit von Raumfühlern belegt werden kann. In der vierten Woche, als die Antwort der ersten Firma immer noch pendent war, wurde der Entwurf der zweiten Firma geschickt. bis diese Firma reagiert hat, verging eine Woche. In dieser Woche wurden sämtliche Dokumente, die nicht in die Dokumentation gehören erstellt. Ebenfalls wurde weiter versucht, die erste Firma telefonisch zu erreichen. Jedoch wieder ohne Erfolg. Als die zweite Firma dann sich gemeldet hat, stellte sich heraus, dass diese nur in der Leiterplattenproduktion tätig ist und nicht im Entwickeln von ganzen Schaltkreisen. Somit wurde das Ziel zum Realisieren einer Leiterplatte auf Eis gelegt. Denn innerhalb von zwei Wochen wird es kaum möglich sein, dieses Projekt erfolgreich zu entwickeln. Deshalb wurde lediglich die bisherige Entwurfsarbeit dokumentiert. Das Projekt wird jedoch in der Firma weiterverfolgt und man wird versuchen, einen neuen Partner zu finden, mit dem das Ziel von einem eigenen Produkt wahr werden kann.



1. Raumklima

1.1. Allgemein

Das Raumklima spielt eine grosse Rolle in unserem Leben. Denn wir verbringen den grössten Teil unserer Lebenszeit in Gebäuden. Deshalb ist es wichtig, dass das Raumklima gesund und angenehm ist. Oft redet man auch von der Behaglichkeit. Für ein behagliches Raumklima spielen vier messbare Faktoren eine Rolle: Luftfeuchtigkeit, Temperatur, CO₂ und VOC.

1.2. Faktoren für ein gesundes Raumklima [8]

1.2.1. Luftfeuchtigkeit [6]

Die Luftfeuchte hat einen grossen Einfluss auf unsere Gesundheit. Durch zu trockene Luft kann es zu trockenen Augen kommen, das Infektionsrisiko und Asthmaattacken erhöhen sich, die Haut wird brüchig und die Wundheilung reduziert sich. Kommt es sogar zu einer Dehydration können Schlaflosigkeit und Konzentrationsschwierigkeiten auftreten.

Es ist bekannt, dass gerade im Winter die Luft in Gebäuden oft trocken ist. Dabei wird die Verbreitung von Viren begünstigt. Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40-60% sind Viren durch Salze in den Tropfen deaktiviert. Steigt die Luftfeuchte, so werden diese Tropfen grösser und könne keine grossen Distanzen mehr zurücklegen. Sinkt die Luftfeuchte, so werden die Tropfen kleiner, das Salz kristallisiert und es bildet sich eine Schutzschicht um die Viren. Dadurch überleben die Viren länger, können sich, auf Grund ihres geringeren Gewichts, über eine grössere Distanz verbreiten und werden somit ansteckender. Zudem trocknet sich die Schleimhaut beim Menschen aus und erhöht die Anfälligkeit einer Infektion. Eine zu hohe Luftfeuchte kann wiederum unserer Gesundheit schaden kann. Denn Viren, Bakterien und Milben fühlen sich in einer feuchten Umgebung besonders wohl. Dazu ist es die optimale Grundlage für Schimmelpilzbildung und den dadurch entstehenden Bauschäden. Besonders in nichtbeheizten Räumen mit offenen Türen zu beheizten Räumen.

Eine optimale Luftfeuchte bei einer Temperatur von 22°C liegt zwischen 40-60% relativer Feuchte. In diesem Bereich ist das Risiko von Krankheitsübertragung gering, der Körper kann sich besser schützen und selbst heilen. Die Ausbreitung von Viren, Schimmelpilze, Bakterien und Milben ist ebenfalls sehr gering.



Erläuterung relative Feuchte (r.F) [7]

Die Luft kann nur eine bestimmte Menge Wasser aufnehmen. Wird dieser Menge überschritten, bildet sich Nebel oder sogar Regen. Diese Grenze wird Sättigungsmenge bezeichnet. Warme Luft kann auf Grund der geringeren Dichte mehr Wasser aufnehmen wie kalte Luft und hat daher eine höhere Sättigungsmenge wie kalte Luft. Dies ist in der Tabelle gut ersichtlich. Wird kalte Luft ohne Befeuchtung erwärmt, so bleibt die Wassermenge gleich. Weil aber warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann, sinkt die relative Feuchtigkeit und die Luft wird trocken.

Tabelle 1 Sättigungsmenge von Wasserdampf in der Luft

Bei einer Temperatur von...	- 5 °C	0 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
...beträgt die Sättigungsmenge des Wasserdampfes...	3,2 g/m ³	4,8 g/m ³	9,4 g/m ³	12,8 g/m ³	17,5 g/m ³	23,0 g/m ³	30,3 g/m ³	39,5 g/m ³

Die relative Feuchte (r.F) ist das Verhältnis der tatsächlichen (absoluten) Feuchte zur Sättigungsmenge.

Formel 1 Relative Feuchte

$$\text{relative Luftfeuchtigkeit} = \frac{\text{absolute Luftfeuchtigkeit} \times 100}{\text{Sättigungsmenge}} \%$$

Beispiel:

Bei einer Temperatur von 15°C und 6 Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 46%. Bei einer Temperatur von 25°C und gleichbleibender Wasserdampfmenge beträgt die relative Feuchtigkeit nur noch 26%.

Gleichung 1 Beispiel relative Feuchte bei 15°C

$$\frac{6 \text{ g/m}^3 \times 100}{12,8 \text{ g/m}^3} \% \text{ r.F} = 46\% \text{ r.F}$$

Gleichung 2 Beispiel relative Feuchte bei 25°C

$$\frac{6 \text{ g/m}^3 \times 100}{23 \text{ g/m}^3} \% \text{ r.F} = 26\% \text{ r.F}$$

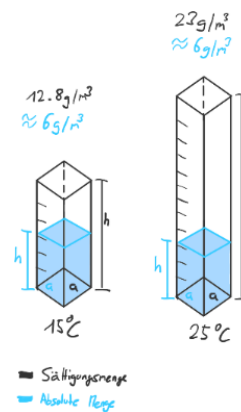


Abbildung 4 Vergleich der Sättigungsmenge zur absoluten Feuchte



1.2.2. Temperatur

Eine angenehme Temperatur ist nicht nur ein Luxus für Bewohner und Arbeiter. Langfristig wirkt es auch positiv auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und steigert die Produktivität. Die optimale Raumtemperatur unterscheidet sich in zwei Kategorien: Räume, in denen man wohnt, lebt und arbeitet, und die Räume, in denen man schläft.

Das Schlafzimmer wird in der Regel tagsüber wenig oder nicht benutzt. Und niedrige Temperaturen sorgen für einen gesunden Schlaf. Deshalb sind Temperaturen zwischen 16 – 19°C im Schlafzimmer optimal. Bei einer Temperatur von 22°C im Raum bringt der Mensch die beste Leistung. Darum beträgt eine optimale Raumtemperatur in belebten Räumen 20 – 26°C.



1.2.3. CO₂ & VOC

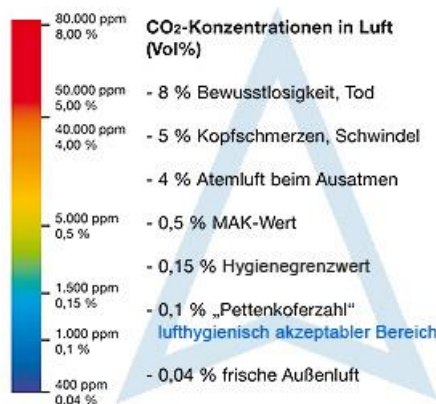
Für ein gesundes Raumklima spielen auch die Konzentrationsmenge von Kohlenstoffdioxid (CO₂) und VOC im Raum eine wichtige Rolle. Emissionen aus Oberflächen wie Bodenbeläge und Möbel werden als «Volatile Organic Compounds» (VOC) bezeichnet; oder auf Deutsch: «flüchtige organische Verbindungen».

CO₂ wirkt in einer geringen Konzentration als ungiftig auf den Menschen. Eine erhöhte Konzentration kann jedoch schon zu Konzentrationsmangel, Kopfschmerzen oder Schwindel führen. Eine zu hohe CO₂-Konzentration kann Bewusstlosigkeit auslösen oder sogar tödlich sein. Den Grenzwert für hygienische Luft legt die Pettenkoferzahl fest. Gemäss Pettenkofer gilt Luft ab einem CO₂-Wert von 0.1Vol% als «verbraucht». Das entspricht 1000 Kohlenstoffdioxid Molekülen auf 1 Million Luftteilchen (parts per million, ppm). Hierbei wird der Mensch durch sein Ausatmen als Hauptquelle der Luftverschmutzung angesehen. In der Schweiz gilt, laut «Art. 16 der Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz» einen CO₂-Wert unter 1000ppm als gute Raumluft.

Abbildung 5 CO₂-Grenzwerte [9]

CO ₂ -Konzentration in der Raumluft [ppm]	Luftqualität Gesundheitsschutz	Raumluftqualität Klassierung gemäss SN 546 382/1 (mechanisch belüftete Räume)
≤ 1'000*	gut bis sehr gut	hoch (RAL 1) mittel (RAL 2)
> 1'000...1'400	mässig	mässig (RAL 3)
> 1'400...2'000	niedrig	niedrig (RAL 4)
> 2'000	hygienisch inakzeptabel Gesundheitsstörungen möglich in natürlich belüfteten Räumen: Handlungsbedarf 2'000 ppm (als Spitzenwert): → Regelmässiges Stoss- bzw. Querlüften → Bessere Raumbelüftung prüfen.	hygienisch inakzeptabel mechanisch belüftete Räume: → technische Überprüfung der Anlage und Plandaten etc.

Abbildung 6 Skala CO₂ Konzentration [10]



Flüchtige organische Verbindungen bestehen aus unterschiedlichen Schadstoffen, die verschiedene Symptome auslösen können. Die gesundheitliche Gefahr reicht von Geruchsbelästigung und Atemwegs- und Augenreizen über akute Vergiftungen bis hin zu Langzeitschäden wie Leber- und Nierenschäden oder Krebs, je nach Ausmass der Belastung. Besonders gefährdet sind Personen mit einem schwachen Immunsystem. Der unbedenkliche Grenzwert liegt bei 400ppb (parts per billion). Das heisst 400 Molekül auf 1 Milliarde Luftteilchen sind unbedenklich.

Abbildung 7 VOC-Grenzwerte [11]

Bezeichnung	Grenzwerte VOC
Umweltbundesamt - hygienisch unbedenklich	<1 mg/m ³ – unter 150 bis 400 ppb (parts per billion)
Umweltbundesamt - hygienisch auffällig	1 bis 3 mg/m ³ – 400 bis 1300 ppb
Umweltbundesamt - hygienisch auffällig	3 bis 10 mg/m ³ – 1300 bis 4000 ppb
Umweltbundesamt - hygienisch inakzeptabel	>10 mg/m ³ – über 4000 ppb



2. Raumregulierung optimieren

Wenn es in der Gebäudeautomation um Optimierung geht, müssen oftmals Betriebskosten gesenkt werden. Somit werden Investitionen getätigt, um später die Betriebskosten zu senken. Für das muss eine Strategie gefunden werden, wie man den Energiebedarf senken kann für gleichbleibende Raumklimabedingungen.

Wenn man von Energiesparen redet, denken viele Leute an irgendwelche Verbraucher wie Lampen, Motoren, Heizungen oder ähnliches. In der Gebäudeautomation werden Räume als Verbraucher betrachtet. Denn für ein behagliches Raumklima muss eine bestimmte Energie an den Raum abgegeben werden. Die Menge dieser Energie ist abhängig vom Raumvolumen, Standort, dem Verwendungszweck und der Störgrössen im Raum. Störgrössen sind Dinge, die Wärme oder Kälte an den Raum abgeben, welche nicht zum Heiz-, Lüftungs- oder Kältesystem (HLK-System) gehören. Elektrische Geräte und auch der Mensch produzieren Abwärme, welche an den Raum abgegeben werden. Der Raum kann auch die Energie durch schlechte Isolation nach aussen abgeben. Dies können undichte Fenster, falsche Türen oder das Isolationsmaterial selbst sein.

Damit die nötige Energie zur Verfügung gestellt werden kann, braucht es eine korrekt dimensionierte Energieerzeugungsanlagen und Energieverteilung. Dieses Funktionsprinzip ist sehr gut mit unserem Stromnetz vergleichbar. Denn im HLK-System gibt es auch Verbraucher, die eine bestimmte Leistung abgeben. Diese können sie aber auch nur abgeben, wenn die Erzeugung diese Energiemenge produziert und im System die Energie richtig verteilt wird. Wärme oder Kälte zu speichern ist jedoch wesentlich einfacher als die Stromspeicherung. Die Leistungsberechnung ist auch sehr ähnlich. In der Elektrotechnik wird die Spannungsdifferenz mit der magnetischen Durchflutung multipliziert. Und in der Wärmelehre wird die Temperaturdifferenz mit der Wärmekapazität und der Menge des Energieträgers, Wasser, Luft, Kältemittel oder ähnliches, multipliziert.

Formel 2 Elektrische Leistungsberechnung

$$P = U \times I =$$

- „P“ Elektrische Leistung in Watt [W]
- „U“ Spannung in Volt [V]
- „I“ Strom in Ampere [A]

Formel 3 Thermische Leistungsberechnung

$$Q = \frac{m \times c \times \Delta K}{t} = m \times c \times \Delta K$$

- „Q“ Wärmeenergie in Joule [J]
- „m“ Masse in Kilogramm [kg]
- „c“ ist die spezifische Wärmekapazität in Joule pro Kilogramm mal Kelvin [J / (kg · K)]
- „ΔK“ ist die Temperaturänderung in Kelvin [K]



Wenn in der Elektroindustrie etwas optimiert werden soll, sind Faktoren wie kleinere Bauteile und steigende Effizienz unerlässlich. Für das müssen die Komponenten besser aufeinander abgestimmt werden. So ist es auch in der Gebäudeautomation. Die Komponenten müssen perfekt aufeinander abgestimmt sein, damit die höchste Effizienz erreicht werden kann. Steigende Effizienz erreicht man auch durch Minimieren der Verluste. Auch die Verluste in einem HLK-System sind vergleichbar mit dem Stromnetz. Grundsätzlich kann man Energie nicht erzeugen, sondern nur umwandeln. Dies geschieht auch in HLK-Anlagen. Man wandelt entweder Strom in Wärme um oder man verändert den Aggregatzustand von Medien und überträgt die entstehende Wärme oder Kälte auf das HLK-System. Oftmals werden beide Methoden verwendet. Beim Umwandeln von Energie entstehen immer Verluste. Beim Transportieren der Energie geht auch immer eine kleine Menge an Energie verloren. Und auch wenn die Komponenten über- oder unterdimensioniert, entsteht eine Verlustleistung. Ein korrekter hydraulischer Abgleich ist das «A» und «O» für die Inbetriebnahme von HLK-Systemen. Mit dem hydraulischen Abgleich gleicht man die Verteilung der Wasser- oder Luftmenge auf die Menge ab, die der Verbraucher maximal benötigt. Wird dieser Abgleich nicht richtig ausgeführt, so verteilt sich die Energie nicht wie geplant im Gebäude und eine richtige Regulierung der Energie wird unmöglich.

Fazit: Die Optimierung einer Raumregulierung kann nur bis zu einem Teil programmierbar optimiert werden. Somit ist es wichtiger, dass alle Bauteile im System korrekt dimensioniert, korrekt verbaut und korrekt eingestellt sind. Nur mit einer korrekten Dimensionierung aller Komponenten im System und einer effizienten Regelung kann die höchste Energieeffizienz erreicht werden und dadurch die Betriebskosten gesenkt werden. Demnach ist es besonders wichtig, dass die Bau- und HLK-Planer mit den richtigen Zahlen die Gebäude berechnen und daraus die korrekt dimensionierten Komponenten bestimmen und dass die Handwerker ihren Job korrekt und sauber bis zum Schluss, mit allen Kontrollen, ausführen.



3. Raumfühler

3.1. Wichtigkeit von Raumfühlern

Wenn es um die Regulierung des Raumklimas geht, ist der Raumfühler ein wichtiges Bauteil. Der Raumfühler referenziert das Klima im Raum. Anhand der Messwerte können Luft, Wärme und Kälte Bedarfsgerecht aufbereitet und verteilt werden. Oftmals ist es jedoch so, dass Raumfühler eingesetzt werden, die nur die Temperatur messen. Denn zum Regulieren der Raumtemperatur reicht diese Führungsgrösse aus. Hätte man jedoch noch Messwerte wie Feuchte, Luftqualität und Anwesenheit, könnte man die Energieverteilung effizienter bereitstellen. Denn wird ein Raum nicht benutzt, kann dem Regler mehr Zeit zum Nachkorrigieren gegeben werden. So kann die Energie ruhiger geregelt werden. Hat ein Raum keine regulierte Lüftung, so kann man die relative Feuchte und die Luftqualität schlecht regulieren. Deshalb sind in diesem Fall Luftqualitäts- und Feuchtesensoren nicht nötig. Für ein gesundes Raumklima können sie aber durchaus eine wichtige Rolle spielen, auch wenn sie nicht für die automatisierte Regulierung eingesetzt werden. Mit den Messdaten der Luftqualität oder der relativen Feuchte können auch Signallampen wie die CO₂-Ampel gesteuert werden. So kann bei schlechter Raumqualität der Raumbenutzer aufgefordert werden, etwas dagegen zu unternehmen. Sei das Lüften oder aktives Be- oder Entfeuchten. Beispielsweise mit einem portablen Gerät.

Fazit: Je mehr Messdaten vorhanden sind, desto besser kann ein Gesundes Raumklima erhalten werden.



Abbildung 8 CO₂-Ampel
[12]



3.2. Raumfühler optimieren

Raumfühler sind für den Elektriker einfach zum Montieren. Dose setzen, Kabel verlegen, anschliessen, einschalten und fertig!

Jedoch gibt es einige Faktoren, die dabei berücksichtigt werden müssen, dass es eine repräsentative Messung vom Raum gibt. Denn bei der Unterputzmontage kann es sein, dass das Installationsrohr aus einem anderen Raum kommt. Hat dieser Raum eine andere Temperatur, so kann durch das Rohr ein Luftzug entstehen. Dieser Luftzug wiederum kann die Messung direkt beeinflussen. Deshalb muss man diese Rohre abdichten. Der Standort ist auch ein wichtiger Punkt für die Messung. Wird der Raumfühler durch die Sonne bestrahlt, elektrische Geräte oder ist er in einem Durchzug montiert, können die Messwerte auch verfälscht werden. Nachdem diese Faktoren berücksichtigt wurden, ist die Ausrichtung entscheidend. Bei den meisten Fühlern ist fest definiert, welche Seite oben ist. Ist die Ausrichtung falsch können sich die Elemente gegenseitig beeinflussen. Zum Beispiel haben Feuchte Sensoren ein Hezelement integriert, das die Sensoroberfläche trocknet. Wenn dieses Element unterhalb der Temperaturmessung ist, wird die Abwärme des Messelements gemessen und nicht die Raumluft. Deshalb ist es wichtig, dass die Montage sauber und korrekt ausgeführt wird.

Die Übertragung der Messwerte für die Raumregulierung kann mit verschiedenen Technologien realisiert werden. Sei das über analoge 0-10V Eingänge, bei denen zwischen 0 und 10V der Messbereich liegt, oder über digitale Bussysteme wie Modbus, KNX, LON, Profibus, ENOCAN, LoRa, usw. bei denen mehrere Messwerte über die gleiche Verbindung übertragen werden.

In der Gebäudeautomation hat man für ein Leitsystem oftmals nur eine bestimmte Anzahl Datenpunkte zur Verfügung. Andernfalls muss man ein Upgrade-Paket dazu kaufen. Deshalb wird darauf geachtet, dass möglichst viele Datenpunkte über eine kostengünstige Schnittstelle eingebunden werden. Diese Pakete sind von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

Fazit: Bei einem Raumfühler kann an zwei Stellen optimiert werden. An der Bauform und an der Datenübertragung. Diese Punkte versucht man in diesem Projekt zu optimieren.



4. Realisieren von Raumfühler

4.1. Auswahl der Komponenten

4.1.1. Sensorauswahl

Bei der Auswahl der Sensoren wurde ausschliesslich auf Produkte von Sensirion gesetzt. Diese Firma baut zuverlässige und qualitativ hochstehende Sensoren für weltweite Märkte wie zum Beispiel die Autoindustrie, Medizintechnik und eben für die HLK-Industrie. Zudem werden die Sensoren über die I²C-Schnittstelle ausgelesen. Nur zum Erfassen der Anwesenheit wurden Komponenten von anderen Herstellern verwendet.

Abbildung 9 Logo Sensirion [13]

SENSIRION

Temperatur und relative Feuchte

Für die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessung wurde der kombinierter Sensor SHT45 eingesetzt. Dieser kann Temperaturwerte von -40 bis +125°C und Feuchtigkeit von 0-100% relativer Feuchte messen. Die beiden Sensoren haben eine Genauigkeit von 0.1°C zwischen 0 - 60°C und 1% r.F zwischen 20 – 70%r.F. Die Messwerte haben eine Auflösung von zwei Nachkommastellen, das entspricht 16-bit. Zudem benötigt der Sensor eine Spannungsversorgung von 3.3V und hat einen mittleren Stromverbrauch von 1.2uA. Maximal werden 75mA für das integrierte Heizelement verwendet. Wird der Feuchtesensor durch die Luftfeuchtigkeit zu feucht schaltet das Heizelement ein und trocknet ihn wieder aus.

Abbildung 10 SHT45, Temperatur- und Feuchtesensor [14]



Luftqualität CO₂

Um den CO₂-Gehalt in der Luft zu messen, wird der Sensor SCD41 eingesetzt. Sein Messbereich liegt zwischen 400 und 5000ppm und somit im optimalen Bereich zum saubere Luft Messen. Für die Raumautomation muss der Sensor keine höheren Werte messen, denn wie schon erwähnt sind Messwerte über 5000ppm kritisch und zeigen nur einen dringenden Bedarf für frische Luft. Der Sensor hat eine Genauigkeit von 40ppm. Der Messwert hat eine 16-bit Auflösung. Der Sensor kann mit einer Spannung von 3.3V oder 5V versorgt werden. Der mittlere Stromverbrauch liegt bei 3 mA. Der maximale Stromverbrauch bei 205mA.

Abbildung 11 SCD41, CO₂-Sensor [15]



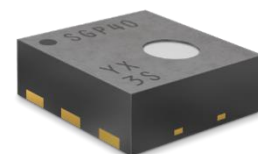
Luftqualität VOC

Um die Anzahl von flüchtigen organischen Verbindungen, VOC, in der Luft zu messen, wird der Sensor SGP40 eingesetzt. Sein Messbereich liegt zwischen 0 – 500VOC-Index. Sensirion verwendet den VOC-Index für die Messwertausgabe.

Der VOC-Index ist das optimale Werkzeug zur Überwachung der VOC-Bedingungen. Der VOC-Index beschreibt den aktuellen VOC-Status in einem Raum relativ zu den Sensordaten der vergangenen 24h. Auf diese Weise verhält sich der VOC-Index wie eine menschliche Nase. Angenommen, wir betreten einen Raum von außen, nutzt unsere Nase die Luftzusammensetzung außerhalb des Raumes als Offset (Baseline) und liefert uns ein Feedback, wenn es höhere oder niedrigere VOC-Werte erkennt, wenn wir den Raum betreten. Der VOC-Index führt eine ähnliche Berechnung durch Verwenden eines gleitenden Durchschnitts über die letzten 24 Stunden (genannt „learning Zeit“) als Offset.

Der Sensor hat eine Genauigkeit von 5VOC-Index. Er kann mit einer Spannung von 3.3V versorgt werden. Der mittlere Stromverbrauch liegt bei 34uA. Der maximale Stromverbrauch liegt bei 3mA. Die Messwerte haben eine 16-bit Auflösung.

Abbildung 12 SGP40, VOC-Sensor [16]



Anwesenheit

Mit dem Infrarot-Bewegungsmelder, IRA-S220ST01A01 von muRata, und der Linse, IML-0685 von muRata, soll die Anwesenheit detektiert werden. Das Signal soll über einen Signaleingangspin auf dem Mikrocontroller erfasst werden. Der Bewegungsmelder kann mit einer Spannung von 2V – 15V versorgt werden. Wird eine Bewegung erkannt, so wird der Output mit einer auf High gezogen.

Abbildung 14 IRA-S220ST01A01
Bewegungsmelder [17]



Abbildung 13 Linse für
Bewegungsmelder [18]



4.1.2. Datenverarbeitung

Für die Datenverarbeitung war wichtig, dass ein Arduino programmierbarer Mikrocontroller eingesetzt wird. Zu Beginn der Diplomarbeit wurde der Fokus auf den Mikrocontroller STM32F030C8 und den LoRa-Transceiver SX1262 gelegt. Diese Bauteile sind auf einigen Raumfühler wiederzufinden. Auf Grund der fehlenden Unterstützung von einer Partnerfirma wurde dann das Entwicklerboard «CubeCell HTCC-AB01» von Heltec verwendet. Der Umgang mit diesem Mikrocontroller war vertraut. Auf diesem ist der gleiche LoRa-Transceiver mit einem ASR6051 Mikrocontroller verbaut. Er kann mit 3.3V versorgt werden und hat eine durchschnittliche Stromaufnahme bei maximaler Sendeleistung von 105mA.

Abbildung 15 STM32
Mikrocontroller [19]



Abbildung 16 SX1262
LoRa-Transmitter [20]



Abbildung 17 CubeCell HTCC-AB01 Mikrocontroller [21]



4.1.3. Spannungsversorgung [27]

Der Raumfühler kann mit einer 24V Wechsel (AC) oder Gleichspannung (DC) versorgt werden, welche auf 3.3VDC Betriebsspannung gewandelt wird. Diese Wandlung erfolgt mit dem Abwärtsregler LM2596S. Für die Spannungsgleichrichtung wird am Eingang eine S1A Diode in Serie geschaltet und ein Aluminiumkondensator parallel zwischen 24V und GND. Die Diode verhindert somit in Sperrrichtung, dass sich der Kondensator bei negativem Sinus in Richtung Quelle entladet. Der LM2596S wandelt dann das gleichgerichtete Signal auf 5VDC herunter.

Nachgeschaltet kommt eine SS24 Schottky Diode als Schutzdiode, die bei zu hoher Spannung durchschlägt und die gesamte Schaltung mit dem Ground verbindet. Eine LQH3NPH101MMEL Spule wird ausgangseitig in Serie geschaltet, um grosse Strompeaks zu kompensieren. An diese Spule wird wieder ein Stützkondensator nach GND angeschlossen. Damit man von 5V auf 3.3V kommen werden fünf BAS40 Dioden in Serie geschaltet. Diese haben eine Durchlassspannung von 0.38V. Dies gibt einen Spannungsabfall von 1.9V und somit eine Spannung von 3.1V. Dies Spannung ist richtig, weil alle Komponenten mit 3V betrieben werden können.

Abbildung 18 LM2596S Abwärtsregler [22]

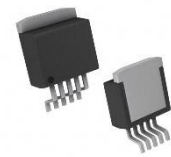


Abbildung 22 S1A Diode [23]



Abbildung 19 Aluminiumkondensator [24]



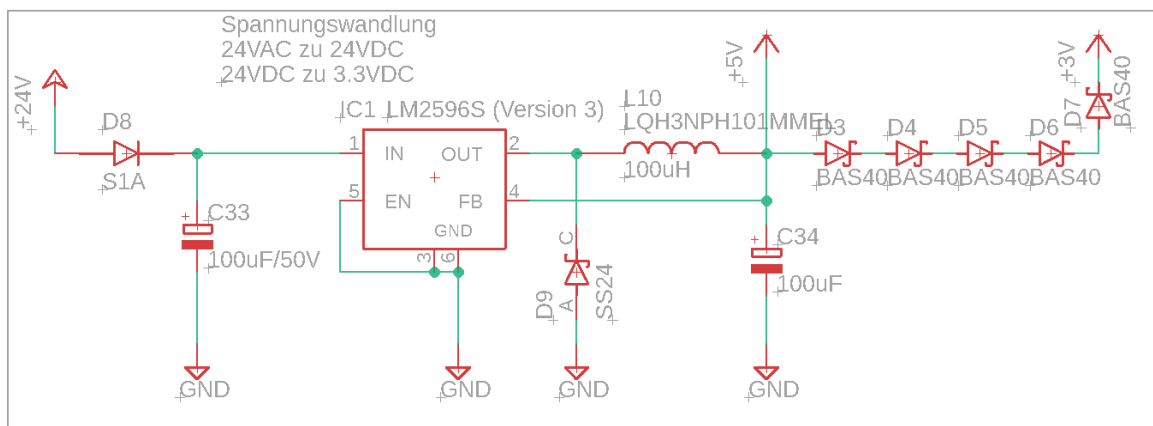
Abbildung 20 LQH3NPH101MMEL Spule [25]



Abbildung 21 BAS40 Diode [26]



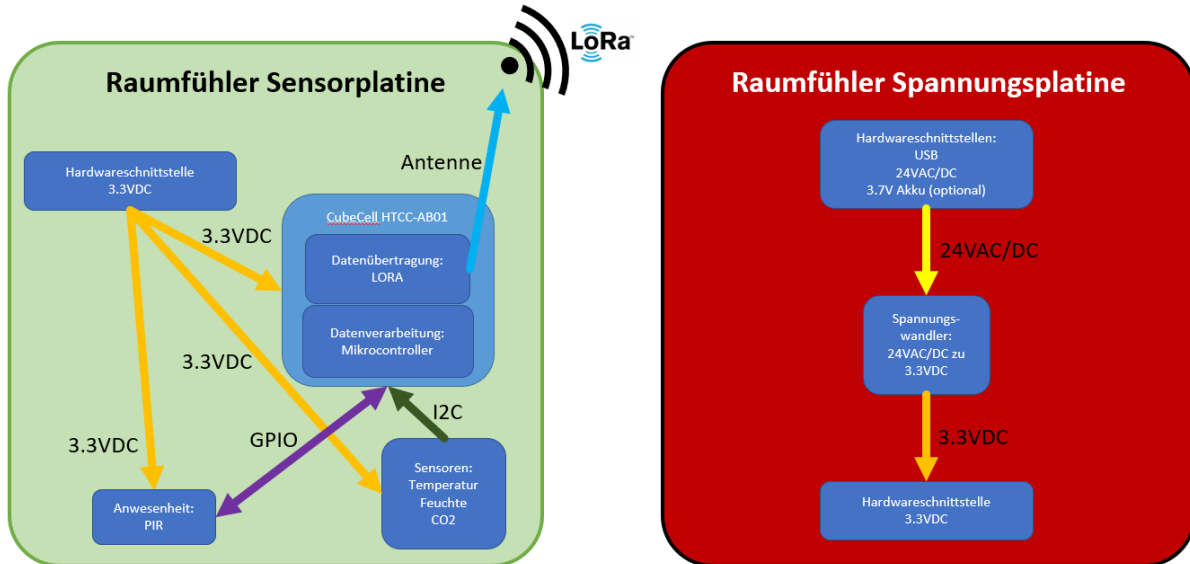
Abbildung 23 Schema Spannungswandlung



4.2. Leiterplatte

4.2.1. Blockschaltbild

Abbildung 24 Blockschaltbild



Die Realisierung des Raumfühlers erfolgt auf zwei Leiterplatten. Auf der ersten Platine sind alle Sensoren und die Datenverarbeitung zu finden und auf der zweiten die Spannungswandlung. Dafür gibt es drei Gründe. Der Hauptgrund ist die Abwärme der Spannungswandlung. Beim Wandeln von elektrischer Energie entsteht immer eine Abwärme. Diese Abwärme kann die Messdaten verfälschen. Deshalb ist es besser, wenn die Spannungswandlung auf einer anderen Ebene stattfindet. Der zweite Grund ist die Flexibilität. So kann zum einen der Elektriker im Voraus die Spannungswandlung installieren. Damit erst kurz vor der Inbetriebnahme die Sensoren und die Abdeckung montiert werden können. Gleichzeitig kann man auch die Spannungswandlung anpassen, damit man den Raumfühler auch mit anderen Spannungsgrössen versorgen kann. Der dritte Grund ist, dass die Leiterplatte in ein Unterputz Schaltergehäuse passen sollte. Und alle Bauteile auf einer Leiterplatte brauchen zu viel Platz.



4.2.2. Schema

Das Schema wurde gemäss den Datenblätter der Komponenten erstellt. Sämtliche Datenblätter sind im Anhang zu finden. Im folgenden Abschnitt wird zuerst die Einspeisung, die Spannungswandlung und die Schnittstelle dargestellt. Im Anschluss werden die Verbindungen der Sensoren und die des Mikrocontrollers gezeigt.

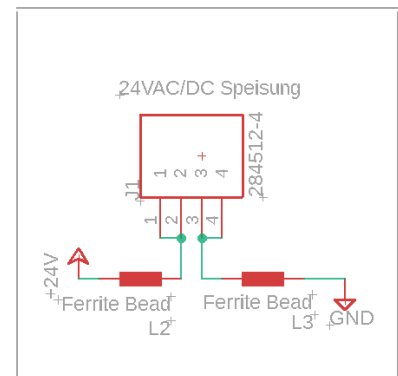
Einspeisung

Die Einspeisung soll Steckbar sein, dafür wurde die Buchse TE_284512-4 eingesetzt. Für die Entstörung der Netzunreinheit werden Ferritkerne verwendet.

Abbildung 26 TE_28512-4 Anschlussklemme [28]



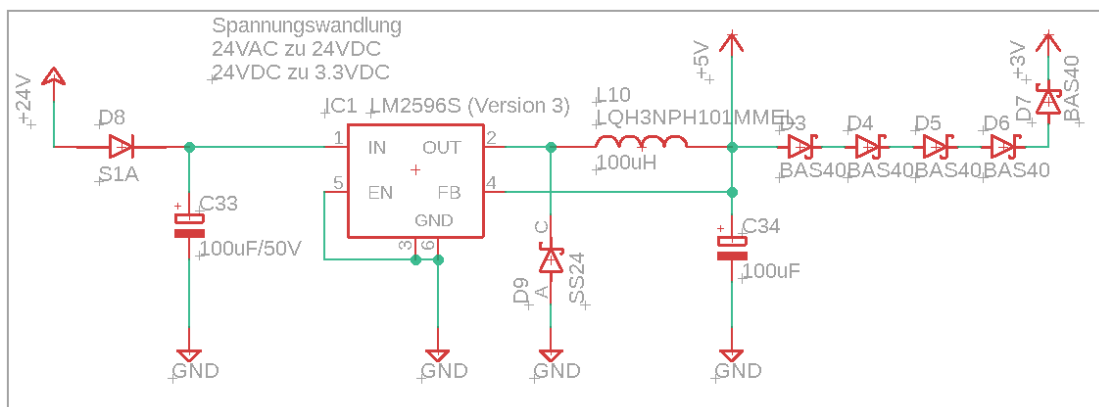
Abbildung 25 Schema Einspeisung



Spannungswandlung

Der Aufbau der Spannungswandlung wurde im Kapitel 4.1.3 ausführlich erläutert.

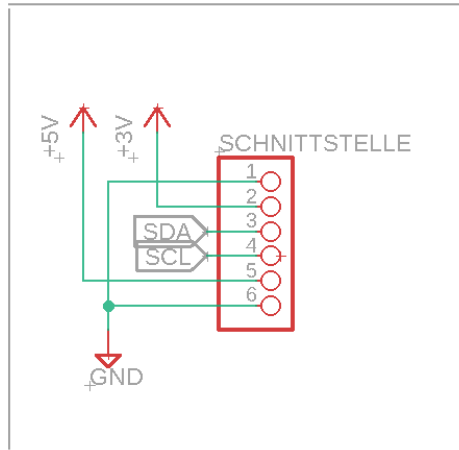
Abbildung 23 Schema Spannungswandlung



Schnittstelle

Die Schnittstelle der beiden Leiterplatten wurden mit sogenannten Pinhead realisiert. Auf die kann ein Flachkabel gesteckt werden, welches die Platinen miteinander verbindet.

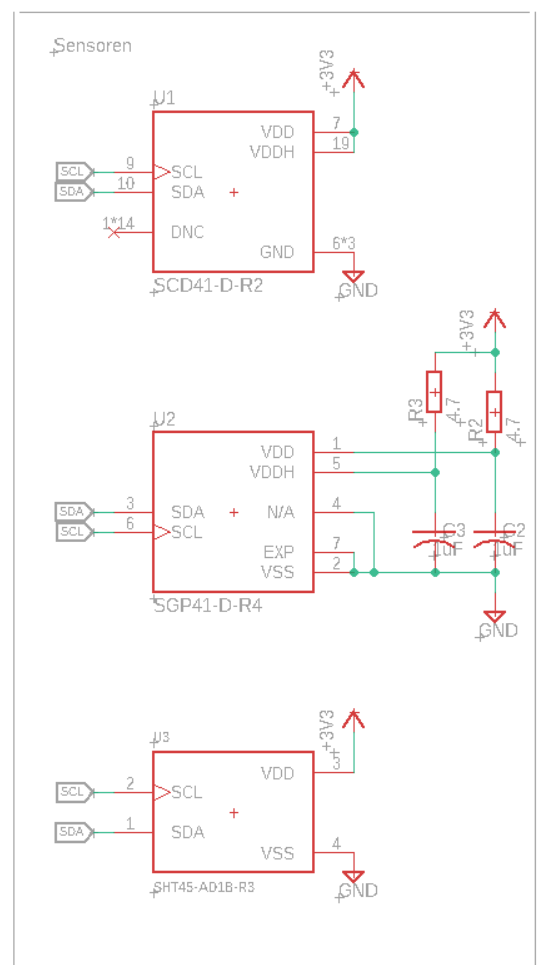
Abbildung 27 Schema Schnittstelle der Leiterplatten



Sensoren

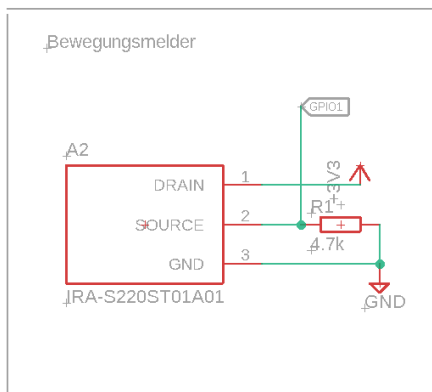
Die Sensoren von Sensirion werden mit dem I²C-Bus verbunden. Beim VOC-Sensor SGP41 müssen, gemäss Datenblatt, die beiden Anschlüsse, VDD und VDDH, entkoppelt werden. Dies wird mit einem RC-Glied realisiert.

Abbildung 28 Schema Sensoren



Der Bewegungsmelder schaltet bei einer Infraroterkennung den Ausgang SOURCE auf HIGH. Damit das Signal sauber erfasst werden kann, wird diese Leitung mit einem Pull-Down Widerstand nach Ground gezogen.

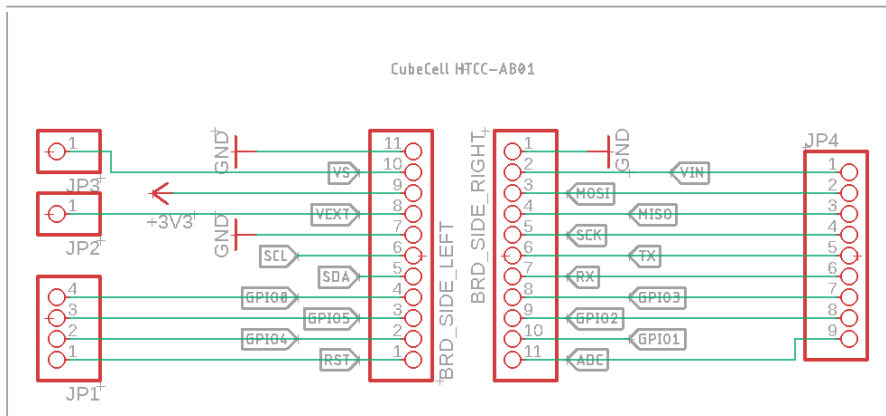
Abbildung 29 Schema Bewegungsmelder



Mikrocontroller

Weil der Mikrocontroller auf einem Entwicklerboard daherkommt, werden seine Anschlüsse auf Pinheader geführt. Beim Leiterplattendesign wird dann darauf geachtet, dass der Abstand der beiden Pin-Reihen BRD_SIDE_LEFT und BRD_SIDE_RIGHT dem Abstand des Mikrocontrollers entspricht.

Abbildung 30 Schema Schnittstelle Mikrocontroller

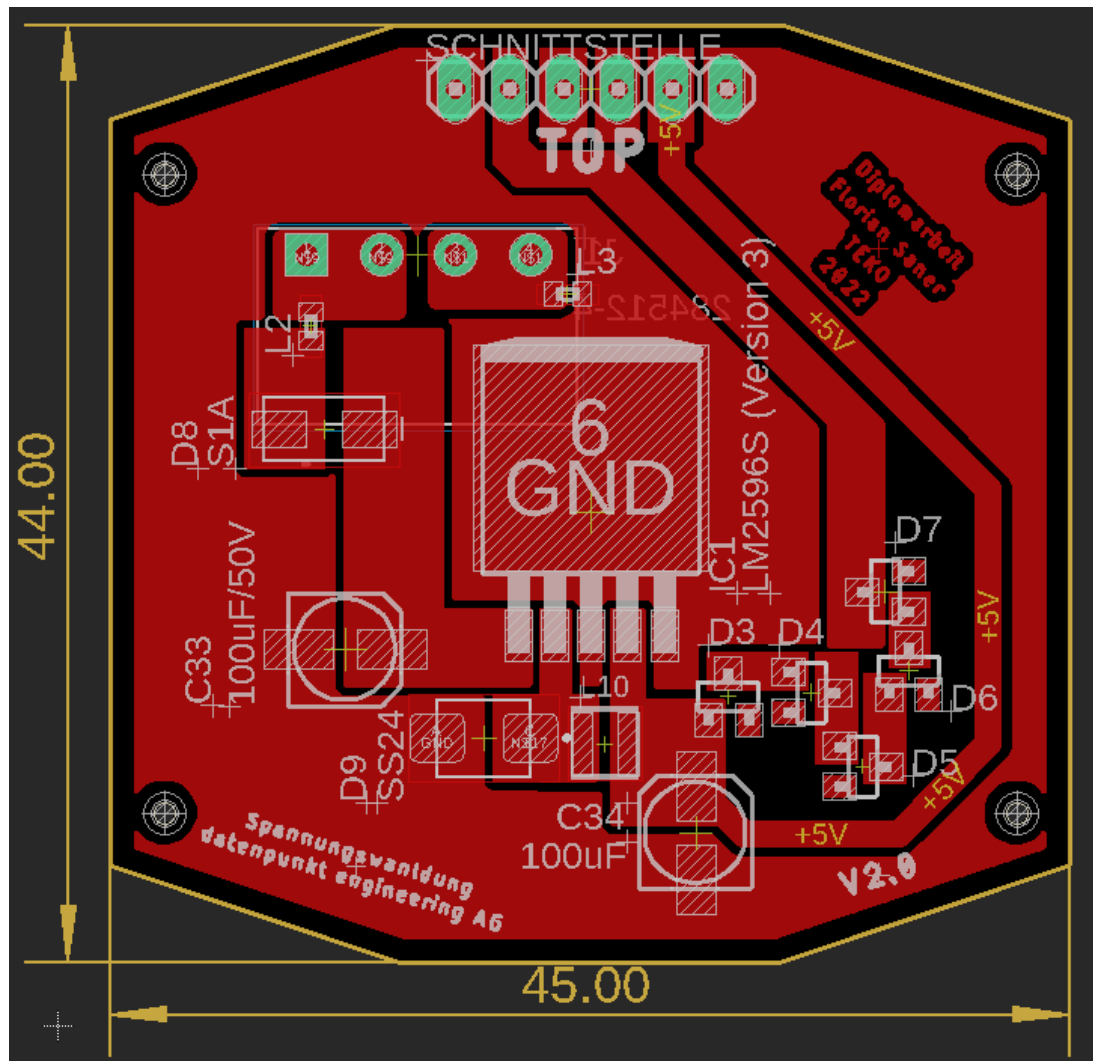


4.2.3. Design

Versorgungsplatine

Die Komponenten wurden so angeordnet, dass die Drähte auf der Rückseite angeschlossen werden. So sind die Bauteile von mechanischen Einflüssen geschützt und eventuelle Kurzschlüsse durch Kabelschirme oder Drahtstücke können verhindert werden. So sind die Bauteile der Spannungswandlung zwischen den beiden Platinen verbaut.

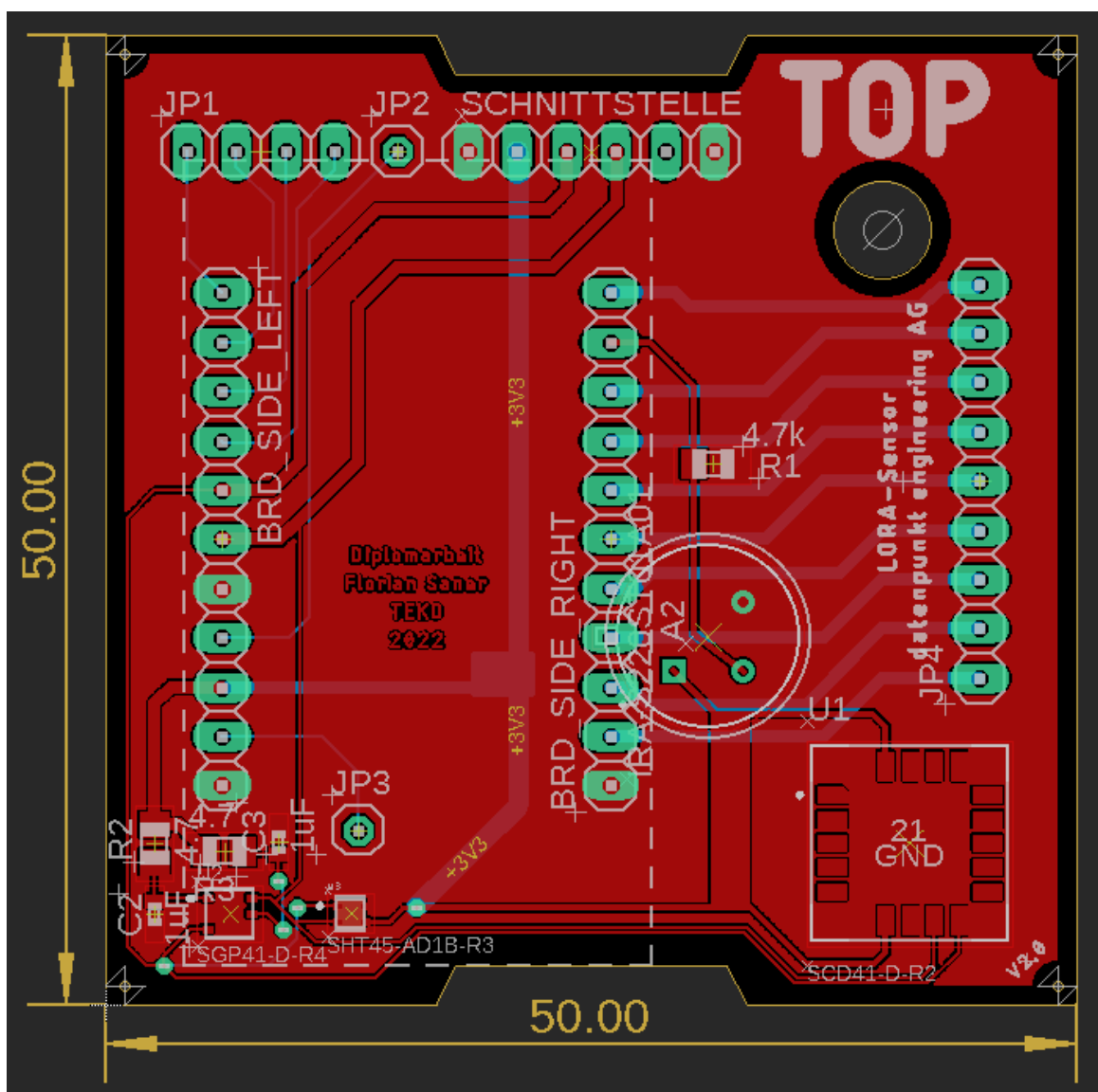
Abbildung 31 Design Spannungsplatine [34]



Sensorplatine

Die Anordnung der Sensoren hat die höchste Priorität. Diese Elemente müssen am unteren Platinen Rand positioniert sein. Die Position des Bewegungsmelder ist ebenso gegeben. Das Gehäusedesign gibt den Ausschnitt vor. So bleibt nur noch wenig Platz um den Mikrocontroller platzieren. Deshalb wird dieser auf der Rückseite aufgesetzt. Sämtliche Anschlüsse des Mikrocontrollers, welche nicht benutzt werden, werden auf Pinheader geführt. Die Stifte werden jedoch nicht eingelötet. So entstehen zudem kleine Löcher in der Platine. Durch diese kann die Luft zirkulieren und somit den Luftstrom durch den Raumfühler fördern. So erhalten die Messelemente referenzierende Werte.

Abbildung 32 Design Sensorplatine [35]



4.2.4. Kosten für ein Exemplar

Folgend sieht man die Kostenzusammenstellung aller Komponenten, die es für die Herstellung eines Exemplars benötigt.

Tabelle 2 Kostenzusammenstellung

Was	Artikel	stk. Preis	stk.	Preis
Sensorplatine				
Temperatur und Feuchte sensor	SHT 45	CHF 8.00	1	CHF 8.00
CO2 Sensor	SCD41	CHF 40.00	1	CHF 40.00
VOC Sensor	SGP40	CHF 10.00	1	CHF 10.00
PIR	IRA-S220ST01A01	CHF 6.00	1	CHF 6.00
Mikrocontroller				
Kondensator 1uF	C0402C105K8PAC7411	CHF 0.13	2	CHF 0.26
Widerstand 4.7kOhm	CR0805-FX-4701ELF	CHF 0.01	1	CHF 0.01
Widerstand 4.7Ohm	CR0805-J/-4R7EL	CHF 0.01	2	CHF 0.02
Zwischentotal				CHF 79.29
Spannungsplatine				
Anschluss Klemme	284512-4	CHF 1.60	1	CHF 1.60
Abwärtsregler	LM2596S	CHF 7.00	1	CHF 7.00
Gleichrichterdiode	S1A	CHF 0.50	1	CHF 0.50
Alu-Elektrolytkondensator 100uF	865230657013	CHF 0.80	2	CHF 1.60
Schottky Diode	SS24	CHF 0.40	1	CHF 0.40
Spule	LQH3NPH101MMEL	CHF 0.40	1	CHF 0.40
Diode	BAS40	CHF 0.60	5	CHF 3.00
Ferrite Bead	BLM15HB121SN1	CHF 0.01	2	CHF 0.02
Anschluss Pin	PINHD-1X12	CHF 1.60	5	CHF 8.00
Leiterplatte	PcbWay	CHF 3.00	2	CHF 6.00
Zwischentotal				CHF 28.52
				Total CHF 107.81

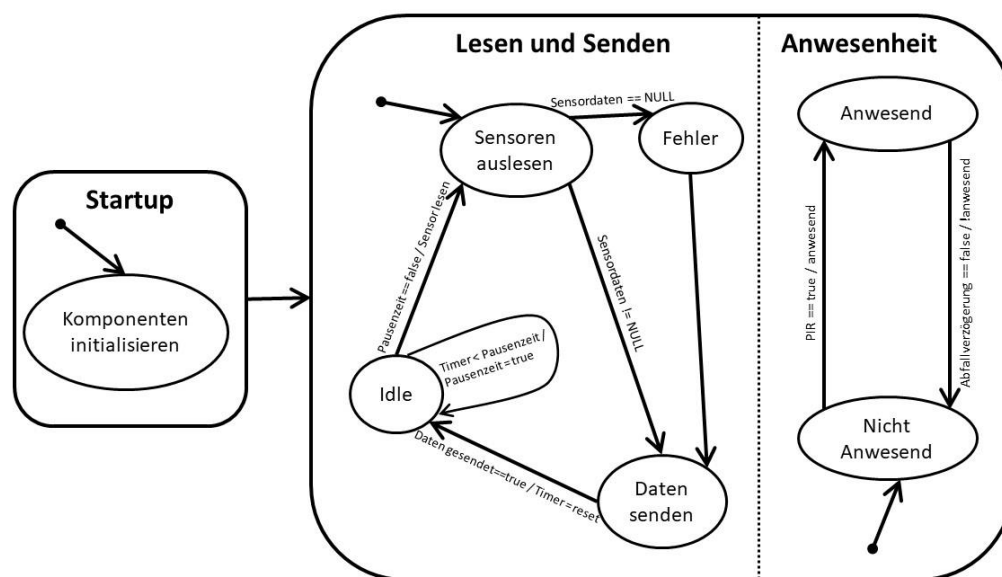


4.3. Programmierung

Weil die Leiterplatte nicht realisiert werden konnte, fehlte die Möglichkeit den Raumfühler zu programmieren. Trotzdem wurde ein State Chart entwickelt welches für eine spätere Entwicklung als Grundlage dienen wird.

Das Programm soll folgendermassen ablaufen. Beim Einschalten des Geräts, werden alle Komponenten initialisiert und gestartet. Nachdem das Aufstarten erfolgreich war, springt das Programm in den Betriebsmodus. Der Betriebsmodus hat zwei parallelaufende Aufgaben. Die erste Aufgabe ist das Auslesen der Messdaten sowie das Versenden dieser. Weil die Sendezeit von LoRa wegen der «FairUsePolicy» beschränkt ist, werden die Daten in einem speziellen Intervall versendet. Grob berechnet hat das Sendepaket des Raumfühlers eine Datengrösse von 21 Bytes (12 Bytes Verbindungsdaten, je 2 Byte für Temperatur, Feuchte, CO₂, und VOC, 1 Byte für die Anwesenheit und Reserve). Abhängig von der Sendeleistung variiert die Wartezeit zum Senden der Daten zwischen 163 und 4270 Sekunden innerhalb von 24 Stunden. Die Wartezeit kann auch kürzer sein, solange die Anzahl Nachrichten innerhalb von 24 Stunden gleichbleibt. So kann der Sendeintervall während der Arbeitszeit erhöht werden. Wobei er bei nicht Belegung wieder reduziert werden muss. Wird bei den Sensoren der Wert NULL ausgelesen, so wird eine Fehlermeldung abgesetzt. Die Messdaten werden mit einem bestimmten Wert überschrieben, der als Fehlerfall vordefiniert wird. Somit weiss das Gebäudeleitsystem, dass dieser Raumfühler einen Fehler hat. Die zweite Aufgabe ist, dass eine Bewegung im Raum erfasst wird. Dieses Signal muss zu jeder Zeit ausgelesen werden können. Wird eine Bewegung angezeigt, soll die boolesche Variabel auf «TRUE» gesetzt werden. Erst nachdem das Datenpaket versendet wurde, wird die Variabel wieder auf «FALSE» gesetzt.

Abbildung 33 State Chart [36]



4.4. Gehäusedesign

Damit der Raumfühler an einer Wand befestigt werden kann, müssen die beiden Leiterplatten in ein Gehäuse verbaut werden. Für dieses Projekt wurde ein Gehäuse entwickelt, das aus den folgenden vier Teile besteht.

Grundplatte

Die Grundplatte wird direkt an der Wand befestigt. Auf der Grundplatte werden dann die weiteren Teile aufgebaut.

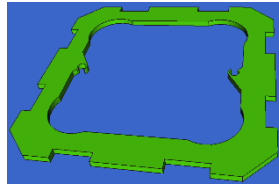


Abbildung 34 Design Grundplatte [37]

Sockel

Der Sockel wird auf der Grundplatte angeschraubt. In die Vertiefung auf der Oberseite wird die Spannungsplatine befestigt. Dadurch hat diese einen genügenden Abstand zur Wand.

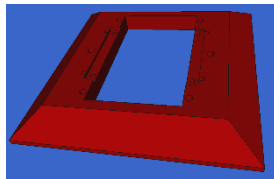


Abbildung 36 Design Sockel [37]

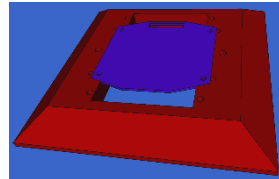


Abbildung 35 Design Sockel mit Spannungsplatine [37]

Halterung Sensorplatine

Für die Befestigung der Sensorplatine werden zwei Teile miteinander verbunden. Das erste dient dazu, eine bestimmte Distanz zur Spannungsplatine zu bekommen, weil der Mikrocontroller auf der Rückseite der Sensorplatine platziert wird. Auf dem zweiten Teil wird dann die Sensorplatine befestigt.

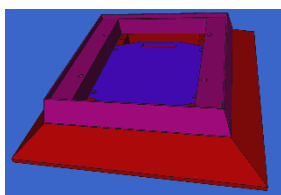


Abbildung 39 Design Distanzstück [37]

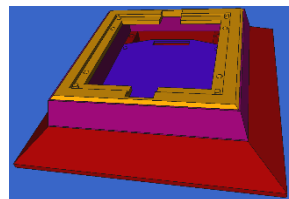


Abbildung 37 Design Halterung Sensorplatine [37]

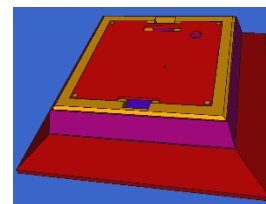


Abbildung 38 Design Halterung mit Sensorplatine [37]



Deckel

Am Schluss wird noch die Abdeckung aufgesteckt. Diese dient dazu, dass die Leiterplatte vor mechanischer Belastung und anderen Fremdeinwirkungen geschützt ist. Die vier Punkte stellen das Logo der Firma datenpunkt engineering AG dar. Das Loch im Deckel ist für den Bewegungsmelder ausgespart. Dort wird die Sensorlinse eingeklebt. Die Öffnungen auf der Unter- und Oberseite sorgen für eine gute Luftzirkulation im Gehäuse, damit die Sensoren mit der referenzierenden Raumluft durchströmt werden.

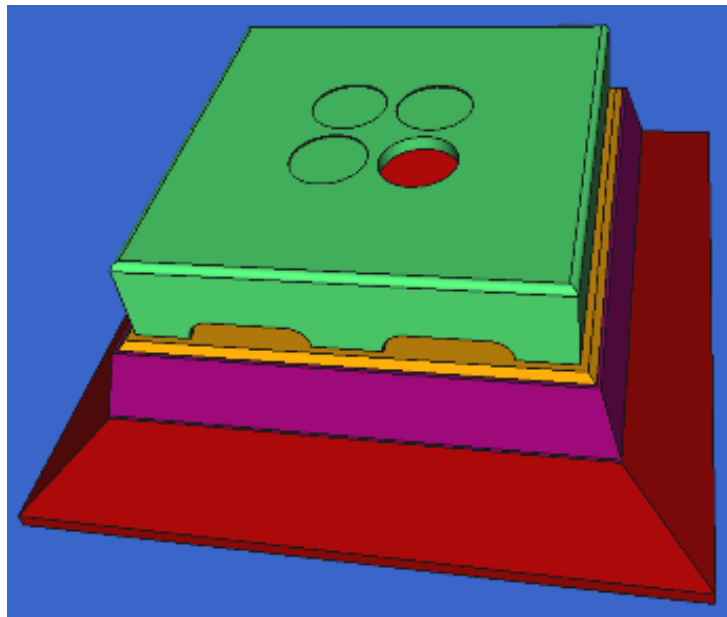


Abbildung 40 Design Gehäuse [37]

5. LoRa in der Gebäudeautomation

5.1. Allgemein [29] [30]

LoRaWAN gehört zu den LPWAN-Technologien (Low Power Wide Area Network). Sie ist eine energieeffiziente Funktechnologie. Je nach Sensortyp, Datenübertragung und Umgebungseinflüssen kann die Batterielebenszeit bis zu 10 Jahren betragen. LoRaWAN hat eine hohe Reichweite und eine exzellente Durchdringung in Gebäuden. Ein Gateway kann schon für ein ganzes Gebäude oder Areal ausreichen. In flachen ländlichen Regionen sind Reichweiten bis 15km möglich. Dafür begrenzt sich die Datenmenge auf 50kbit/s. Die Übertragung hat eine hohe Sicherheit durch die Verschlüsselung der Daten. Der Verkabelungsaufwand ist nur gering, weil lediglich eine Spannungsversorgung installiert werden muss. Wenn der Sensor mit einer Batterie betrieben wird, kann sogar auf die Kabelinstallation verzichtet werden. Auf Grund der geringen Sendeleistung haben die Sender eine maximale Stromaufnahme von 10-110mA. Abhängig von der Reichweite des Sendesignals. Die geringe Leistungsaufnahme führt auch dazu, dass die Wartung der Geräte kaum nötig ist. LoRaWAN wird im ISM-Band (Industrial, Scientific and Medical Band) betrieben. Dieser Frequenzbereich liegt zwischen 867 und 869 MHz. Dieses Frequenzband darf lizenzfrei und meist genehmigungsfrei genutzt werden. LoRaWAN wird in Europa auf dem 868MHz Band verwendet. LoRa Hardwarekomponenten sind sehr preiswert. Deshalb ist diese Technologie auch für den Endkunden sehr interessant.

5.2. Funktion [32]

Ein LoRaWAN-Netz besteht typischerweise aus drei Komponenten: Aus den Endgeräten oder auch Nodes genannt, den LoRa Gateways und den Lora Netzwerkservers (LNS). Nodes sind beispielsweise Sensoren, die Messdaten erfassen und verschlüsselt an das Gateway senden. Die Gateways wiederum empfangen diese Daten und stellen diese dem Netzwerkservers über eine Standard IP-Verbindung zur Verfügung. Es können nahezu eine beliebige Anzahl von Sensoren an ein Gateway angebunden werden. Der LNS wird mit den Daten der Gateways gespeist und verarbeitet die Daten weiter. Zur Visualisierung der Daten wird ein Anwendungsservers zur Verfügung gestellt. Auf diesem werden die Daten dem User visuell dargestellt, sei das auf einem Dashboard, Diagramm oder Zeitverlauf. Zur aktiven Nutzung der Daten haben die Gateways verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten. Diese sind von Hersteller zu Hersteller verschieden. Gateways von Dragino können die Daten an ein MQTT-Servers senden. Bei DEOS AG können die Daten über eine Modbus-Schnittstelle ausgelesen werden.



5.3. Einsatzgebiet von LoRa

LoRa wird heutzutage oft in «Smart Cities» eingesetzt. Mithilfe dieser Übertragungstechnik können Füllstände von Abfallcontainern erfasst werden. Mithilfe von Sensoren kann die Helligkeit der Strassenbeleuchtungen automatisch angepasst werden. Verfügbarkeit der Parkplätze können erfasst und angezeigt werden oder auch die Messdaten der Stadtluft.

Auch in der Energie und Wasserwirtschaft findet man die LoRa-Technik, zum Beispiel um die Wasseruhren oder Wärmezähler abzulesen.

5.4. Konzept für die Gebäudeautomation

In realer Umgebung wie Industriehallen oder Bürogebäuden sind Reichweiten von 15km unmöglich. Je nach Gegebenheit sind in Gebäuden 200m bis 500m möglich. Auf Betriebsgeländen oder ähnlichem sind Distanzen von 5km realistisch. Bei der Montage der Antennen muss die Positionierung berücksichtigt werden. In einem Gebäude soll der Standort mittig im abzudeckenden Bereich sein. Liegt dieser Bereich auf einer Ebene, so muss die Antenne Vertikal montiert werden. Findet die LoRaWAN Nutzung über mehrere Etagen statt, so muss die Antenne horizontal ausgerichtet werden. Das Gateway kann auch ausserhalb des Gebäudes sein mit einer vertikal ausgerichteten Antenne. Demnach wird von aussen in mehrere Stockwerke gefunkt. Durch die niedrige Dämpfung der Fenster im Vergleich zu Betondecken kann man profitieren. Spezielle LoRa-Nodes helfen die Übertragungsstärke zu visualisieren und man kann den abzudeckenden Empfangsbereich vermessen. So kann frühzeitig ermittelt werden, wie viele Gateways eingesetzt werden müssen.



Abbildung 41 LoRa
Übertragungstester [31]

LoRaWAN kann in der Gebäudeautomation überall dort eingesetzt werden, wo es nicht nötig ist, eine Liveanalyse zu machen. das heisst, für eine Heizgruppenregelung oder für die Kälteaufbereitung ist LoRa nicht das richtige. Aber zum Erfassen des Raumklimas kann LoRa sehr wohl eingesetzt werden. Für Tür und Fensterkontakte oder zum Erfassen der Zimmerbelegung kann LoRa auch eingesetzt werden. Dabei kann man zusätzlich Ressourcen und Geld sparen. Machen wir ein Beispiel. Für einen herkömmlichen Raumfühler muss man ein Kabel mit mindestens drei Drähten (2x Speisung, 1x Signal) installieren, damit man lediglich den einen Messwert auslesen kann. Dazu kommt, dass jedes Kabel separat zum Gebäudeautomationsschrank verlegt werden muss. Bei der Verwendung von LoRa braucht man höchstens ein Kabel mit 2 Drähten für die Speisung. Dieses Kabel muss aber nicht auf den Gebäudeautomationsschrank geführt werden. Es kann von einer Elektroverteilung oder sogar von einer Abzweigdose, die in unmittelbarer Nähe ist, gespiesen werden. Das LoRa Gateway sendet die Daten an den Netzwerkserver, der wiederum die Daten für die aktive Nutzung zur Verfügung stellt. Somit braucht auch das Gateway lediglich eine Netzwerkverbindung.



VIII. Schlusswort

Projektbeurteilung

In dieser Diplomarbeit wurde ein «Kann-Ziel» nicht erfüllt. Die Leiterplatte konnte aus dem im Kapitel «Der Weg zum Ziel» schon erwähnten Grund nicht realisiert werden.

Sämtliche «SOLL-Ziele» aus dem Pflichtenheft wurden jedoch erfüllt. Es liegt einen Entwurf für einen Leiterplatte vor auf der alle Ziele umgesetzt wurden. Diverse Probleme von Raumfühlern wurde erfasst und lösungsorientiert im Kapitel «Raumfühler optimieren» beschrieben. Im Kapitel «Raumregulierung optimieren» ist das Optimierungspotential von der Raumregulierung beschrieben und im «5» Kapitel ist das Konzept für den Einsatz von LoRa in Gebäuden beschrieben.

Selbstreflexion

Bei der Themeneingabe war mir bewusst, dass ein eigenes Produkt nicht in sechs Wochen marktfähig realisierbar ist. Aber ein Prototyp zu erstellen, der sich schon marktfähig orientiert könnte in dieser Zeit entstehen. Mit der Unterstützung einer zweiten Firma sollte dies möglich sein. Ich habe gehant, dass meine Diplomarbeit wahrscheinlich nicht realisiert wird. Ich habe mit mehrwöchigen Lieferzeiten gerechnet und nicht damit, dass mich eine Firma versetzt, welche mich unterstützen wollte. Dies war für mich eine Lehre. Denn ich habe mich dann auf das Wesentliche der Arbeit konzentriert. So verlor ich kaum Zeit und konnte mein Zeitplan einhalten. Daraus nehme ich mit, dass man sich stets auf das geforderte konzentrieren muss und die optionalen Arbeiten, wenn genügend Zeit und Ressourcen vorhanden sind, erledigen.

Das Ziel für einen eigenen Raumfühler wird nach der Diplomarbeit weiterverfolgt. Mit dieser Dokumentation haben wir eine Grundlage, auf der wir aufbauen können



IX. Danksagung

An diesem Punkt möchte ich nochmal meinem großartiges Umfeld Danke sagen. Dank ihm konnte ich mich immer wieder motivieren, ermutigen und bis zum Schluss durchzuhalten. Auch wenn es nicht immer einfach war.

Ein besonderes Dankeschön geht an meinen Arbeitgeber datenpunkt engineering AG. Das Team hat mich die letzten zwei Jahren an jeder Ecke unterstützt und weitergeholfen, wenn etwas nicht klar war. Sie haben mir auch ermöglicht, die Diplomarbeit zu 80% während der Arbeitszeit zu realisieren.

Einen Dank geht auch an meine Schulkameraden der TEL-19-Mo-z und die Fachschule TEKO Basel. Dank dem angenehmen und kollegialen Klima gingen diese drei Jahre Weiterbildung reibungslos und wie im Flug vorbei.

Zur guten Letzt danke ich meiner Freundin und meiner Familie. Ich hatte in den letzten drei Jahre nur wenig Zeit mit ihnen verbringen können. Trotzdem haben sie mich immer unterstützt.



X. Quellenangaben

1	Logo datenpunkt engineering AG	https://www.datenpunkt.ch/
2	Logo TEKO	https://www.teko.ch/dropbox/teko-luzern/downloads/vorlagen/teko-logo_2020_landscape.png
3	Logo Elektro Harder & Partner AG	https://iimdo-storage.freetls.fastly.net/image/327421826/fcb89110-e440-45c5-a858-b4a7f9139aaa.jpg?format=pjpg&quality=80,90&auto=webp&disable=upscale&width=960&height=458&trim=0,0,0,0
4	Logo Elektrotechnik Henzi AG	: https://www.elektro-henzi.ch/assets/images/logo.png
5	Logo GWA Allwetterflab	https://www.pinex.ch/media/1183/catalog/allwetterflab-gwa-armee-abzeichen-mit-klett.jpg
6	Einfluss der Luftfeuchte	https://publications.rwth-aachen.de/record/811532/files/811532.pdf
7	Relative Feuchte	http://www.bosy-online.de/relative_Luftfeuchte.htm#aF
8	Luftqualität Belimo	https://www.belimo.com/at/de_CH/indoor-air-quality/health-factors.html
9	CO2 Grenzwerte	Abb. 316-4 / Art. 16 / Wegleitung zu den Verordnungen 3 und 4 zum Arbeitsgesetz
10	CO2-Konzentration	https://www.afriso.at/wp-content/uploads/CO2-Konzentration-in-der-Luft.jpg
11	VOC-Grenzwerte	https://www.air-q.com/messwerte/voc#:~:text=Grenzwerte%20von%20VOCs%3A&text=Die%20Leitwerte%20umfassen%20f%C3%BCnf%20Stufen,%C3%BCber%201500%20bis%204000%20ppb).
12	CO2 -Ampel	https://it.region-stuttgart.de/wp-content/uploads/2020/10/illu_co2_ampel_l-300x300.png
13	Logo Sensirion	https://ohws.prospective.ch/careercenter/1000982/assets/images/Sensirion_Logo_Green.png
14	SHT45 Sensor	https://sensirion.com/images/scale/900x563/com-sensirion-master/portfolio/series/image/07fb657d-331a-4652-b79f-0240926500f1.png
15	SCD41	https://sensirion.com/images/scale/900x563/com-sensirion-master/portfolio/series/image/81757214-caf2-49b1-84b3-d2b136c46307.png



16	SGP40	https://sensirion.com/images/scale/900x563/com-sensirion-master/portfolio/product/image/f25227f5-7f81-490f-a192-96f7e9f0e455.png
17	IRA-S220ST01A01 Bewegungsmelder	https://www.murata.com/en-us/api/pdfdownloadapi?cate=lulnfraredSensors&partno=IRA-S220ST01A01
18	Linse zum Bewegungsmelder	https://www.murata.com/en-us/api/pdfdownloadapi?cate=lulnfraredSensors&partno=IRA-S220ST01A01
19	STM32 Mikrocontroller	https://sc04.alicdn.com/kf/Hd52dff87f6f94f11a8f9e57f9eff22eaY.jpg
20	SX1262 LoRa	https://www.reichelt.com/ch/de/lora-transceiver-sx1262-22-dbm-150-960-mhz-qfn-24-sx1262imltrltp301975.html?PROVID=2808&gclid=Cj0KCQjwj7CZBhDHARIsAPPWv3dOolG1CYp1HqR2zVHIh_N0a2Jy5ygbqAWNpkV9ZRLYfg73iGtHW8YaAibeEALw_wcB
21	HTCC-AB01	https://www.bastelgarage.ch/cubecell-868mhz-lora-dev-board?search=cube
22	LM2596S Abwärtsregler	https://media.digikey.com/Renders/~/~/Pkg.Case%20or%20Series/TS5B.jpg
23	S1A Diode	https://media.digikey.com/Photos/Fairchild%20Semi%20Photos/S1J.jpg
24	Aluminiumkondensator	https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSulQP-RO86KiRTvU2skrQAb69zT6cpBmqw9QT2I_EoWzimFz7iQAGZziRQzPKnkkXws8U&usqp=CAU
25	LQH3NPH101MMEL Spule	https://www.mouser.de/images/murata/lrg/lqh3nph100mmel_SPL.jpg
26	BAS40 Diode	https://www.infineon.com/export/sites/default/media/products/power_semiconductors_for_automotive/SOT23_medium.jpg_1543642094.jpg
27	Spannungswandlung	https://rayshobby.net/wordpress/24vac-to-5vdc-conversion/
28	TE 284512-4	https://www.te.com/deu-de/product-284512-4.html
29	LoRa Details	https://cci-dialog.de/lorawan-in-der-gebaeudeautomation-2022-cci_wissensportal/
30	LoRa Details	https://lora.readthedocs.io/en/latest/
31	LoRa Übertragungstester	https://shopofthings.ch/shop/connectivity-2/connectivity-lorawan/adeunis-field-test-device-ftd-lorawan-868mhz-network-tester-2/?attribute_pa_style=inkl-konnektivitaet-von-swisscom&source=google&campaign=shopping&gclid=Cj0KCQjwj7CZBhDHARIsAPPWv3fJ-GxFQiXwajbsd1ftOFNPD5a5zyiNuKcwovInUOkkLp3-7SuGdkaApc5EALw_wcB



32	LoRa Details	https://www.deos-ag.com/de/loesungen/lorawan-gebaeudeautomation/
33	Logo Diplomarbeit	Eigenproduktion
34	EGALE Zeichnung	Eigenproduktion
35	EAGLE Zeichnung	Eigenproduktion
36	State Chart	Eigenproduktion
37	FreeCAD Zeichnung	Eigenproduktion



XI. Anhang

Folgende Dateien werden diesem Dokument folgen:

1. Pflichtenheft
2. Zielkatalog
3. Kompetenzprofil
4. Kompetenzkarten
5. Lebenslauf
6. Gantt Diagramm
7. Arbeitsjournal
8. EAGLE Datei
9. FreeCAD Datei
10. E-MailHengartnerElektronik



XII. Eigenständigkeitserklärung

Die Erklärung lautet wie folgt: «Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und erlaubten Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass anderenfalls die Arbeit mit der Note 1.0 bewertet wird.»

Ort, Datum: Meltingen, 26.09.2022

Signatur des/der Studierenden:

