HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Air Touch

# Projektdokumentation


| | |
|---|---|
| Verfasser: | Dijana Adzaga, David Mehner, Julian Scherer, Rene Delle |
| Projektzeitraum: | WS2020/2021 – SS2021 |
| Studiengang: | Digital Business, Ravensburg-Weingarten University (RWU) |
| Prüfungsfach: | Innovations- und Transferkompetenz |
| Betreuer: | Prof. Dr. Wolfram Höpken |
| Abgabedatum: | 01.09.2021 |

HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Air Touch

# E1: Geschäftsmodell

# Inhaltsverzeichnis

**Abbildungsverzeichnis** ..... **II**

**1 Idee/ Vision** ..... **1**

**2 Kundenanalyse** ..... **3**

*2.1 Kundensegmente* ..... *3*

*2.2 Kundennutzen* ..... *10*

**3 State-of-the-Art** ..... **13**

**4 Vorgehensmodell** ..... **18**

*4.1 Leistungsangebot* ..... *18*

*4.2 Architektur der Wertschöpfung* ..... *19*

*4.3 Distribution* ..... *20*

*4.4 Vermarktung* ..... *21*

**5 Erlösmodell** ..... **21**

*5.1 Erlöserzielung* ..... *21*

*5.2 Finanzierung* ..... *23*

**6 Innovation** ..... **28**

**Literaturverzeichnis** ..... **III**

**Anhang** ..... **IV**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Persona-Beispiel – Leiterin des Stadtmarketings ..... 4

Abbildung 2: Persona-Beispiel – Umweltbesorgter Stadtbürger ..... 5

Abbildung 3: Persona-Beispiel – Flughafen Vorstand ..... 6

Abbildung 4: Persona-Beispiel – Mitarbeiterbedingungen ..... 8

Abbildung 5: Persona-Beispiel – Flughafen Anwohner ..... 9

Abbildung 6: Oizom Polludrone Product Features ..... 14

Abbildung 7: AQM 65 Air Quality Monitoring System ..... 15

Abbildung 8: AQS 1 Urban Air Quality Monitor ..... 15

Abbildung 9: Airpointer Basisgeräte ..... 16

Abbildung 10: Clarity Node-S ..... 16

Abbildung 11: AQMesh Air Quality Monitoring System ..... 17

Abbildung 12: Überblick Lösungen ..... 17

Abbildung 13: AirTouch Umsatzerlösplanung ..... 23

Abbildung 14: Stückkosten für die Standardversion ..... 25

Abbildung 15: Stückkosten für die Deluxe Version ..... 26

Abbildung 16: Werte für die Break Even Point Berechnung ..... 27

Abbildung 17: Break Even Point ..... 27

# 1 Idee/ Vision

Der Leitgedanke des innovativen Projekts war es, den Tourismus, vor allem den in Verbindung mit dem Reisen bzw. dem Fliegen stehenden Tourismus, nachhaltiger zu gestalten. Das Reisen mit dem Flugzeug steht seit einigen Jahren, besonders aufgrund des hohen $CO_2$-Ausstoßes unter starker Kritik. Allein in Deutschland lag der Ausstoß durch Flugzeuge im Jahr 2018 bei 22 Millionen Tonnen $CO_2$. Demzufolge stehen Flughäfen vor der Herausforderung diesem Problem entgegenzuwirken. Auch in der Bevölkerung steigt im Allgemeinen das Problembewusstsein für Themen wie Umwelt, Klimaschutz und Nachhaltigkeit, wodurch der Druck nochmals weiter ansteigt. Flughäfen haben die Aufgabe den Luftverkehr und damit auch den Tourismus in Zukunft nachhaltiger und umweltfreundlicher zu gestalten. In diesem Zusammenhang steht auch die von AirTouch konzipierte Idee zur Entwicklung einer kleinen, mobilen innovative IoT-Messstation – einem intelligenten IoT-Gerät zur Messung von Luftschafstoffen.

Doch welche Vision verbirgt sich hinter der Idee und welchen Vorteil verspricht diese im Gegensatz zu herkömmlichen Messstationen? Um die Luftwerte in einem großen Gebiet aufnehmen und visualisieren zu können, sollen die von uns angefertigten IoT-Messstationen zum Einsatz gebracht werden. Diese besitzen die Größe eines Schuhkartons (15 x 10 x 15 cm) und verfügen über verschiedene Sensoren, die eine genaue Aufzeichnung der verschiedenen Luftwerte ermöglichen. Gesteuert werden diese von einem eingebauten Mikrocontroller. Neben den Sensoren besteht die Messstation auch aus einem Sender, dem MIOTY-Gateway, über welchen die Luftwerte an eine zentrale Station übermittelt werden. Die Reichweite kann hierbei bis zu 15 km betragen. Diese ermöglicht es, eine große Fläche mit Messstationen zu überwachen. Des Weiteren sollen sich die Messstationen dadurch auszeichnen, dass sie nicht an einen festen Einsatzort gebunden sind. Über einen eingebauten GPS-Tracker sind diese durchgehend lokalisierbar und somit ist beispielsweise auch eine Montage der IoT-Messstation an einem mobilen Objekt möglich. Die gesendeten Daten der einzelnen Messstationen werden von einer zentralen Station gesammelt, ausgewertet und anschließend auf einer Weboberfläche visualisiert. Die Weboberfläche ermöglicht es den Nutzern die aufgezeichneten Luftwerte in einer aufbereiteten Form abrufen zu können. Somit kann der Nutzer auf einem Blick erkennen wie sich die Luftwerte um ihn herum verändern. Sobald die Luftwerte

einen definierten Grenzwert überschritten haben, ist die zentrale Station in der Lage eine Warnmeldung über verschiedene Medienkanäle zu veröffentlichen. Der wesentliche Vorteil, der sich gegenüber gängigen Messstationen ergibt sind besonders die Größe und die Mobilität. Gängige Messstation sind oftmals sehr groß und sind deshalb auch an einen festgelegten Standort gebunden. Die Messstation von AirTouch bietet aufgrund der kompakten Größe, ein flexibles hin und her bewegen. Außerdem werden gängige Messstationen nur von Unternehmen oder Organisationen genutzt, nicht aber von privaten Nutzern. Die von AirTouch entwickelten Lösungen, sollen sowohl für Organisationen und Unternehmen, als auch für Privatnutzern zur Verfügung gestellt werden. Insgesamt stellt die IoT-Messstation eine Innovative Lösung dar, in der Sensoren und IoT-Technologie zu einem Produkt gebündelt werden und der Umweltgedanke eine zentrale Rolle spielt.

Im Folgenden wird ein konkreter Use-Case, an einem fiktiven Flughafen, für den Einsatz der IoT-Messstationen beschrieben. Die mobilen Messstationen sollen Flughäfen unter anderem dabei helfen, die Emissionen der Kunden-Airlines an ihren Flughafengelände zu ermitteln und somit Maßnahmen gegen diese einzuleiten. Diese Maßnahmen sollen dazu beitragen, dass die von den entsprechenden Airlines verursachten $CO_2$-Emissionen reduziert werden sollten. Beispielsweise könnten für die Airlines unterschiedliche $CO_2$-Gebühren anfallen, wobei die Airlines mit einem höheren $CO_2$-Ausstoß mehr zahlen müssen, als Airlines mit einem niedrigeren Ausstoß. Dies soll auf Dauer den Vorteil bringen, dass Fluggesellschaften aufgrund einer erhöhten Kostenbelastung alte Flugzeuge einstellen und somit die Luftwerte auf dem Flughafengelände nachhaltig verbessert werden könnten. Um die Luftwerte am Flughafengelände aufnehmen zu können, sollte der Flughafen beispielsweise zehn IoT-Messstationen entlang den Start- und Landebahnen verteilen. Diese zehn Messstationen nehmen die Luftwerte auf und senden sie anschließend an eine zentrale Station. Auf dieser Station werden die Luftwerte anhand des vorliegenden Flugplans ausgewertet. Dank der integrierten GPS-Tracker kann eine eindeutige Zuordnung der Messstationen erfolgen, wodurch auch eine genaue Zuordnung der gemessenen Emissionen zu einzelnen Flugzeugen möglich ist. Über die visuelle Darstellung der Daten, von der zentralen Station, können die gemessenen Werte eingesehen werden und ermittelt werden, welche Airlines das Flughafengelände mit wie viel Schadstoffen belasten. Im Zuge

dessen bietet diese Lösung eine Möglichkeit, den Anfangs beschriebenen Leitgedankens – den Tourismus nachhaltiger zu gestalten – zu realisieren.

# 2 Kundenanalyse

## 2.1 Kundensegmente

Einen zentralen Mittelpunkt des Geschäftsmodells stellt der Kunde dar. Dieser bildet die Ziel- bzw. Personengruppe, für die die IoT-Messstation bestimmt ist und für die gleichzeitig ein Wert geschaffen werden soll. Bevor mit dem Bau der IoT-Messstation und der Integration des MIOTY-Netzwerks begonnen werden kann, müssen zunächst die verschiedenen Kundensegmente, sowohl mit deren Anforderungen, als auch mit deren Bedürfnissen an das Produkt erhoben werden. Da beispielsweise Marktforschungsdaten allein oft schwieriger zu verstehen sind und dabei die Personen die hinter den Anforderungen sowie den Bedürfnissen stehen, schnell in Vergessenheit geraten, werden aus diesem Grund sogenannte Personas erstellt. Diese Personas sind fiktive Nutzer bzw. Zielgruppen der Messstation, die – wie auch reale Nutzer – verschiedene Bedürfnisse, Fähigkeiten und Wünsche haben. Nachfolgend werden fünf Personas vorgestellt, welche die verschiedenen Kundensegmente der IoT-Messstation verkörpern sollen.

Das erste Kundensegment „Stadtmarketing“ wird durch das Persona-Profil in Abbildung 1 repräsentiert.

**Persona-Beispiel: „Stadt in Oberschwaben: Leiterin des Stadtmarketings – Anja Meschenmooser“**

**Hintergrund zur Person:**
- Arbeitet als Marketingleiterin der Stadt Weingarten
- Ausbildung als Marketing-Fachwirtin
- Sie ist eine zielstrebige und ehrgeizige Person
- Ihr liegt die Stadt Weingarten sehr am Herzen, da sie dort aufgewachsen ist

**Demographie:**
- 29 Jahre
- Weiblich
- Wohnort: Ravensburg Stadtmitte
- 2-Zimmer Eigentumswohnung mit Terrasse

**Identifikatoren:**
- Sie verreist gerne und mag es neue Städte zu erkunden
- Neben dem Stadtmarketing ist Anja für die Koordination und Umsetzung neuer touristischer Kampagnen verantwortlich
- In ihrer Freizeit engagiert sie sich auch für die Firdays-for-Future-Bewegung
- Sie ist auf Instagram aktiv und postet dort auch gerne Bilder
- Wenn die Qualität stimmt, gibt Anja auch gerne mehr Geld für ihre Produkte aus

**Likes:**
- Fährt gerne mit dem Bus oder mit dem Fahrrad zu Arbeit, um die Umwelt nicht unnötig zu belasten
- Verbringt gerne Zeit mit ihren Eltern, die in Weingarten leben
- In ihrem Job ist sie sehr engagiert, ihr macht es auch nichts aus die ein oder andere Stunde mehr zu arbeiten – solange es positiv zum Image der Stadt Weingarten beiträgt

**Dislikes:**
- Mag es nicht, wenn ihre bestellte Ware zu spät ankommt
- Anja stört es, wenn neue Technologien nicht so nachhaltig wie möglich hergestellt werden. Deshalb achtet sie auch beim Kauf solcher Produkte auf die Herstellungsbedingungen
- Sie möchte nicht, dass das Image der Stadt Weingarten durch eine Luftverschmutzung einen schlechten Ruf bekommt

**Point of view:**
- Anja würde gerne das Image der Stadt Weingarten verbessern, durch das Aufzeigen und Nachweisen der „schadstofffreien Schwabenluft“
- Um das Ziel zu erreichen, würde Anja gerne Messstationen kaufen, die zum einen kostengünstig und zum anderen mobil sind
- Außerdem möchte Anja die gemessenen Werte jederzeit durch ein Dashboard kontrollieren können

**Ideale Lösung:**
Durch den Einsatz unserer mobilen IoT-Messstation kann Anja ihre Interessen verfolgen und somit die Luftwerte der Stadt Weingarten transparent an verschiedenen Orten kontrollieren und ggf. einen Teil zur Einleitung von Maßnahmen beitragen. Außerdem kann sie dadurch verschiedene Marketingkampagnen ins Leben rufen, um die Anzahl der Touristen in der Stadt Weingarten zu erhöhen.

Abbildung 1: Persona-Beispiel – Leiterin des Stadtmarketings

Dieses Segment spiegelt die Leiterin des Stadtmarketings wider: Anja Meschenmooser ist Leiterin des Stadtmarketings der Stadt Weingarten, sie ist 29 Jahre alt und lebt in Ravensburg. Anja ist eine zielstrebige, ehrgeizige und besonders umweltbewusste junge Frau. Letzteres trägt dazu bei, dass sie die die Verankerung des Umweltgedanken in der Gesellschaft als äußerst wichtig empfindet und möchte deshalb, dass beispielsweise auch neue Technologien möglichst nachhaltig produziert werden. Beim Kauf von neuen Produkten achtet sie stets auf die Herstellungsbedingungen. Auf ihrer Arbeit, als Marketing-Leiterin, ist sie schwerpunktmäßig für die Koordination und Umsetzung neuer touristischer Kampagnen für die Stadt Weingarten zuständig. Dabei versucht sie zu erreichen, dass die Stadt nicht durch eine Luftverschmutzung in Verruf gerät. Durch den stetig wachsenden Umweltgedanken bei Reisenden und Touristen ist Anja einem hohen Druck ausgesetzt, die richtigen Umweltkampagnen zu erarbeiten und schließlich in die Wege zu leiten. Diese Kampagnen sollen einerseits der Stadt Weingarten und den Bewohnern der Stadt zugutekommen, andererseits auch den Tourismus der Stadt nachhaltig fördern. Ihre jüngste Idee

ist es, das Image der Stadt Weingarten zu verbessern, indem sie die „schadstofffreie Schwabenluft“ in der Stadt nachweisen und aufzeigen kann. Demzufolge möchte sie, um ihr Ziel zu erreichen, eine oder mehrere Messstationen an verschiedenen Standorten in Weingarten platzieren, um die Luftwerte und den Schadstoffgehalt der Luft zu messen. Anjas Anforderungen an eine solche Messstation sind besonders die Größe, die Funktionalität und der Preis.

Das zweite Kundensegment beschreibt einen umweltbesorgten Bürger. Dieser wird durch das Persona-Profil in Abbildung 2 repräsentiert.

**Persona-Beispiel: „Stadt in Oberschwaben: Umweltbesorgter Bürger – Rudi Schumacher“**

**Hintergrund zur Person:**
- Arbeitete vor der Rente als Elektriker
- Er ist ein umweltbewusstes und engagiertes Gemeindemitglied, der sich auch für die Interessen der Gemeinde einsetzt

**Demographie:**
- 69 Jahre
- Männlich
- Wohnort: Weingarten
- Haus mit Garten, verheiratet, 3 Enkelkinder, 1 Hund

**Identifikatoren:**
- Er ist ein liebevoller Großvater, der sich mehrmals die Woche um seine Enkelkinder kümmert
- Rudi pflegt eine langjährige Beziehung zu seiner Ehefrau Helga, gemeinsam gehen sie jeden Sonntag in die Kirche
- Er ist stolzer Besitzer eines Hundes namens Bello – die beiden sind unzertrennlich
- Ist auf einem Forum aktiv, wo er sich immer wieder mit anderen Rentnern über die neusten Technologien austauscht

**Likes:**
- Ausgiebige Spaziergänge mit seinem Hund
- Rudi ist ein leidenschaftlicher Wanderfreund
- Verbringt gerne Zeit mit seiner Frau und den Enkelkindern in der Natur
- Drachenfreund
- Begeistert sich seit seiner Rente immer mehr für Technologien
- Möchte möglichst umfassend über aktuelle Umweltdaten informiert werdn

**Dislikes:**
- Mag es nicht, wenn die Luftqualität schlecht ist und er keine genauen Informationen über die Luftwerte hat, da er sicherstellen möchte, dass die Qualität der Luft gut ist, wenn seine Enkelkinder ihn besuchen und im Garten spielen wollen
- Rudi ist mit der lokalen Industrie unzufrieden und fordert mehr Transparenz bzgl. der Luftqualität und Luftverschmutzung

**Point of View:**
- Rudi würde sich gerne eine eigene Messstation kaufen, die er je nach Bedarf, im Garten oder vor seinem Haus aufstellen kann, um die aktuellen Luftwerte zu messen
- Bislang hat Rudi noch keine passende Messstation gefunden - entweder waren diese zu teuer oder kompliziert zum Aufbauen
- Weiterhin würde Rudi über die Messstation die Wetterbedingungen abrufen können, um so seinen Tag und die täglichen Spaziergänge mit seinem Hund besser planen zu können

**Ideale Lösung:**
Mit unserer mobilen, kostengünstigen IoT-Messstation können wir Rudi - dem wanderbegeisterten Naturfreund, Großvater, Ehemann und Hundebesitzer - dabei helfen, die lokale Luftqualität und Wetterbedingungen besser erfassen zu können und auf veränderte Luft- und Wetterbedingungen gezielt reagieren zu können.

Abbildung 2: Persona-Beispiel – Umweltbesorgter Stadtbürger

In diesem Persona-Profil wird ein umweltbesorgter Bürger beschrieben. Rudi Schumacher ist ein 69-jähriger Rentner, der mit seiner Frau Helga und seinem Hund Bello in einem geräumigen Haus mit Garten in Weingarten lebt. Bislang ist Rudi Großvater von insgesamt drei Kindern, deren Wohlergehen ihm sehr wichtig ist. Die Zeit mit der Familie verbringt er am liebsten in der Natur. Im Übrigen begeistert sich Rudi seit seiner Rente auch zunehmend für neue Technologien. Im Laufe der Jahre begann Rudi sich immer mehr mit der Umwelt und den Folgen

der erhöhten Schadstoffbelastung in der Luft auseinanderzusetzen. Seine Sorgen sind besonders seit dem Zeitpunkt, als er Großvater geworden ist, erheblich angestiegen. Mit seiner Frau macht er sich oft Gedanken darüber, wie die Zukunft der Enkelkinder wohl aussehen wird, wenn die Schadstoffbelastung weiterhin steigt. Aus diesem Grund möchte Rudi seine Enkelkinder so gut es geht schützen. Er möchte sich nun möglichst umfassend über aktuelle Umweltdaten bzw. die Luftwerte in seiner Umgebung informieren. Damit will er prüfen können, wie hoch die Schadstoffbelastung in seinem Wohngebiet ist. Seiner Sorge entsprechend, spielt Rudi seit längerer Zeit mit dem Gedanken sich eine Messstation zu kaufen. Bislang konnte Rudi nur Messstationen finden, die entweder zu teuer oder kompliziert im Aufbau oder der Bedienbarkeit waren. Demnach liegen seine Anforderungen an eine Messstation besonders in den Punkten Kosten, Aufbau und Bedienbarkeit.

Das nächste Kundensegment beschreibt den Vorstand eines Flughafens. Das Persona-Profil kann der Abbildung 3 entnommen werden.

**Persona-Beispiel: „Flughafen Frankfurt: Vorstand – Ralf Maier"**

**Hintergrund zur Person:**
- Arbeitete 10 Jahre im Bereich Unternehmensentwicklung und Controlling am Frankfurter Flughafen und gehört seit 2017 zu einem der 5 Vorstandsmitglieder des Flughafens
- Hat BWL in Hamburg studiert
- Scheut sich nicht vor neuen Herausforderungen

**Demographie:**
- 53
- Männlich
- Frankfurter Innenstadt
- Appartement in der Innenstadt Frankfurts, geschieden, 27-jährige Tochter

**Identifikatoren:**
- Ist ein sehr aktiver und sportlicher Mensch
- Begeistert sich für verschiedenste Technologien und ist auch im Besitz von diversen Smart-Home Produkten
- Produktinformationen holt er sich am liebsten über das Internet ein, dennoch sucht er bei Fragen den persönlichen Kontakt zu den zuständigen Personen
- Ralf ist auf Facebook und Twitter sehr aktiv und nimmt dort auch gerne an Diskussionen teil
- Ihm ist ein gepflegtes Erscheinungsbild wichtig, weshalb er sich auch nicht davor scheut mehr Geld für Klamotten und Pflegeprodukte auszugeben

**Likes:**
- In seinem aktiven Lebensstil darf das morgendliche Joggen gehen nicht vernachlässigt werden
- Ralf liegt der Frankfurter Flughafen und seine Arbeit dort sehr am Herzen. Aus diesem Grund möchte er kontinuierlich dafür sorgen, dass der Flughafen seinen guten Ruf beibehält und den Umsatz steigert
- Für Ralf ist ein umweltbewusster Lebensstil 2. Ranging

**Dislikes:**
- Unpünktlichkeit kann er nicht ausstehen, da ihm seine Zeit sehr wertvoll ist
- Ralf kann es nicht leiden, wenn der Ruf des Frankfurter Flughafens durch einen Skandal oder ein schlechtes Image der Airlines geschädigt wird
- Er empfindet die „Fridays for Future Initiative" als lästig und übertrieben

**Point of view:**
- Obwohl Ralf die „Fridays for Future Initiative" als lästig empfindet, hat er sich mit den anderen Vorstandsmitgliedern darauf geeinigt, dass die Emissionen die von den Flugzeugen ausgestoßen werden, bis 2030 um 12% zu reduzieren
- Ralf ist sich sicher, dass durch solch eine Maßnahme, der Frankfurter Flughafen sein Image deutlich verbessert und der Umsatz gesteigert werden kann
- Die Vorstandsmitglieder möchten am Flughafen nicht nur eine große, sondern mehrere kleine und mobile Messstationen anbringen

**Ideale Lösung:**
Durch den Erwerb unserer kleinen und mobilen IoT-Messstation, können Ralf und die anderen Vorstandsvorsitzenden des Frankfurter Flughafens die Schadstoffemissionen der einzelnen Flugzeuge bzw. Airlines messen. Dadurch können sie dann feststellen wer die „schwarzen Schafe" sind und entsprechende Maßnahmen einleiten.

Abbildung 3: Persona-Beispiel – Flughafen Vorstand

Dieses Persona-Beispiel repräsentiert den Vorstand eines Flughafens. Ralf Maier ist 53 Jahre alt, lebt in einem Appartement in der Frankfurter Innenstadt, ist geschieden und hat eine Tochter. Seit 2017 gehört er zu einem der fünf Vorstandsmitgliedern des Frankfurter Flughafens. In seiner Freizeit ist er ein sehr aktiver und sportlicher Mensch. Einen modernen Mann wie Ralf, begeistern besonders die neusten Technologien, die es auf dem Markt gibt. Für Ralf ist ein umweltbewusster Lebensstil zweitrangig, er achtet lieber auf ein gepflegtes Auftreten und auf eine erfolgreiche Karriere als Flughafenvorstand. Dies ist auch der Grund dafür, dass er sich als Ziel gesetzt hat, kontinuierlich dafür zu sorgen, dass der Flughafen sein gutes Image beibehält und der Umsatz dadurch weiter steigt. Deshalb kann er es auch nicht leiden, wenn das Image des Frankfurter Flughafens durch einen schlechten Ruf oder ein Skandal der Kunden-Airlines geschädigt wird. Ein weiteres Problem sieht Ralf in der „Fridays for Future Initiative“. Es kommt immer häufiger vor, dass Klimaaktivisten aufgrund der erhöhten Umweltbelastungen gegen das Fliegen demonstrieren. Folglich befürchtet Ralf, dass dadurch das Image des Flughafens geschädigt wird, wodurch die Anzahl der Reisenden gesenkt werden könnte. In einem Meeting mit den anderen Vorstandsvorsitzenden, einigten sie sich auf das Ziel, die Emissionen, die von den Kunden-Airlines an ihrem Flughafen ausgestoßen werden, bis 2030 um 12% zu reduzieren. Um das Ziel zu erreichen, müssen zunächst die Flugzeuge ermittelt werden, welche für eine erhöhte Umweltbelastung sorgen. Um diese ermitteln zu können, sollen mehrere Messstationen am Flughafen angebracht werden. Die Anforderungen hierbei wären zum einen die Größe und die Mobilität der Messstation und zum anderen die Zuverlässigkeit der gemessenen Werte. Weiterhin sollte der Stromverbrauch der Messstationen so gering wie möglich gehalten werden.

Das nächste Kundensegment beschreibt einen Umweltbeauftragten eines Flughafens, der sich um die Mitarbeiterbedingungen sorgt. Das Persona-Profil kann der Abbildung 4 entnommen werden.

**Persona-Beispiel: „Flughafen Frankfurt: Mitarbeiterbedingungen – Klaus Fischer“**

**Hintergrund zur Person:**
- Arbeitet als Umweltbeauftragter am Frankfurter Flughafen
- Hat Ingenieurswissenschaften studiert
- In seiner Position als Umweltbeauftragter liegen ihm sowohl die Umweltbelastungen als auch die Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter sehr am Herzen

**Demographie:**
- 45 Jahre
- Männlich
- Wohnort: Stadtteil Oberrad in Frankfurt
- 2-Familen Haus mit der Familie seines Bruders, verheiratet, 4 Kinder

**Identifikatoren:**
- Klaus lässt sich schnell aus der Ruhe bringen und ist deshalb auch öfter gereizt
- Da er in den letzten Jahren nicht viel daheim war, möchte Klaus gerne mit seiner Familie in den Urlaub fahren
- Wenn Klaus Käufe tätigt, dann tut er das fast ausschließlich online und von seinem Smartphone aus
- Er ist hin und wieder auf Facebook und Twitter aktiv
- Klaus versucht es immer allen recht zu machen, sowohl seiner Familie, als auch den Mitarbeitern des Frankfurter Flughafens

**Likes:**
- Klaus mag es besonders gern mit seiner Familie und der Familie seines Bruders im Garten zu sitzen und zu grillen
- Er hatte früher großen Spaß daran Fußball zu spielen, jedoch konnte er in den letzten Jahren durch seine vielen Überstunden seinem geliebten Hobby nichtmehr nachgehen
- Zudem pflegt er gerne ein gutes Verhältnis zu den Mitarbeitern

**Dislikes:**
- Mag es nicht, wenn er nach der Arbeit den Kindern noch bei den Hausaufgaben helfen muss und dadurch nicht zur Ruhe kommt
- Klaus musste in den letzten Monaten zahlreiche Überstunden, aufgrund der vielen Beschwerden der Mitarbeiter, machen. Dadurch konnte er in dem letzten Jahr nicht zur Ruhe kommen
- Er zeigt vor seiner Familie nicht, wie sehr ihn die Arbeit belastet

**Point of view:**
- Klaus bemüht sich, sein Familienleben und seinen oftmals stressigen Beruf unter einen Hut zu bekommen, um somit seine Work-Life-Balance wieder ins Gleichgewicht zu bekommen
- Seit der „Fridays for Future“ Gründung im Jahre 2018, kommt es immer wieder zu Beschwerden seitens der Mitarbeiter des Frankfurter Flughafens aus – dies setzt Klaus unter Druck
- Deshalb möchte er nun gegen das Problem vorgehen und ist auf der Suche nach einer geeigneten mobilen Messstation

**Ideale Lösung:**
Durch unsere kleine mobile IoT-Messstation könnte Klaus den Stress, der durch die Mitarbeiter ausgelöst wird, deutlich reduzieren. Am gesamten Flughafengelände könnte er messen, welchen CO2-Belastungen die Mitarbeiter ausgesetzt sind. Darüber hinaus bietet unsere Messstation die Möglichkeit, die Lärmbelästigung welcher die Mitarbeiter ertragen müssen zu messen.

Abbildung 4: Persona-Beispiel – Mitarbeiterbedingungen

Das Kundensegment spiegelt den Umweltbeauftragten des Frankfurter Flughafens wider: Klaus Fischer ist 45 Jahre alt und lebt im Frankfurter Stadtteil Oberrad. Gemeinsam mit seiner Ehefrau und den vier Kindern lebt er in einem 2-Familienhaus mit der Familie seines Bruders. Mittlerweile ist er seit sieben Jahren als Umweltbeauftragter am Frankfurter Flughafen beschäftigt, dabei liegen ihm sowohl die Überwachung der Umweltbelastungen des Flughafens, als auch die Mitarbeiter sehr am Herzen. Bedauerlicherweise kommt es in den letzten Monaten gehäuft zu Beschwerden seitens der Mitarbeiter, weswegen Klaus bereits zahlreiche Überstunden machen musste. Die Situation stresst ihn zunehmend und auch daheim kann er nicht zur Ruhe kommen – vergeblich versucht er seine Work-Life-Balance ins Gleichgewicht zu bekommen. Der Hauptauslöser für die Beschwerden der Mitarbeiter ist die „Fridays for Future“ Initiative. Viele Mitarbeiter setzen sich seit der Gründung der Initiative vermehrt mit dem Thema *Schadstoffbelastung am Flughafen* auseinander. Folglich machen sich die Mitarbeiter, um ihre eigene Gesundheit sorgen und möchten nun genau wissen welchen Schadstoffen sie ausgesetzt sind. Da Klaus einerseits

gegen die Beschwerden vorgehen möchte und andererseits ihm die Gesundheit der Mitarbeiter nicht egal ist, möchte er gegen das Problem vorgehen. Deshalb will Klaus nun mehrere mobile Messstationen am Flughafen aufstellen, um zunächst überprüfen zu können, welchen Belastungen die Mitarbeiter tatsächlich ausgesetzt sind. Den gemessenen Werten entsprechend würde er dann geeignete Maßnahmen einleiten. Zudem würde er die gemessenen Werte transparent an die Mitarbeiter vermitteln können. Die Anforderungen die Klaus an die Messstation hat sind besonders die Größe, die Zuverlässigkeit der Messwerte und Features wie beispielsweise das Aufzeigen der Messwerte via Dashboards.

Das letzte Kundensegment repräsentiert die Anwohner am Flughafen. Das dazugehörige Persona-Profil kann der Abbildung 5 entnommen werden.

**Persona-Beispiel: „Flughafen Anwohner – Melanie Schneider“**

**Hintergrund zur Person:**
- Arbeitet als Grundschullehrerin
- Hat Deutsch und Geschichte studiert
- Sie war schon immer ein sozialer Mensch und mit Kindern zu arbeiten und ihnen das Lesen und Schreiben beizubringen bereitet ihr viel Freude

**Demographie:**
- 36 Jahre
- Weiblich
- Wohnort: nähe Frankfurter Flughafen
- Wohnung mit Balkon, verheiratet, 2 Kinder

**Identifikatoren:**
- Sie ist eine sehr liebevolle und disziplinierte Mutter
- Die Gesundheit der Familie hat für Melanie oberste Priorität
- Sie pflegt einen bewussten Lebensstil sowohl in ihrer Ernährungsweise, als auch im Umgang mit der Umwelt
- Da sie tagsüber sehr beschäftigt ist, bevorzugt sie Käufe über das Internet
- Sie ist auf Instagram und Facebook aktiv
- Melanie und ihr Mann achten sehr darauf, für was und wie viel Geld sie ausgeben

**Likes:**
- Sie macht mit ihrer Familie gerne ausgiebige Spaziergänge oder bei gutem Wetter auch eine Fahrradtour
- Im Sommer liest sie gerne Bücher auf ihrem Balkon und verbringt dort auch gerne Spielabende mit ihrem Mann und Freunden
- Außerdem ist sie ein Fan von Pflanzen, deshalb besitzt sie auch verschiedenste Topfpflanzen die zum Teil auch auf dem Balkon stehen

**Dislikes:**
- Melanie mag es nicht, wenn sie weiß, dass ihre Familie einer gesundheitlichen Gefahr ausgesetzt ist
- Sie kann es nicht leiden, wenn Menschen verantwortungslos mit der Umwelt umgehen
- Sie empfindet den Lärm durch die landenden bzw. startenden Flugzeuge als störend, wenn sie draußen am Balkon sitzt und ein Buch lesen möchte

**Point of view:**
- Melanie und ihr Mann spielen schon länger mit dem Gedanken, sich eine kleine Messstation zu kaufen, um die Schadstoffbelastung durch den Flughafen an ihrem Balkon zu messen
- Bislang ist das Ehepaar noch nicht fündig geworden, da keine Messstation ihren Preis-Leistungs-Vorstellungen entsprechen konnte
- Außerdem würde Melanie gerne wissen, wie hoch die Schadstoffbelastung durch den Flughafen in der Wohnung ist, wenn sie die Balkontüre oder Fenster offen hat

**Ideale Lösung:**
Mit dem Kauf unserer mobilen IoT-Messstation kann Melanie prüfen, wie hoch die Schadstoffbelastung an ihrem Balkon tatsächlich ist. Außerdem könnte sie die Messstation nach Belieben auch in ihre Wohnung stellen, um auch dort die Belastung, welcher sie und ihre Familie ausgesetzt sind messen. Mit unserer kostengünstigen Messstation können wir Melanie und ihrem Mann vollste Transparenz bieten.

Abbildung 5: Persona-Beispiel – Flughafen Anwohner

In dem Persona-Beispiel wird die Flughafen Anwohnerin Melanie Schneider beschrieben. Melanie ist 36 Jahre alt und lebt mit ihrem Mann und deren zwei Kindern in einer Wohnung in der Nähe des Frankfurter Flughafens. Sie arbeitet

als Grundschullehrerin und ist eine sehr liebevolle und disziplinierte Mutter. Die Gesundheit der Familie hat für Melanie oberste Priorität. Deshalb pflegt sie einen bewussten Lebensstil sowohl in ihrer Ernährungsweise als auch im Umgang mit der Umwelt. Im Sommer liest sie gerne Bücher auf dem Balkon und verbringt dort oftmals Spielabende mit ihrem Mann und gemeinsamen Freunden. Außerdem ist sie ein großer Fan von Topfpflanzen, die zum Teil auch auf dem Balkon stehen. Hin und wieder kommt es vor, dass die Pflanzen auf dem Balkon beschädigt sind oder verwelken. Melanie vermutet, dass dies mit der Schadstoffbelastung des naheliegenden Flughafens zusammenhängt. Im Allgemeinen ist sie mit dem Standort ihrer Wohnung aufgrund der erhöhten Schafstoffbelastung des Flughafens unzufrieden. Auch den Lärm, den sie durch die startenden bzw. landenden Flugzeugen ausgesetzt ist empfindet sie als störend. Zudem macht sie sich des Öfteren Gedanken um die allgemeinen gesundheitlichen Risken, denen sie und ihre Familie aufgrund der Schafstoffbelastung ausgesetzt sein könnten. Aus diesem Grund spielt sie seit längerer Zeit mit dem Gedanken, sich eine kleine Messstation zu kaufen, um so einen Überblick über die Luftwerte auf dem Balkon bzw. auch in der Wohnung zu bekommen. Melanie erhofft sich dadurch, dass sie in erster Linie weiß, wie hoch die tatsächliche Schadstoffbelastung auf dem Balkon ist. Weiterhin möchte sie kontrollieren können, zu welchen Zeiten die Belastungen am höchsten sind. Die Anforderungen von Melanie an die Messstation sind, dass zum einen das Preis-Leistungs-Verhältnis stimmt und zum anderen die Größe der Messstation.

## 2.2 Kundennutzen

Nachdem die einzelnen Kundensegmente identifiziert und ihre jeweiligen Anforderungen bzw. Bedürfnisse ermittelt wurden, wird nun für jedes Kundensegment ein konkreter Nutzen für den bereits beschriebenen Einsatzzweck unserer IoT-Messstation aufgezeigt.

### Kundennutzen im Segment „Stadtmarketing“

Der konkrete Nutzen, der sich für Anja Meschenmooser aus dem Kundensegment *„Stadtmarketing“* ergibt, lässt sich wie folgt beschreiben. Durch den Erwerb unserer IoT-Messstation, werden ihre Anforderungen bzgl. dem

Preis, der Funktionalität und der Größe optimal abgedeckt. Aufgrund der Größe (Schuhkartongröße) der Messstation, kann diese beliebig und ohne großen Aufwand an verschiedene Orte aufgestellt werden. Somit muss Anja nicht wie sonst üblich eine große und ortsgebundene Messstation in Weingarten aufstellen, sondern kann mehrere kleine aufstellen, die sie dann – je nach Bedarf – an den verschiedensten Orten anbringen kann. Durch die integrierten GPS-Tracker kann sie bequem von ihrem Büro aus ermitteln, an welchem Standort sich die jeweiligen Messstationen befinden. Dadurch kann sie nachvollziehen in welchen Stadtteilen eine hohe Schadstoffbelastung besteht und demnach verschiedene Maßnahmen einleiten. Außerdem kann sie durch die von uns eingerichteten Webdienst, die gemessenen Werte direkt über ein Dashboard flexibel von ihrem Büro aus in Echtzeit kontrollieren. Die aufgezeigten Werte kann sie dann im Nachhinein für mögliche Touristenkampagnen einsetzten.

### *Kundennutzen im Segment „Umweltbesorgte Bürger“*

Für das Kundensegment *„Umweltbesorgter Bürger“*, stellen besonders die einfache Bedienbarkeit sowie die Größe und somit die Mobilität der Messstation den wesentlichen Hauptnutzen dar. Die Messstation könnte der Nutzer ohne weitere Probleme beispielsweise im Garten oder auch vor dem Haus aufstellen und die Werte dort in Echtzeit prüfen. Über die Webapplikation oder auch die Smartphone App kann der Nutzer die Werte ohne Weiteres im Blick haben. Da die Messstation mit einem Softwarepaket geliefert wird, kann Rudi diese mit Hilfe einer Anleitung und ein paar Klicks unkompliziert selbst installieren. Demnach lässt sich die Messstation auch für Nutzer wie Rudi, die nicht allzu viele Erfahrungen mit neuartigen Technologien haben, leicht und ohne größere Probleme sowohl einrichten als auch bedienen.

### *Kundennutzen im Segment „Flughafenvorstand“*

Durch den Einsatz der mobilen Messstation kann das Kundensegment *„Flughafen-Frankfurt – Mitarbeiterbedingungen“* wie folgt profitieren. Aufgrund der Größe und der Mobilität, kann Ralf Maier die Messstationen beliebig an den Arbeitsplätzen der Mitarbeiter verteilen und dort genau erfassen, welchen gesundheitlichen Risiken diese ausgesetzt sind. Auf diese Weise kann er sicherstellen, dass die Mitarbeiter (besonders die in den Hangars) keinen

erhöhten Schadstoffbelastungen ausgesetzt sind, die ihre Gesundheit langfristig schädigen könnten. Außerdem kann die jeweilige Lärmbelastung gemessen werden. Anhand dieser Daten können neue Richtlinien für die Arbeitssicherheit erstellt werden. Seinen Anforderungen entsprechend kann er durch den Erwerb der AirTouch IoT-Messstation den Mitarbeitern, die gemessenen Werte zudem transparent zur Verfügung stellen. Dadurch kann die Anzahl der eingehenden Beschwerden erheblich gesenkt werden.

### *Kundennutzen im Segment „Flughafen Anwohner“*

Ähnlich wie beim Kundensegment *„Umweltbesorgter Bürger“*, bietet die Messstation dem Kundensegment „Flughafen Anwohner“ einen wesentlichen Nutzen. Mit dem Erwerb der Messstation kann Melanie über die Webapplikation prüfen, wie hoch die Schadstoffbelastung an ihrem Balkon ist. Außerdem könnte sie die Messstation auch nach Belieben in ihrer Wohnung aufstellen, um auch dort die Belastung, welcher ihre Familie und sie ausgesetzt sind zu kontrollieren. Darüber hinaus können wir Melanie und ihrem Mann mit unserem kostengünstigen Angebot, vollste Transparenz bieten.

### *Kundennutzen im Segment „Flughafenvorstand“*

Der Nutzen unserer Messstation, der sich für das Kundensegment „Flughafenvorstand“ ergibt kann wie folgt beschrieben werden. Durch den Erwerb mehrerer Messstationen, können die Vorstandsvorsitzenden die Schadstoffemissionen der einzelnen Airlines messen. Die kompakte Größe und die Mobilität der Messstationen sorgen dafür, dass diese zeitweise an verschiedenen Stellen platziert werden können. Die Möglichkeit zur Vernetzung der Messstationen über das MIOTY-Gateway bietet dabei einen zentralen Vorteil. Um identifizieren zu können, welche Airlines einen erhöhten Ausstoß haben, müssen die Flugpläne der Airlines mit den gemessenen Werten verglichen werden. Da die gemessenen Werte auf der Webapplikation eingesehen werden können und die jeweiligen Messstationen durch GPS-Sensoren einfach zu orten sind, kann diese Überwachung und Analyse vom Büro aus erfolgen.

Im Allgemeinen bietet die IoT-Messstation verschiedenen Kundengruppen wie beispielsweise Flughäfen, Städten oder auch umweltbewussten Bürgern einen

vielseitigen Nutzen an. Zusammengefasst kann nochmals betont werden, dass die Größe sowie die einhergehende Mobilität, die einfache Bedienbarkeit und die verschiedenen Funktionalitäten für die jeweiligen Kundengruppen einen echten Mehrwert bieten. Kundenprobleme wie die Größe einer Messstation, der hohe Preis, die Mobilität und die komplizierte Bedienbarkeit können nun mit der von uns bereitgestellten Lösung beseitigt werden.

# 3 State-of-the-Art

Die nachfolgende Marktanalyse richtet ihren Fokus auf bereits bestehende Lösungen im Bereich der Luftwertanalyse durch IoT-Messstationen. Die Recherche zielt darauf ab, sich von bereits bestehenden Lösungen zu distanzieren, die Einzigartigkeit des Konzeptes hervorzuheben und etwaige Konkurrenzprodukte zu identifizieren. Die Hauptinnovation bei AirTouch liegt in der Vernetzung mehrerer IoT-Messstationen über die MIOTY-Technologie, wodurch ein überdurchschnittlich großes Einsatzfeld abgedeckt werden kann. Durch diese Technologie ist es möglich, die IoT-Messstationen standortunabhängig im Feld zu verteilen und durch eingebaute GPS-Sensoren eine Auswertung der Luftwerte anhand derer Standorte zu erstellen. Die State-of-the-Art-Recherche fokussiert sich auf weitere IoT-Messstationen, deren eingesetzten Sensoren und Vernetzungstechnologien, mit dem Ziel den Innovationsgrad des Konzeptes hervorzuheben.

Im Bereich der IoT-Messtationen haben sich bereits mehrere Konkurrenten etabliert. Zu diesen Konkurrenten zählen die Firmen Oizom, Aeroqual, Vaisala, Clarity, breeze und AQMesh.

Oizom bietet verschiedene Echtzeit-Luftüberwachungssysteme an. Zu diesen Systemen gehören ein Geruchsüberwachungsgerät, ein Umgebungsstaubmonitor, eine automatische Wetterstation sowie ein Luftqualitätsüberwachungssystem. Das Luftqualitätsüberwachungssystem, welches auf den Namen „Polludrone“ hört, misst verschiedene Parameter wie PM1, PM2.5, PM10, CO, $CO_2$, $SO_2$, etc. (s. Abbildung 6) der Umfang der zu messenden Werte ist dabei abhängig von der ausgewählten Variante. Die Polludrone wird stationär befestigt und kommuniziert über das mobile Funknetz,

LoRa, NBIoT, WLAN oder Ethernet. Die Maße der Oizom Messstation betragen 36 x 32,8 x 20 cm.[1]

Abbildung 6: Oizom Polludrone Product Features

Aeroqual bietet zwei verschiedene Varianten ihrer Messstation an. Die Stationäre Station ist in der Lage bis zu 10 verschiedene Sensorwerte zu messen (s. Abbildung 7).[2] Die mobile Station von Aeroqual ist lediglich in der Lage die Werte TSP, PM10, PM2.5, PM1, $O_3$, $NO_2$, VOC, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Regen, Windgeschwindigkeit und Lautstärke zu messen (s. Abbildung 8). Beide Varianten kommunizieren entweder über WLAN, Ethernet oder über das mobile Funknetz. Die Maße der Aeroqual Messstation betragen 12 x 25 x 60 cm.[3]

[1] Cf. (Oizom, 2021)
[2] Cf. (Aeroqual, AQS 1 Urban Air Quality Monitor, 2021)
[3] Cf. (Aeroqual, AQM 65 Ambient Air Monitoring Station, 2021)

Abbildung 7: AQM 65 Air Quality Monitoring System

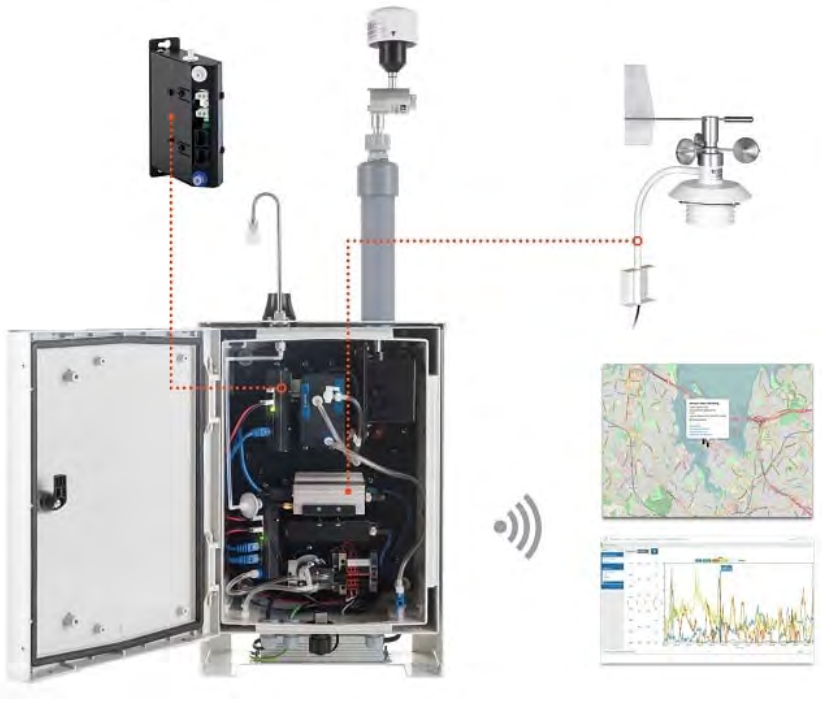

Abbildung 8: AQS 1 Urban Air Quality Monitor

Der Airpointer Luftqualitätsmonitor hat drei Varianten ihrer Messstation, wobei diese maximal bis zu 4 verschiedene Sensoren besitzen (s. Abbildung 9). Sie bieten die Möglichkeit $NO_2$, $O_3$, $SO_2$ und CO zu messen. Dabei sind diese Stationen über das mobile Funknetz angebunden. Der Airpointer 2D (links im Bild) hat dabei eine Größe von 89 x 78 x 40 cm, der Airpointer 4D (mitte im Bild)

hat eine Größe von 112 x 78,2 x 40 cm und der Airpointer +PM (rechts im Bild) hat eine Größe von 120 x 78,2 x 61,5 cm.[4]

Abbildung 9: Airpointer Basisgeräte

Clarity bietet eine mobile solarbetriebene Messstation an (s. Abbildung 10). Diese misst die zwei verschiedenen Werte PM2.5 und $NO_2$. Angebunden ist diese über das mobile Funknetz. Die Größe der Clarity Node-S Messstation betragen 16,5 x 8 x 8,4 cm. Somit ist diese Messstation die hinsichtlich ihrer recht kompakten Größe ein wesentliches Konkurrenzprodukt darstellt.[5]

Abbildung 10: Clarity Node-S

[4] Cf. (Airpointer, 2021)
[5] Cf. (Clarity, 2021)

Breeze bietet eine Lösung zur Messung der urbanen Luftqualität, in welcher alle wichtigen Parameter standardmäßig inbegriffen sind.[6]

AQMesh bietet Lösungen je nach Anwendungsbereich an (s. Abbildung 11). Die Anwendungsbereiche sind für Städte, die Industrie, dem Transport und der Forschung vorbereitet. Je nach Bereich variieren die verwendeten Sensoren. Diese Lösungen sind ebenfalls über das mobile Funknetz angebunden.[7]

Abbildung 11: AQMesh Air Quality Monitoring System

In der folgenden Tabelle wurde ein Überblick über die vorhandenen Lösungen und deren inbegriffenen Sensoren erstellt.

| | CO | CO2 | NO | NO2 | SO2 | H2S1 | O3 | PM10 | PM2.5 | UHC | VOC | Temperatur | Luftfeuchtigkeit | Luftdruck | Windgeschwindigkeit | Windrichtung | GPS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oizom | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aeroqual | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Airpointer | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Clarity | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ |
| Breeze | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | |
| AQMesh | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Abbildung 12: Überblick Lösungen

Als Ergebnis der State-of-the-Art-Recherche ist festzuhalten, dass sich bereits vergleichbare Lösungen auf dem Markt befinden. AirTouch kann sich besonders durch die vorhandene Mobilität und den Einsatz des MIOTY-Gateways von der Konkurrenz klar absetzen.

[6] Cf. (Breeze, 2021)
[7] Cf. (AQMesh, 2021)

# 4 Vorgehensmodell

## 4.1 Leistungsangebot

Das Leistungsangebot ist maßgeblich dafür verantwortlich, dass sich ein Interessent für ein Produkt entscheidet und somit zum Kunden wird oder sich gegen ein Unternehmen entscheidet. AirTouch bietet eine große Bandbreite an Leistung für all diejenigen Personen und Organisationen, welche an der Überwachung von Luftwerten interessiert sind. Durch den Einsatz der IoT-Messstationen können Luftwerte erfasst und über eine Webseite angezeigt werden. Dies bietet dem Nutzer neben dem reinen Anzeigen von Luftwerten weitere Vorteile. Zum einen können in Organisationen kritische Stellen erkannt werden, bei welchen die Luftwerte einen kritischen Punkt erreichen. Zum anderen kann der eigene Ausstoß an $CO_2$ und Feinstaub einer Organisation erkannt und daraus Maßnahmen zur Nachhaltigkeit abgeleitet werden. Auch der Privatnutzer kann von der IoT-Messstation profitieren. Dieser kann diese unter anderem nutzen, um die Luftwerte im privaten Umfeld zu ermitteln und somit einen dauerhaften Überblick über die Belastung der Luft erlangen. Für beide Segmente wurde ein optimiertes Produkt entwickelt, welches den Bedürfnissen der Kundengruppen gerecht wird. Die Produkte unterschieden sich darin, dass für den Privatnutzer eine IoT-Messstation angeboten wird, welche die Luftwerte erfasst und auf einer Webseite veranschaulicht. Das Produkt für Unternehmen und Organisationen beinhaltet mehrere abgewandelte IoT-Messstationen sowie eine zentrale Station, welche die Daten der Messstationen aufnimmt. Hierbei wird ebenfalls eine Webseite bereitgestellt, welche die aufgenommenen Luftwerte veranschaulicht.

Zusammengefasst gestaltet sich die Leistung von AirTouch folgendermaßen:

- **Allgemeine Leistungen** (Leistungen, welche in allen Produkten enthalten sind):
    - Webseite, um die Luftwerte in nahezu Echtzeit abzurufen
    - Individuell anpassbares Dashboard, um einen schnellen Überblick über die wichtigsten Luftwerte zu erhalten

    - Durchgängig erreichbarer Support, um individuelle Fragen und Probleme zu lösen
- **Produkt 1 (Standardversion)**: Privatnutzer
    - Vollständig zusammengebaute und konfigurierte IoT-Messstation (Abgewandelte IoT-Messstation welche über WLAN kommuniziert)
- **Produkt 2 (Deluxe Version)**: Organisationen und Unternehmen
    - Vollständig zusammengebaute und konfigurierte IoT-Messstationen
    - Vollständig eingerichtete Base Station, welche zum Empfangen von Sensordaten bereit ist.
    - Expertenteam zur Auslieferung und Installation der IoT-Messstationen
    - Expertenteam zur Auslieferung und Installation der Base Station
    - Die Anzahl der IoT-Messstationen ist frei skalierbar

## 4.2 Architektur der Wertschöpfung

Zur Erbringung der im Abschnitt *„Leistungsangebot“* aufgezeigten Leistungen werden zum einen ausgewählte Hardware-Komponenten (Sensoren), sowie zur Darstellung der erhobenen Sensordaten Software-Lösungen wie eine IoT-Plattform oder eine Webapplikation benötigt. Für den ersten Prototypen der Messstation setzten sich die verbauten Hardwarekomponenten wie folgt zusammen:

- Mikrocontroller (Espressif ESP32-WROOM32D)
- Spannungsquelle, zur Versorgung aller Sensoren
- BME280-Sensor, zur Messung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Luftdruck
- PMS7003 inkl. G7-Interface, zur Messung von Feinstaubwerten
- MHZ-19B, zur Messung von $CO_2$ -Werten
- NEO-6M (U-Blox), zur Bestimmung der Standortdaten
- Powerbank

Die Software bzw. die IoT-Plattform bestehen aus:

- Python, in Kombination mit dem Streamlit-Framework
- IntelliJ, für die Python Programmierung
- HiveMQ, Public MQTT Broker
- Arduino IDE, für die Codierung des ESP32

## 4.3 Distribution

Die IoT-Messstation von AirTouch soll zunächst lediglich online angeboten werden. Um hierbei die Lager- und Vermarktungskosten gering halten zu können, sollen wenige Produkte auf Lager gelegt werden. Für größere Projekte wie beispielsweise die Umsetzung an einem Flughafen soll eine umfangreiche Beratung angeboten werden, in welcher die Rahmenbedingungen, sowie die daraus resultierende Infrastruktur der Messstationen bestimmt werden soll. Es soll eine Lieferzeit zwischen drei und vierzehn Tagen angepeilt werden. Für den Versand der Messstationen werden etablierte Versanddienstleister beauftragt. Die dabei entstehenden Versandkosten werden auf den jeweiligen Kunden umgelagert und sind somit zusätzlich zum Kaufpreis zu entrichten. Sollte der Kunde das Produkt aufgrund einer Reklamation an AirTouch zurücksenden, werden diese von AirTouch übernommen. Bei der Umsetzung von größeren Projekten werden die Messstationen vor Ort von einem Techniker angeschlossen und in Betrieb genommen. Zu diesem Termin bringt der Techniker die benötigten Stationen mit, wodurch die Versandkosten hierfür entfallen, da diese in den Anfahrtskosten bereits inkludiert sind.

Ausgeliefert wird eine vollfunktionsfähige IoT-Messstation für den privaten Gebrauch. Sollten mehrere IoT-Messstationen eingesetzt werden, wie beispielsweise an einem Flughafen, wird eine Base Station benötigt. Diese wird ebenfalls von AirTouch ausgeliefert. Sofern eine Base Station vorhanden ist, kann die Anzahl der IoT-Messstationen beliebig erweitert werden.

### 4.4 Vermarktung

Um die Bekanntheit von AirTouch im Business-Sektor zu steigern, soll an verschiedenen Messen und Wettbewerben teilgenommen werden. Dabei können neue Kunden angesprochen werden und auch wichtige Partnerschaften geschlossen werden. Zusätzlich dazu sollen Anzeigen, sowie Interviews und Tests in Fachzeitschriften zu einer weiteren Bekanntheitssteigerung führen.

Für den Privatgebrauch soll der Fokus auf Messen und der Schaltung von Anzeigen auf Facebook und Instagram gelegt werden. Durch die Schaltung von Anzeigen in Social-Media-Netzwerken ist zudem eine Zusammenarbeit mit Influencern und Bloggern aus den Bereichen Umwelt und Nachhaltigkeit möglich, um Interesse an unserem Produkt und unserem Unternehmen zu wecken. Dabei wären in Zusammenarbeit mit Influencern und Bloggern hin und wieder auch Rabattaktionen denkbar, um so neue Kunden zu generieren.

## 5 Erlösmodell

### 5.1 Erlöserzielung

Das Erlösmodell klärt als wesentlicher Bestandteil des Geschäftsmodells die Frage, wie die Entwicklungskosten der Messstation getragen werden. Weiterhin klärt es die Fragen, wie die Finanzierung der laufenden Entwicklungs-, Betriebs- und Wartungskosten erfolgen.

Für die Erlöserzielung der Messstation stehen Transaktionserlöse und Vertragsmodelle zur Auswahl, welche im Folgenden genauer beschrieben werden.

***Transaktionserlös (Produkt 1 – Standardversion):***

Die Standardversion der Messstation, soll hauptsächlich für Privatnutzer angeboten werden. Diese Version wird zum direkten Kauf angeboten werden. Wie bereits beschrieben, wird die Messstation vorerst hauptsächlich online, aber auch auf Messen angeboten werden. Der Preis der IoT-Messstation errechnet sich aus den Herstellungskosten, den Materialkosten, den Gewinnzuschlag, den Marketingkosten, den Lagerkosten, den Versand, Wartungskosten und der

Softwarekosten. Hierbei beziehen sich die Kosten lediglich auf das von AirTouch entwickelte Produkt selbst. Zudem sei anzumerken, dass es keine Lizenzgebühren o. Ä., beispielsweise für die Bereitstellung des Hyperlinks oder die Webapplikation geben wird. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile, dass im Vergleich zum Vertragsmodell (s. nächster Abschnitt) auf kurzer Dauer gesehen mehr Umsatz zur Verfügung steht, der zum Ausgleich in die laufenden Kosten eingesetzt werden kann. Durch den Erwerb der Messstation ergeben sich Garantieansprüche von 2 Jahren. Weiterhin muss auch keine Kaution hinterlegt werden.

***Vertragsmodell (Produkt 2 – Deluxe Version):***

Die Deluxe Version, die hauptsächlich für Organisationen und Unternehmen bestimmt ist, wird als Vertragsmodell angeboten. Das bedeutet nun konkret, dass sowohl für die Hardware, die erworbenen Messstationen und der MIOTY-Sender, als auch für die Software für den Kunden eine monatliche Gebühr anfällt. Dabei wird ein Vertrag über eine festgelegte Nutzungszeit festgelegt und monatlich überwiesen. Des Weiteren muss noch eine Kaution in Höhe von 100 € einmalig zu Beginn des Vertrages bezahlt werden. Diese Kaution wird nach der Rückgabe der Messstation zurückerstattet, sofern sich die Geräte noch in einem entsprechenden Zustand befinden. Im Zuge der Kaution ergeben sich für AirTouch einige Vorteile. Einerseits lassen sich durch die Wiederverwendung der Messstationen, die Produktionskosten für neue Geräte einsparen, andererseits können zudem, je nach Vertragsdauer und Zustand der Messstationen Preisstaffelungen eingerichtet werden. Doch nicht nur für AirTouch sollen dadurch Vorteile entstehen, sondern auch für die Kunden. Diese können die Messstationen vorerst eine Zeit lang testen und sich von den Geräten überzeugen lassen. Ferner könnten dadurch noch mehr Messstationen durch die entsprechenden Unternehmen und Organisationen erworben werden. Weiterhin kann dadurch den Kunden auch bei einem Defekt, ein Austauschgerät zur Verfügung gestellt werden.

## 5.2 Finanzierung

Einen weiteren zentralen Punkt des Erlösmodells stellt eine transparente Kostenstruktur dar. Dabei ist ein effizientes Kostenstrukturmanagement, zur Bewahrung der Wettbewerbsfähigkeit und der Flexibilität des Unternehmens, von großer Bedeutung. Zum Kostenstrukturmanagement gehört dabei die regelmäßige Analyse der Kosten. Hierbei sollen je nach Bedarf auch entsprechende Maßnahmen zur Kostensenkung durchgeführt werden. Neben der Betrachtung der laufenden Kosten erfolgt auch eine Auflistung der Investitionen, welche zu Beginn der Unternehmung angefallen sind.

Die Folgende Tabelle soll die Umsatzerlösplanung von AirTouch für die nächsten drei Jahre aufzeigen.

| Jahr | Produkte | Absatzmenge Best Case | Absatzmenge Worst Case | Verkaufspreis | Gesamterlös (SV+DV) Best Case | Gesamterlös (SV+DV) Worst Case |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Jahr 1** | Standardversion (SV)<br>Deluxe Version (DV) | **SV: 130 St.**<br>**DV: 50 St.** | **SV: 50 St.**<br>**DV: 30 St.** | SV: 171,88 €/St.<br>DV: 263,35 €/St.<br>(DV pro Jahr) | **35.511,9 €** | **16.494 €** |
| **Jahr 2** | Standardversion (SV)<br>Deluxe Version (DV) | **SV: 190 St.**<br>**DV: 80 St.** | **SV: 80 St.**<br>**DV: 50 St.** | SV: 171,88 €/St.<br>DV: 263,35 €/St.<br>(DV pro Jahr) | **53.725,2 €** | **26.917,9 €** |
| **Jahr 3** | Standardversion (SV)<br>Deluxe Version (DV) | **SV: 270 St.**<br>**DV: 130 St.** | **SV: 130 St.**<br>**DV: 70 St.** | SV: 185 €/St.<br>DV: 280 €/St.<br>(DV pro Jahr) | **86.350 €** | **43.650 €** |

Abbildung 13: AirTouch Umsatzerlösplanung

Anzumerken ist, dass in der Tabelle zwischen dem Best Case und einem Worst Case unterschiedenen wurde. Beispielshaft werden im Jahr 1 von der Standardversion im besten Fall 130 Messstationen abgesetzt und von der Deluxe Version im besten Fall 50 Stück. Wohingegen im schlechtesten Fall von der Standardversion 50 Stück abgesetzt werden und von der Deluxe Version 30 Stück. Wie der Verkaufspreis zustande kommt, wird später nochmals genauer erläutert. Weiterhin wurde der Gesamterlös der beiden Versionen berechnet. Dabei wurde wieder zwischen dem Best Case und dem Worst Case unterschieden.

Die Tabelle als Ganzes entstand zudem aus den folgenden Überlegungen. Das *Jahr 1* zeichnet sich dadurch ab, dass in diesem Jahr die IoT-Messstation sich zunächst auf dem Markt etablieren und an Bekanntheit gewinnen muss. Dabei sollte geschaut werden, wie sich die jeweiligen Verkaufszahlen entwickeln, demnach können auch geeignete Marketingmaßnahmen eingeleitet werden. Außerdem müssen auch die Kunden zunächst von dem Produkt überzeugt werden. In den ersten 1-2 Jahren soll der Preis der Messstation gleichbleiben. Dieser Einführungspreis soll zunächst sowohl unserem Unternehmen dabei helfen den Break-Even-Point zeitnah zu erreichen, als auch den Kunden vermitteln, dass die Messstation zu einem fairen Preis erworben werden kann. Im Laufe der Einführungsphase sollen die Verkaufszahlen und die Erlöse kontinuierlich im Blick behalten werden. Auf Basis dessen kann dann nochmals kalkuliert werden, ob der Preis angehoben werden kann oder ob eine Preissenkung notwendig ist. Im *Jahr 2 i*st zu erkennen, dass wir im Best Case mit einer kontinuierlichen Steigerung der Absatzmenge, sowohl für die Deluxe Version als auch für die Standardversion, rechnen. Die Messstation wird zunehmend, besonders auch durch die Messebesuche, an Bekanntheit gewinnen. Mit der steigenden Bekanntheit der Messstation, müssen allmählich die Verkaufspreise angepasst werden. Demnach sollen ab dem *Jahr 3* die Preise der IoT-Messstation angepasst werden. Die Preissteigerungen sind damit zu begründen, dass einerseits AirTouch ab dem Jahr 3 kein völlig unbekannter Name auf dem Markt sein soll. Andererseits müssen aufgrund der steigenden Absatzmenge auch Lagerkapazitäten, die Anzahl der Mitarbeiter und auch Marketingmaßnahmen ausgeweitet werden. Da es zu dem Zeitpunkt auch verschiedene Erfahrungswerte von seitens der Kunden gibt, soll sowohl die Hardware, als auch die Software der IoT-Messtation an den Wünschen und Anforderungen des Marktes weiter angepasst werden.

Die nächste Frage die sich stellt ist, welche Kosten bei der Preisplanung beachtet werden müssen. Dabei weichen die Stückkosten für die Standardversion gegenüber den Kosten für die Deluxe Version in wenigen Punkten voneinander ab. Die folgende Tabelle zeigt zunächst die Kosten für die Standardversion auf. Daraus resultiert der bereits in der Tabelle 13 aufgezeigte Stückpreis für die

Standardversion im Jahr 1. Die Ausführliche Darstellung mit den Berechnungen kann dem Anhang entnommen werden.

| Bezeichnung | Preis |
|---|---|
| **Versandkosten (für Kunden)** | 6,00 € |
| **Espressif ESP32** | 5,00 € |
| **Spannungsquelle und Draht** | 3,00 € |
| **BME280** | 4,99 € |
| **GPS 6M** | 9,99 € |
| **MHZ19B** | 24,65 € |
| **PMS & G7->G135 Interface** | 28,00 € |
| **Verdrahtung** | 25,00 € |

Abbildung 14: Stückkosten für die Standardversion

Die aufgeführten Stückkosten stellen somit Entwicklungskosten und die Anschaffungskosten für die Standardversion dar. Dabei wurden auch schon die Versandkosten mitberücksichtigt. Dadurch ergeben sich Gesamtkosten von insgesamt 106,63 €. Da sich ein Kostenvorteil aufgrund von Mengenbestellungen (bei 200 gekauften Sensoren) ergeben sich Gesamtstückkosten für die Standardversion von 74,64 € pro Messstation. Diese Kosten werden nun mit einem Gewinnzuschlag, den Lagerkosten und Werbekosten pro Stück verrechnet. Dadurch ergibt sich ein möglicher Verkaufspreis von 159,88 € pro Stück. Wobei hier noch die Serverkosten mitbeachtet werden müssen. Für die Standardversion ergeben sich jährliche Stückkosten von 12 €. Damit kommen wir für die Standardversion auf einen Verkaufspreis von **171,88 € im Jahr 1 pro Messstation**.

Die Stückkosten für die Deluxe Version sind unterschiedenen sich zu denen der Standardversion wie folgt.

| Bezeichnung | Preis |
|---|---|
| **Espressif ESP32** | 5,00 € |
| **Spannungsquelle und Draht** | 3,00 € |
| **BME280** | 4,99 € |
| **GPS 6M** | 9,99 € |
| **MHZ19B** | 24,65 € |
| **PMS & G7->G135 Interface** | 28,00 € |
| **Verdrahtung** | 25,00 € |
| **MIOTY** | 15,00 € |
| **Weitere Deluxe Sensoren** | 40,00 € |

Abbildung 15: Stückkosten für die Deluxe Version

Die aufgeführten Stückkosten stellen, wie zuvor auch, die Entwicklungskosten und die Anschaffungskosten für die Deluxe Version dar. In diesem Fall fallen die die Versandkosten weg, da die Messstation durch unser Expertenteam an die Kunden ausgeliefert wird. Dadurch ergeben sich Gesamtstückkosten von insgesamt 155,63 €. Da sich ein Kostenvorteil aufgrund von Mengenbestellungen (bei 200 gekauften Sensoren) ergeben sich Gesamtstückkosten für die Deluxe Version von 108,94 € pro Messstation. Diese Kosten werden nun auch mit einem Gewinnzuschlag, den Lagerkosten und Werbekosten pro Stück verrechnet. Dadurch ergibt sich ein möglicher Verkaufspreis von 233,35 €. Wobei hier noch die Serverkosten mitbeachtet werden müssen. Für die Deluxe Version ergeben sich jährliche Serverkosten von 30 € pro Stück. Damit kommen wir für die Deluxe Version auf einen Verkaufspreis von **263,35 € im Jahr 1 pro Messstation**. Da die Deluxe Version als Vertragsmodell angeboten wird, ergibt sich ein monatlicher Leasingpreis inkl. Serverkosten von 49,45 €.

**Break-Even-Analyse:**

Basierend auf den Kosten und der geplanten Umsatzerlösen die zuvor erläutert wurden, kann der Break Even Point berechnet werden. Weiterhin müssen für die Berechnung die Fixkosten angesetzt werden. Diese beziehen sich bei uns jeweils auf 12.000 € im Jahr 1 und 2. Anzumerken ist hierbei, dass die vier Gründer von AirTouch in den ersten 2 Jahren die einzigen Mitarbeiter sein werden und somit vorerst keine Gehälter beziehen.

Die folgende Abbildung zeigt die benötigten Werte für die Ermittlung des Break Even Points. Demnach ist der Verkaufspreis pro Stück der Durchschnittswert vom Verkaufspreis der Standardversion und vom Verkaufspreis der Deluxe Version. Ebenso sind die variablen Stückkosten der Durchschnittswert der beiden Versionen.

| | | |
|---|---|---|
| Verkaufspreis pro Stück: | 217,615 | Euro |
| Variable Kosten pro Stück: | 182,44 | Euro |
| Fixkosten: | 12000 | Euro |

Abbildung 16: Werte für die Break Even Point Berechnung

Demnach wäre der Break Even Point nach **341 verkauften** Einheiten erreicht (s. Abbildung 17). Die Berechnung geht jedoch von gleichmäßigem Verkauf bzw. vom Durchschnittswert der beiden Versionen aus.

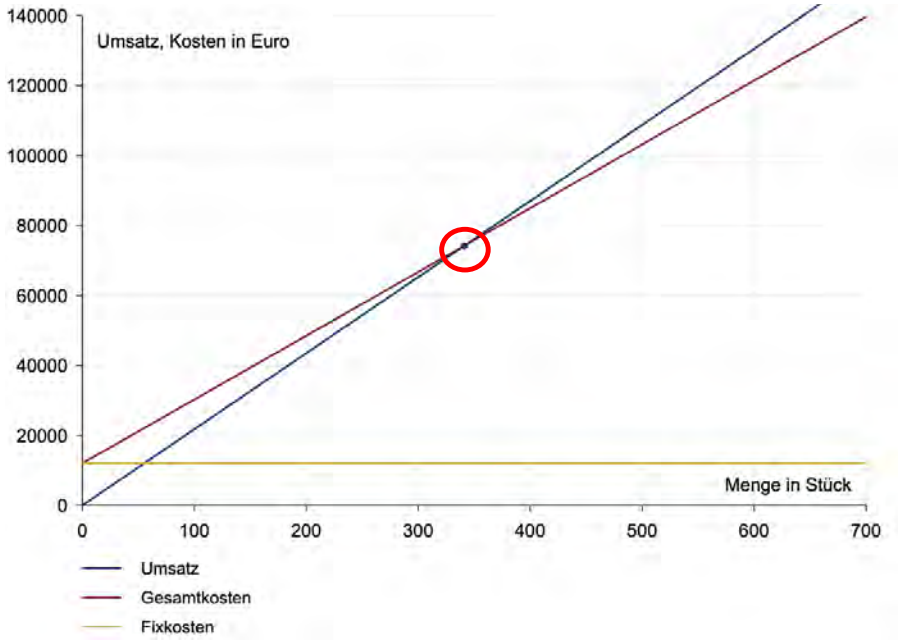


Abbildung 17: Break Even Point

# 6 Innovation

Die im Kapitel 3 beschriebene State-of-the-Art Analyse hat gezeigt, dass es am Markt bereits verschiedene Anbieter gibt, die kleine Messstationen anbieten. Diese Messstationen sind in der Lage, diverse Luftwerte durch den Einsatz verschiedener Sensorik messen zu können. Der zentrale Punkt, in dem sich die von AirTouch entwickelte Messstation abhebt, ist die *Mobilität*. Aufgrund der recht kompakten Größe kann die Messstation die Luftwerte an unterschiedlichen Stellen aufnehmen. Aus diesem Grund war bei der Entwicklung der Messstation das Anbringen von GPS-Trackern unumgänglich. Dadurch kann der genaue Standort der jeweiligen Messstation ermittelt werden. Besonders für Unternehmen und Organisationen, die möglicherweise mehrere Messstationen in Einsatz haben werden, muss der Standort der Messstation genauestens abgerufen werden können. Doch nicht nur das – die IoT-Messstation von AirTouch bietet den Kunden zudem die Möglichkeit, die gemessenen Luftwerte in Echtzeit über einen Webdienst einsehen zu können. Dabei werden automatisiert Dashboards erstellt, die genaue Informationen über Änderungen, Abweichungen und Grenzwerte geben. Dieser zusätzliche Komfort, bietet den verschiedenen Kundensegmenten einen wesentlichen Vorteil. Eine weitere Besonderheit ist, dass mit der Messstation zwei zentrale Kundengruppen angesprochen werden – einerseits Privatnutzer, andererseits Unternehmen und Organisationen. Dabei wurde bei der Entwicklung der Messstation darauf geachtet, dass demnach auch zwei verschiedene Versionen auf den Markt gebracht werden. Erstere Version (Standardversion) spricht Kunden wie umweltbesorgte Bürger oder auch Menschen, die in der Nähe von stark belasteten Gebieten im Hinblick auf die Luftverschmutzung, leben an. Diese Version der Messstation ist auch für Menschen, die sich nicht viel mit Technologie auskennen einfach zu bedienen. Die zweite Version (Deluxe Version) der Messstation, die sich an Unternehmen und Organisationen richtet, ist im Hinblick auf den Einsatz innovativer IoT-Technologien noch ausgereifter als die erste Version. Demnach können Unternehmen und Organisationen mehrere Messstationen erwerben, welche dann über die neuwertige Technologie des MIOTY-Gateways miteinander vernetzt werden können. Diese Technologie ermöglicht es uns weiter von der bestehenden Konkurrenz abzuheben.

## Literaturverzeichnis


Aeroqual. (05. 08 2021). *AQM 65 Ambient Air Monitoring Station*. Abgerufen am 05. 08 2021 von https://www.aeroqual.com/product/aqm-65-air-quality-monitoring-station

Aeroqual. (05. 08 2021). *AQS 1 Urban Air Quality Monitor*. Abgerufen am 05. 08 2021 von https://www.aeroqual.com/product/aqs-urban-air-quality-monitor

Airpointer. (2021). *Airpointer*. Abgerufen am 05. 08 2021 von https://www.airpointer.com/de/#sc-tabs-1627631098731

AQMesh. (2021). *AQMesh*. Abgerufen am 05. 08 2021 von https://www.aqmesh.com/products/aqmesh/

Breeze. (2021). *Luftqualitätssensoren*. Abgerufen am 05. 08 2021 von https://www.breeze-technologies.de/de/loesungen/urbane-luftqualitaet/#luftqualitaetssensoren

Clarity. (2021). *Clarity Node S*. Abgerufen am 05. 08 2021 von https://www.clarity.io/air-quality-monitoring-solution#ClarityNodeS

Oizom. (05. 08 2021). *Ambient Air Quality Monitoring System*. Abgerufen am 05. 08 2021 von Ambient Air Quality Monitoring System: https://oizom.com/product/polludrone-air-pollution-monitoring/

# Anhang

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Versandkosten (für Kunden) | 6,00 € | | | | | |
| 2 | Espressif ESP32 | 5,00 € | | | | | |
| 3 | Spannungsquelle und Draht | 3,00 € | | | | | |
| 4 | BME280 | 4,99 € | | | | | |
| 5 | GPS 6M | 9,99 € | | | | | |
| 6 | MHZ19B | 24,65 € | Kosten pro Stück für Standardversion bzw. Deluxe Version | | | | |
| 7 | PMS & G7->G135 Interface | 28,00 € | | | | | |
| 8 | Mioty | 15,00 € | | Kostenvorteil Mengenbestellung (200 gekaufte Sensoren) | | | 0,7 |
| 9 | Deluxe Sensoren | 40,00 € | | | | | |
| 10 | Verdrahtung | 25,00 € | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | Mengenbestellung | | | | |
| 13 | Standardversion Gesamtkosten | 106,63 € | 74,64 € | | | | |
| 14 | Deluxe Version Gesamtkosten | 155,63 € | 108,94 € | | | | |
| 15 | Gewinnzuschlag | | 1,7 | | | | |
| 16 | Lager | | 1,05 | | | | |
| 17 | Werbekosten | | 1,2 | Leasingpreis (monatlich) | Serverkosten | | |
| 18 | Standard-Verkaufspreis (ohne Serverkosten/St.) | | 159,88 € | | | 12,00 € | |
| 19 | Deluxe-Verkaufspreis (ohne Serverkosten/St.) | | 233,35 € | 19,45 € | | 30,00 € | |
| 20 | Standard-Verkaufspreis (mit Serverkosten/St.) | | 171,88 € | | | | |
| 21 | Deluxe -Verkaufspreis (mit Serverkosten/St.) | | 263,35 € | 21,95 € | | | |
| 22 | | | | | | | |
| 23 | BestCase 180 Stück/Jahr | | | Rohmaterial | | | |
| 24 | Standard in Stück/Jahr | 130 | 22.344,53 € | 9.703,33 € | | | |
| 25 | Deluxe in Stück/Jahr | 50 | 1.097,30 € | 5.447,05 € | | | |
| 26 | Leasing 2,5 Jahre | | 32.918,95 € | | | | |
| 27 | | | Rohmaterial gesamt | 15.150,38 € | | | |
| 28 | Worst Case 80 Stück/Jahr | | | | | | |
| 29 | Verkauf in Stück/Jahr | 50 | 8.594,05 € | 3.732,05 € | | | |
| 30 | Leasing in Stück/Jahr | 30 | 658,38 € | 3.268,23 € | | | |
| 31 | Leasing 2,5 Jahre | | 19.751,37 € | | | | |
| 32 | | | | 7.000,28 € | | | |
| 33 | | | | | | | |
| 34 | Fixkosten | 12.000,00 € | | Erlös nach 1 Jahr | | | |
| 35 | BestCase 180 Stück im Jahr | 15.150,38 € | Standard | 22.344,53 € | | | |
| 36 | | | Deluxe | 13.167,58 € | | | |
| 37 | | | | 35.512,11 € | | | |
| 38 | 180 weitere Verkaufte Jahr 2 | | | Erlös nach Jahr 2 | | | |
| 39 | Jahr 2 | 16.725,38 € | | 22.344,53 € | | | |
| 40 | | | | 26.335,16 € | | | |
| 41 | Kosten | 43.875,76 € | | 84.191,81 € | | | |
| 42 | | | | | | | |
| 43 | | 12.000,00 € | | | | | |
| 44 | Worst Case 80 Stück im Jahr | 7.000,28 € | Standard | 8.594,05 € | | | |
| 45 | | | Deluxe | 7.900,55 € | | | |
| 46 | | | | 16.494,60 € | | | |
| 47 | WorstCase | 7.000,28 € | | Erlös nach Jahr 2 (WC) | | | |
| 48 | | | | 8.594,05 € | | | |
| 49 | | | | 15.801,10 € | | | |
| 50 | | | | 24.395,15 € | | | |
| 51 | Kosten: | 26.000,56 € | | 40.889,75 € | | | |
| 52 | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | |

HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Air Touch

# E2: Architektur

# Inhaltsverzeichnis

**Abbildungsverzeichnis** ..... **II**

**1 Definition der Anforderungen** ..... **1**

**2 Konzept (fachlich und technisch)** ..... **9**

*2.1 Beschreibung des entwickelten Systems* ..... *9*

*2.2 Elektronische Komponenten des Systems* ..... *10*

**3 Systemarchitektur** ..... **12**

**Literaturverzeichnis** ..... **19**

**Anhang** ..... **III**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Satzschablone für funktionale Anforderungen nach Rupp und Sophisten ..... 1

Abbildung 2: Satzschablone für nicht-funktionale Anforderungen nach Rupp und Sophisten ..... 1

Abbildung 3: Prototypische Umsetzung der IoT-Messstation ..... 9

Abbildung 4: Konzept der IoT-Messstation ..... 10

Abbildung 5: Pin-Out ESP32-WROOM-32D ..... 12

Abbildung 6: Pin-Out des MHZ-19B ..... 13

Abbildung 7: Beschreibung BMP280 Pinout ..... 14

Abbildung 8: Verdrahtung der IoT-Messstation ..... 15

# 1 Definition der Anforderungen

## Definition funktionale Anforderungen

Funktionale Anforderungen beschreiben die Grundfunktionalitäten eines Systems bzw. eines Produktes. Mithilfe der Satzschablone von Rupp und Sophisten können funktionale Anforderungen präzise, eindeutig und einheitlich definiert werden. Dabei schafft die Satzschablone über die Prädikate „muss“, „sollte“ und „wird“ eine integrierte Priorisierung der Anforderungen.

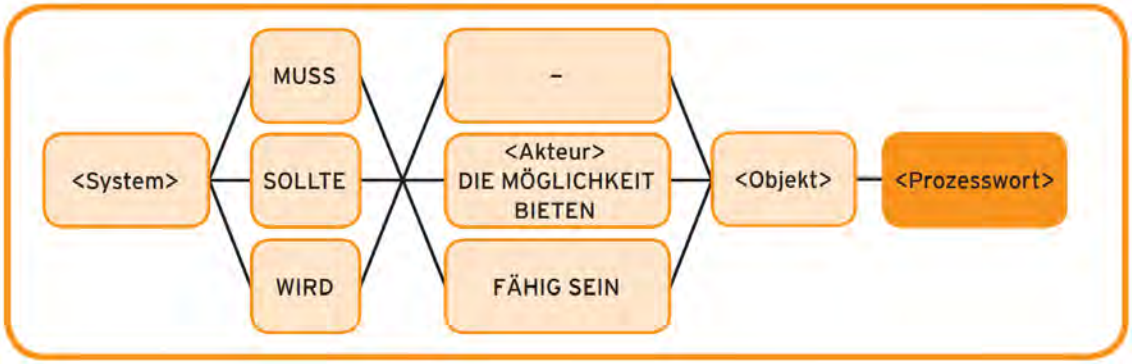


Abbildung 1: Satzschablone für funktionale Anforderungen nach Rupp und Sophisten

## Definition nicht-funktionale Anforderungen

Nicht-funktionale Anforderungen beschreiben die Qualität eines Systems bzw. eines Produkts. Auch für die nicht-funktionalen Anforderungen wird von Rupp und Sophisten eine Satzschablone bereitgestellt, durch welche ebenfalls eine integrierte Priorisierung und eine präzise Definition ermöglicht wird.

Abbildung 2: Satzschablone für nicht-funktionale Anforderungen nach Rupp und Sophisten

**Funktionalen Anforderungen:**

| Nr. | Priorität | Anforderung | Beschreibung | Abnahmekriterien |
|---|---|---|---|---|
| **F1** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die $CO^2$ Werte aus der Luft messen zu können. | Über einen $CO^2$ Sensor sollen die $CO^2$ Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der $CO^2$-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die $CO^2$ Werte |
| **F2** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die Feinstaub-werte (PM2.5 & PM10) aus der Luft messen zu können. | Über einen Feinstaubsensor sollen die PM2.5 und PM10 Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der Feinstaubsensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die PM2.5 und PM10 Werte |
| **F3** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die $O^3$ Werte aus der Luft messen zu können. | Über einen $O^3$ Sensor sollen die $O^3$ Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der $O^3$-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die $O^3$ Werte |
| **F4** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die | Über einen Temperatur Sensor soll die Temperatur erfasst werden. | - Der Temperatur-sensor ist am Mikrocontroller angeschlossen |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Temperatur messen zu können. | | und erfasst die Temperatur |
| **F5** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die Luftfeuchtigkeit messen zu können. | Über einen Luftfeuchtigkeitssensor soll die Luftfeuchtigkeit erfasst werden. | - Der Luftfeuchtigkeits-sensor ist am Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die Luftfeuchtigkeit |
| **F6** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein Luftdruck messen zu können. | Über einen Luftdrucksensor soll der Luftdruck erfasst werden. | - Der Luftdruck-sensor ist am Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die Luftdruckwerte |
| **F7** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die CO-Werte aus der Luft messen zu können. | Über einen CO Sensor sollen die CO-Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der CO-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die CO-Werte |
| **F8** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein die VOC-Werte aus der Luft messen zu können. | Über einen VOC-Sensor sollen die VOC-Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der VOC-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die VOC Werte |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **F9** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein den Standort der IoT-Messstation aufnehmen zu können. | Über einen GPS-Sensor soll der Standort der Messstation bestimmt werden können. | - Der GPS-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die Position der Messstation |
| **F10** | MUSS | Die IoT-Messstation muss die Möglichkeit bieten die Sensordaten an eine zentrale Station zu übertragen. | Über einen MIOTY-Sender sollen die Daten der Messstation an ein MIOTY-Gateway gesendet werden. | - Der MIOTY-Sender ist an dem Mikrocontroller angeschlossen<br>- Daten können über den MIOTY-Sender an das Gateway gesendet werden |
| **F11** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein den eigenen Stromverbrauch mit selbsterzeugtem Strom abzudecken. | Über ein Solarpanel soll der benötigte Strom für die Messstation erzeugt werden. | - Ein Solarpanel ist an die Messstation angeschlossen<br>- Die Messstation läuft ausschließlich über den Strom des Solarpanels |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **F12** | MUSS | Die zentrale Station muss fähig sein die Daten aller IoT-Messstationen innerhalb eines größeren Umkreises erhalten zu können. | Über ein MIOTY-Gateway sollen die Sensordaten aller Messstationen in einem großen Umkreis an einer zentralen Stelle gesammelt und ausgewertet werden. | - Das MIOTY-Gateway empfängt Daten der Messstationen<br>- Die Messstationen können innerhalb eines Umkreises von 10 km verteilt werden. |
| **F13** | MUSS | Die zentrale Station muss fähig sein die Daten über eine Schnittstelle der Webseite bereitzustellen. | Die ausgewerteten Daten der Messstationen sollen über einen Webservice bereitgestellt werden. | - Das Gateway besitzt einen Webservice, über welchen die Sensordaten abgerufen werden können. |
| **F14** | MUSS | Die Webseite muss dem Benutzer die Möglichkeit bieten die gemessenen Daten mittels Diagrammen darzustellen. | Die Sensordaten der Messstationen sollen mithilfe gut verständlicher Diagramme auf einer Webseite angezeigt werden. | - Für jeden erfassten Wert ist ein eigenes Diagramm verfügbar |
| **F15** | MUSS | Die Webseite muss fähig | Über die Schnittstelle zum Gateway, soll die | - Das Gateway besitzt einen |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | sein die Daten aus der zentralen Station abzufragen, zu speichern und auszuwerten. | Webseite die Sensordaten abfragen können. | Webservice, um Daten abrufen zu können<br>- Die Webseite ruft den Webservice des Gateways auf |
| **F16** | SOLL | Die Webseite sollte dem Benutzer die Möglichkeit bieten die Oberfläche nach seinen Wünschen anzupassen. | Über eine dynamische Oberfläche soll dem Benutzer die Möglichkeit geboten werden die Anzeige der Sensordaten nach seinen Wünschen anzupassen. | - Die Webseite ist dynamisch und anpassbar gestaltet |
| **F17** | SOLL | Die IoT-Messstation muss fähig sein die $NO^2$-Werte aus der Luft messen zu können. | Über einen $NO^2$-Sensor sollen die $NO^2$-Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der $NO^2$-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die $NO^2$-Werte |
| **F18** | SOLL | Die IoT-Messstation muss fähig sein die $SO^2$-Werte aus der Luft messen zu können. | Über einen $SO^2$-Sensor sollen die $SO^2$-Werte aus der Luft erfasst werden. | - Der $SO^2$-Sensor ist an dem Mikrocontroller angeschlossen und erfasst die $SO^2$-Werte |

**Nicht-funktionale Anforderungen**

| Nr. | Priorität | Anforderung | Beschreibung | Abnahmekriterien |
|---|---|---|---|---|
| **N1** | MUSS | Die IoT-Messstation muss fähig sein an jedem beliebigen Ort einsetzbar zu sein. | Über den eigens generierten Strom der Messstation soll diese standortunabhängig eingesetzt werden können. | - Das Solarpanel erzeugt genug Strom, damit die Messstation läuft<br>- Sensordaten werden über MIOTY an das Gateway gesendet |
| **N2** | SOLL | Die IoT-Messstation sollte kompakt in eine kleine Box passen. | Damit die Messstation flexibel eingesetzt werden kann, sollte die Größe einer kleinen kompakten Box entsprechen. | - Alle Komponenten der Messstation passen in eine Box mit den Maßen 15 x 10 x 15 cm |
| **N3** | MUSS | Die zentrale Station muss zu jedem Zeitpunkt von der Messstation und der Webseite erreichbar sein. | Damit die Sensordaten der Messstationen permanent aufgenommen und dargestellt werden können, muss die zentrale Station durchgehend in Betrieb sein. | - Die Ausfallzeit des Gateways beträgt pro Monat weniger als 5 Stunden |
| **N4** | SOLL | Die Webseite sollte für den | Damit der Benutzer die Sensordaten jederzeit | - Die Ausfallzeit der Webseite |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Benutzer dauerhaft erreichbar sein. | abfragen kann, muss die Webseite permanent erreichbar sein. | beträgt pro Monat weniger als 5 Stunden |
| **N5** | SOLL | Die Webseite sollte für den Benutzer von jedem Ort aus erreichbar sein. | Damit der Benutzer die Sensordaten von jedem Ort aus abfragen kann, muss die Webseite standortunabhängig erreichbar sein. | - Die Webseite ist aus dem gleichen Netzwerk erreichbar<br>- Die Webseite ist aus einem anderen Netzwerk erreichbar |
| **N6** | SOLL | Die Webseite sollte fähig sein, alle 10 Minuten die Daten zu aktualisieren. | Um die aktuellen Sensordaten anzeigen zu können, soll die Webseite in einem 10 Minuten Rhythmus die Sensordaten aktualisieren. | - Der Webservice des Gateways wird automatisch alle 10 Minuten von der Webseite aufgerufen und die Daten aktualisiert |

# 2 Konzept (fachlich und technisch)

## 2.1 Beschreibung des entwickelten Systems

Für ein geeignetes Erscheinungsbild einer mobilen Messstation wurde ein schlankes Design eines kleinen Quaders gewählt. Das neue Produkt sollte durch die geringe Größe für möglichst viele Einsatzbereiche attraktiv wirken, und die Anforderungen zur Nutzung im Flughafenumfeld vollständig abdecken. Im Mittelpunkt der Konzeption wurden hochpräzise, energieeffiziente und preiswerte Sensoren getestet und im Laufe der Entwicklung in das Produkt implementiert. Um eine breite Masse an Anwendungsbereichen abzudecken wurde, auch aus technischen Gründen der Kasten, der das System umgibt, wasserdicht verschlossen. Die Messstation wurde daraufhin mit Löchern für die Luftzufuhr ausgestattet. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die Messungen keine fehlerhaften Werte durch die von den Sensoren gemessene Luft ermitteln. Zur Umsetzung des Endproduktes wurde ein Kasten angefertigt, der das System wasserdicht verschließt (Breite x Höhe x Tiefe: 15 x 10 x 15 cm). In der folgenden Abbildung sind zwei Bilder des Prototyps zu sehen. Das linke Bild zeigt die Box im geschlossenen Zustand, wohingegen das rechte Bild des Prototyps die Sensoren mit der jeweiligen Verkabelung aufzeigt.

Abbildung 3: Prototypische Umsetzung der IoT-Messstation

## 2.2 Elektronische Komponenten des Systems

Das System besteht aus zwei Mikrocontrollern, dem *Espressif ESP32-WROOM-32D* (fortlaufend als Espressif-ESP32 bezeichnet) und dem *Elegoo UNO-R3*, wobei der *Elegoo UNO-R3* nur als weitere Spannungsquelle dient und durch ein Modul, das diese Funktion bereitstellt, ersetzt werden könnte. Der Espressif-ESP32 stellt somit die Hauptrechenkomponente des Systems dar, an diesem Bauteil werden die Daten verarbeitet und versendet. Zur Erfassung der Sensordaten dienen drei Präzisionssensoren, die die erfassten Daten an den Espressif-ESP32 physisch übermitteln. Zur Erfassung der Umgebungswerte wie Feuchtigkeit, Temperatur und Druck wird das Sensormodul *GY-BME280* genutzt. Eine $CO_2$-Messung ermöglicht das Infrarot Gasmodul *MHZ-19B* und die Erfassung der Feinstaubwerte (PM2.5 & PM10) erfolgt durch Plantower's Staubsensor *PMS7003*. Die Messwerte werden durch Sensoren erfasst, über den Mikrocontroller verarbeitet und über WLAN übermittelt. Für die Weiterentwicklung dieses Produktes sollen die ermittelten Werte über das LPWAN (Low Power Wide Area Network) MIOTY kommuniziert werden, jedoch konnte der Prototyp mit dieser Technologie nicht getestet werden. Die Vorteile wären eine deutlich höhere Reichweite zur Übermittlung der Werte der Messstation (bis zu 15 km) und ein energieeffizienteres und somit billigeres Endprodukt auf Grund von reduziertem Stromverbrauch der Messstation.

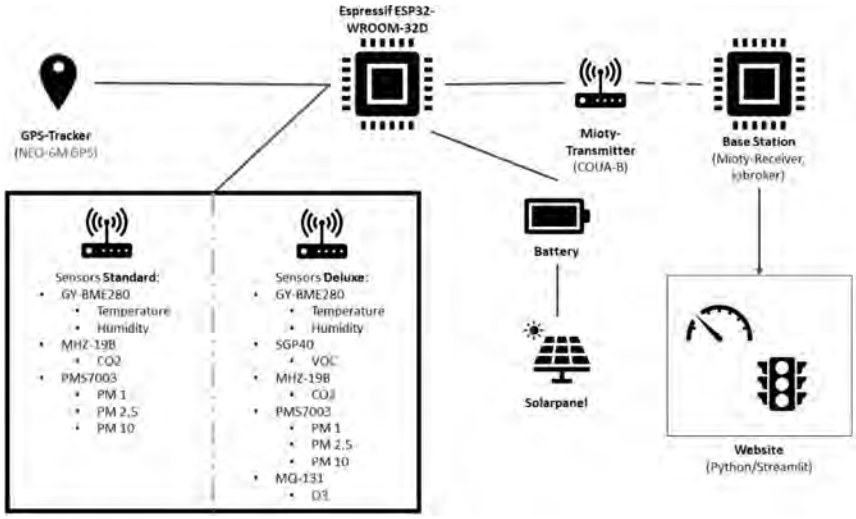


Abbildung 4: Konzept der IoT-Messstation

Das ursprüngliche Konzept für die Entwicklung der Prototypen umfasste eine grobe Vision der mobilen Messstation (vgl. Abbildung 4). Diese sollte autark, resistent und in verschiedenen Versionen dem Kunden angeboten werden können. Der Unterschied in den Versionen der Messstationen umfasst hierbei unterschiedliche Ansammlungen an Sensoren zur Analyse der Luftwerte, wobei in der Deluxe Version alle Sensoren der Standard Version enthalten sind. Zur Entwicklung des Prototyps wurde hierfür die Standard-Sensoren-Version umgesetzt. Aus Gründen der technologischen Machbarkeit mussten bei diesem Projekt auf die Komponente der MIOTY-Kommunikation verzichtet werden. Die Hardware war vorhanden, jedoch waren technische Probleme seitens der Anbieter der MIOTY-Receiver Komponente vorhanden. Eine Messung des Energieverbrauchs wurde für die Nutzung der mobilen Messstation mit WLAN-Modul des Espressif-ESP32 durchgeführt.

# 3 Systemarchitektur

In diesem Kapitel wird die Architektur des entwickelten Systems beschrieben, hierbei werden die physischen und digitalen Komponenten beschrieben. Im ersten Absatz wird die Rechenkomponente des Systems und folgend die einzelnen Sensoren beschrieben sowie deren technischen Spezifikationen genannt. Anschließend werden die Softwarekomponenten beschrieben, die zur Visualisierung der erfassten Werte genutzt wurden. Abschließend wird der Stromverbrauch des Projektergebnisses berechnet, die Grundlage für diese Berechnungen bieten Messungen des Stromverbrauchs.

**Mikrocontroller**: ESP32-WROOM-32D (*Espressif Systems*)

Der Espressif-ESP32 stellt die Schlüsselkomponente der Datenverarbeitung und Datenvermittlung der mobilen Messstation dar. Die Eigenschaften dieses Mikrocontrollers, wie ein großer Speicher für Code, eine Vielzahl an Schnittstellen sowie die Fähigkeit über WLAN zu kommunizieren waren ausschlaggebend für die Wahl dieses Mikrocontrollers [vgl. 1, S. 6f]. Der Espressif-ESP32 verfügt über unterschiedliche Stromversorgungsmodi, die eine energieeffiziente Nutzung ermöglichen. Für einen gewerblichen Verkauf ist dieser Mikrocontroller geeignet aufgrund der geringen Anschaffungskosten und der hohen Anzahl an nutzbaren Bibliotheken mit diesem Gerät. Als zweiter Mikrocontroller in diesem System ist der *Elegoo Uno R3*, der in der Umsetzung als Spannungsquelle für den Feinstaubsensor diente.

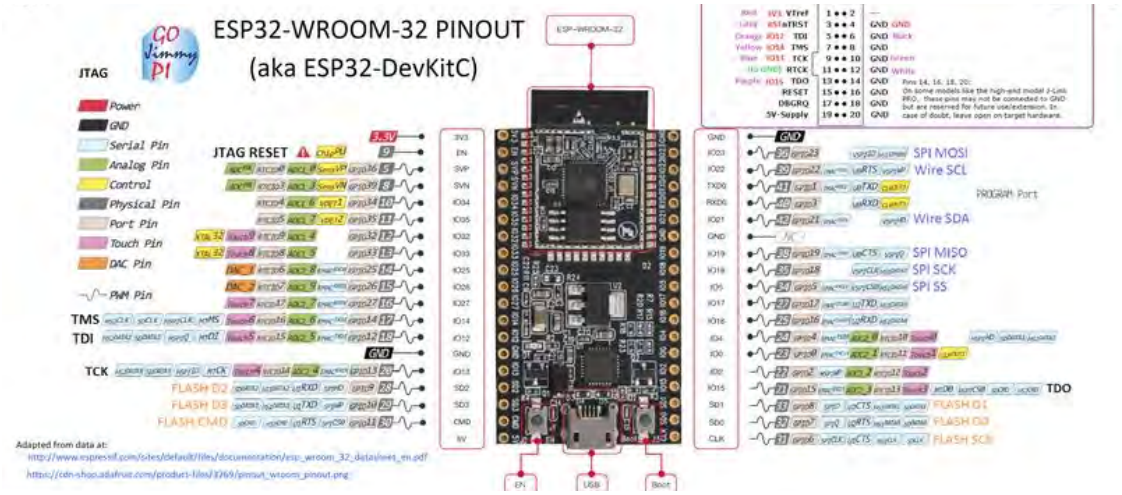


Abbildung 5: Pin-Out ESP32-WROOM-32D

**$CO_2$-Sensor:** MHZ-19B (*Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd*)

Das Infrarot-Gasmodul MHZ-19B ist ein handelsüblicher, kleiner Sensor, der das Prinzip des nicht-dispersiven Infrarot (NDIR) nutzt. Durch dieses Prinzip wird die Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Luft bestimmt. Der Sensor verfügt über gute Selektivität, ist nicht sauerstoffabhängig und verspricht eine lange Lebensdauer. Zudem verfügt er über eine integrierte Temperaturkompensation, einen UART-Ausgang und einen PWM-Ausgang. Das entwickelte System nutzt die PWM-Schnittstelle für den Datentransfer. Das Modul wurde durch die enge Integration von ausgereifter Technologie zur Erkennung von infrarotabsorbierenden Gasen, sowie für die Entwicklung präziser optischer Schaltungstechnik entwickelt [vgl. 3]. Der Sensor findet in dieser Messstation Anwendung zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Luft.

| | |
|---|---|
| **Messung von CO2:** | 0-2000 ppm<br>0-5000 ppm |
| **Genauigkeit:** | -+50 ppm (~3 % auf gelesenen Wert) |
| **Stromverbrauch:**<br>**Versorgungsspannung:** | <60 mA<br>3,3 V (Kompatibel mit 5 V) |
| **Dimension (L x B x H):** | 33 mm × 20 mm × 9 mm |

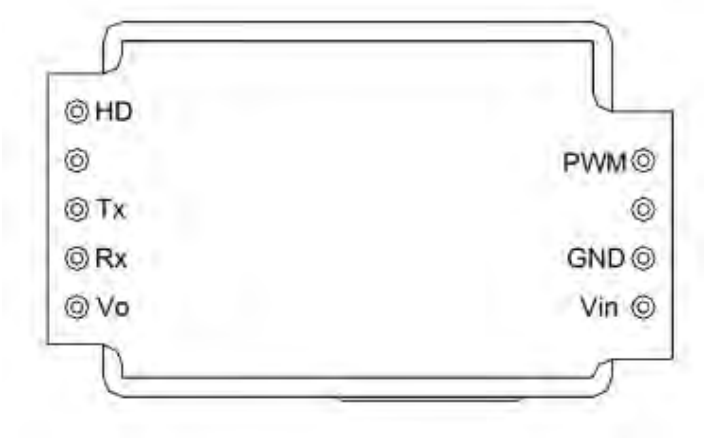


Abbildung 6: Pin-Out des MHZ-19B

Quelle: Abbildung ohne Änderungen übernommen [vgl. 3, S.5]

**Umweltdatenerfassung**: GY-BME280 (*Bosch*)

Das GY-BME280 Druck-Feuchtigkeit-Temperatur-Sensor-Modul ist ein hochpräzises digitales Sensormodul mit I2C- und SPI-Schnittstellen. Dieser BME280 von Bosch, kann in vielen Anwendungen eingesetzt werden, wie bei der Wetterüberwachung oder bei Höhenmessungen mit hoher Präzision. Der Sensor ist werksseitig kalibriert und bietet folgende Spezifikation und Messbereiche:

| | |
|---|---|
| **Messung von Druck im Bereich:** | 300-1100 hPa |
| **Temperatur im Bereich:** | -40 – 85 °C |
| **Luftfeuchte im Bereich:** | 0-100 % |
| **Auflösung, Genauigkeit der Werte:** | bis 0,0018 hPa<br>bis 0,01 °C<br>bis 0,008 % |
| **Stromverbrauch:**<br>**Versorgungsspannung:** | 714 – 0,1 µA<br>5,5 V |

Abbildung 7: Beschreibung BMP280 Pinout

Quelle: Abbildung ohne Änderungen übernommen [vgl. 4]

**Feinstaub-Sensor:** PMS7003, Interface: G7 -> G135 Adapter (*Plantower*)

Der PMS7003 nutzt das Prinzip der Laserstreuung um Partikelgrößen von 1 – 10 Mikrometern in der untersuchten Luft zu ermitteln. Hierbei werden die Streuung und die Intensität der Feinstaubpartikel in der Luft gemessen. Das programmierte System wendet das Prinzip der Lorenz-Mie-Streuungstheorie an, um das Vorkommen von Kleinstteilen im untersuchten Bereich zu ermitteln. Der Staubsensor ist das am meisten entwickelte Sensorsystem der Plantower-Reihe in der Feinstaubmessung und bietet eine energieeffiziente Messung durch ein kleines System an.

| | |
|---|---|
| **Messbereiche:** | 0,3...1,0 µm<br>1,0...2,5 µm<br>2,5...10 µm |
| **Größte Genauigkeit im Bereich:** | 0...500 µg/m3 |
| **Versorgungsspannung:** | 3,3 V (kompatibel mit 5 V) |
| **Aktiver Stromverbrauch:**<br>**Standby Verbrauch:** | ≤ 100 mA<br>≤ 200 µA |
| **Dimension:** | 48 x 37 x 12 mm |

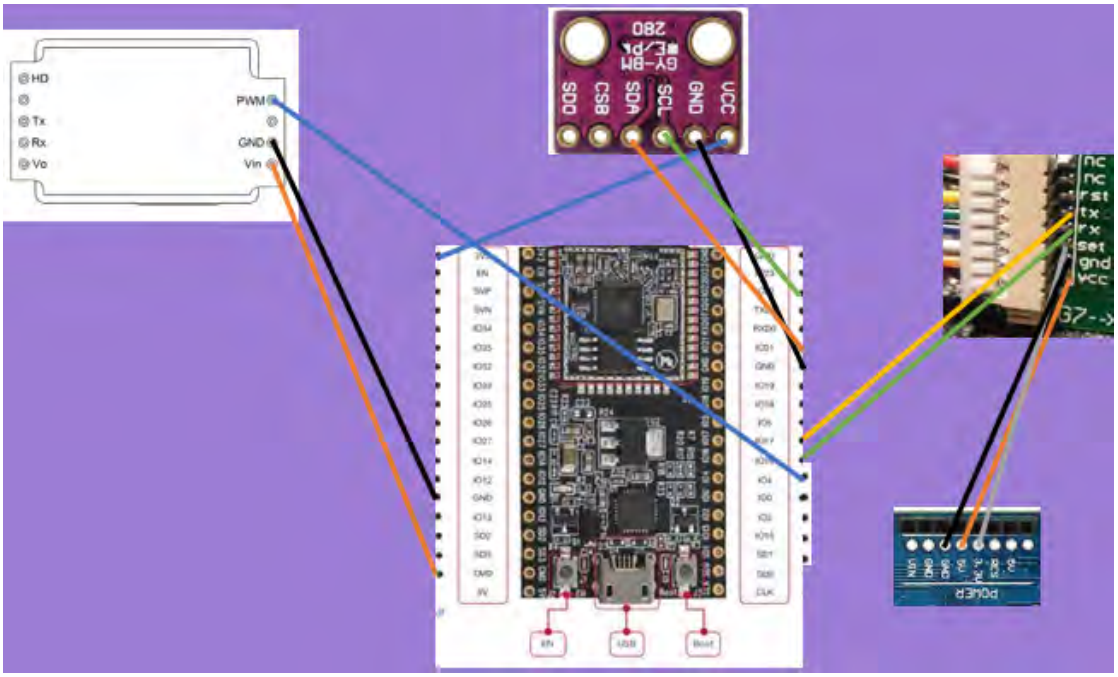


Abbildung 8: Verdrahtung der IoT-Messstation

| | | |
|---|---|---|
| MHZ-19B to ESP32 | PWM to IO4 (Blue) | Datatransfer |
| MHZ-19B to ESP32 | GND to GND (Black) | Grounding |
| MHZ-19B to ESP32 | Vin to 5V (Red) | Voltage |
| BME280 to ESP32 | SDA to IO21 (Orange) | |
| BME280 to ESP32 | SCL to IO22 (Green) | |
| BME280 to ESP32 | GND to GND (Black) | Grounding |
| BME280 to ESP32 | VCC to 3V3 (Blue) | Voltage |
| PMS7003 to alt. SQ | VCC to 5v (Orange) | Voltage |
| PMS7003 to alt. SQ | GND to GND (Black) | Grounding |
| PMS7003 to alt. SQ | SET to 3V3 (Grey) | |
| PMS7003 to ESP32 | RX to IO16 (Green) | Receiver (PMS) |
| PMS7003 to ESP32 | TX to IO17 (Yellow) | Transmitter (PMS) |

Die folgend beschriebenen Komponenten wurden versucht in die Innovationen zu implementieren, konnten jedoch in der Projektlaufzeit nicht erfolgreich getestet werden. Der GPS-Sensor NEO-6M der Firma u-blox AG wurde in mehrfacher Ausführung bestellt und durch einen Fachmann verlötet, jedoch waren die gelieferten Bauteile defekt und lieferten somit keine nutzbaren Werte für das System. Eine energieeffizientere Möglichkeit der Kommunikation versprach die MIOTY-Technologie, diese konnte nicht zur Projektlaufzeit in das Produkt implementiert werden. Hier waren sowohl Probleme von Herstellerseite wie, dass es für keinen verfügbaren Arduino-Mikrocontroller eine nutzbare Bibliothek zur Verfügung steht, wie auch von Seite eines weiteren Partnerunternehmens, das das MIOTY-Gateway zur Verfügung stellte. Ein MIOTY-Gateway empfängt die vom MIOTY-Transmitter versendeten Daten und konnte im Produkttestzeitraum nicht produktiv genutzt werden. Daher erfolgt nun eine kurze Beschreibung der Komponenten und der theoretische Mehrwert für das System wird beschrieben.

**GPS-Sensor:** NEO-6M (u-blox AG)

Als GPS-Modul in diesem System für mobile Messprojekte wurde das Guangcailun NEO-6M GPS Module ausgewählt, dieses versprach eine kostengünstige und präzise Ortung der Messstation auf eine Genauigkeit von 2,5 m in Echtzeit. In der Projektphase wurden zwei dieser Bauteile verbaut und implementiert, jedoch handelte es sich bei beiden Modulen um defekte Bauteile, die zwar mit Spannung versorgt werden konnten und auch starteten, aber die Geokoordinaten der Position des Sensors nicht ermitteln konnten.

**Kommunikationsalternative:** MIOTY-Transmitter (Behrtech)

Für eine stromsparendere Kommunikation der mobilen Messstation wurde in der Konzeptionsphase die MIOTY-Kommunikation (drahtlose LPWAN-Technologie) gewählt, die die Möglichkeit bietet eine die Kommunikation für hohe Anzahlen an IoT-Endgeräten über große Reichweite zu ermöglichen. MIOTY ist eine standardisierte softwarebasierte Konnektivitätslösung für den Aufbau von leistungsfähigen Low Power Wide Area Networks (LPWAN) sowie für industrielle und kommerzielle IoT-Anwendungen. Die Technologie verspricht einen besonders energieeffizienten Austausch von Nachrichten und unterstützt die Datenübertragung von mobilen Systemen mit einer Geschwindigkeit bis zu 120 Kilometer pro Stunde [vgl. 5, S. 2f]. Diese Form der Kommunikation war während der Machbarkeitsprüfung noch nicht nutzbar, da die gewählten Partner, die eine Anbindung und Teststation für eine prototypische Entwicklung zur Verfügung stellen sollten, auf Probleme in der Einrichtung des Gateways stießen. Das Gateway ist im Konzept als Base Station beschrieben und hätte als der physische Kommunikationsendpunkt für dieses Projektes dienen sollen. Als Folge dessen wurde der Mikrocontroller *Espressif-ESP32* als Rechenkomponente des Systems gewählt, der neben den benötigten Schnittstellen für Sensoren zusätzlich die Kommunikation über WLAN ermöglicht. Die Wahl dieser Alternative ermöglichte ein Testen der mobilen Messstation ohne weitere Kosten zu verursachen. Als Schnittstelle für den Datentransfer wurde das kostenfreie MQTT-Netzwerkprotokoll von hiveMQ genutzt.

**Visualisierung der Sensordaten auf einem Online-Dashboard**

Die durch die Messstation erfassten Daten, sollen über eine Webseite visualisiert und für den Nutzer abrufbar gemacht werden. Dabei soll ein für den Nutzer anpassbares Dashboard entstehen. Umgesetzt wird dies über eine mit Python programmierte Webseite, unter Verwendung des Streamlit Frameworks. Dabei ruft die Webseite zunächst die Sensordaten aus der Base Station ab und visualisiert diese anschließend mit dem Streamlit Framework. Durch einen refresh-Button auf der Webseite, wird dem Nutzer ermöglicht die Daten erneut abzufragen. Das Vorgehen hierbei ist identisch zum bereits beschriebenen Vorgehen. Für die technische Nachvollziehung der Webseite, ist der Quellcode für die Webseite des erstellten Prototyps im Anhang ausgewiesen.

**Stromverbrauch des beschriebenen Systems:**

Grundlage für die Werte bildet eine Messung des Stromverbrauchs der mobilen Messstation über einen Zeitraum von 4 Stunden. Der Stromverbrauch könnte weiter gesenkt werden, wenn die Daten über ein MIOTY-Transmitter versendet werden könnten. Eine optimalere Lösung der zweiten Spannungsquelle könnte das System zusätzlich energieeffizienter gestalten.

| | |
|---|---|
| **Elektrische Stromstärke benötigt:** | 0,02 – 0,025 A |
| **Elektrische Spannung benötigt:** | 40-50 V |
| **Benötigte Energie je Stunde:** | 1 W/h |
| **Kalkulierter Verbrauch (Monat):** | 744 Wh |

## Literaturverzeichnis

[1] Espressif ESP32-WROOM-32D Datasheet, zuletzt aufgerufen am 19.08.2021, um 10:25:
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf

[2] Compontents191 ESP32 – DevKitC, zuletzt aufgerufen am 25.08.2021, um 18:51:
https://components101.com/microcontrollers/esp32-devkitc

[3] MH-Z19B User-Manual zuletzt aufgerufen am 19.08.2021, um 10:27:
https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf

[4] Bosch BMP280 DIY Pressure Sensor Project Primer, zuletzt aufgerufen am 19.08.2021, um 10:29:
https://www.electroschematics.com/bmp280-diy-project-primer/

[5] Behrtech Best-in-Class, Wireless Connectivity for IIoT - Mioty angefordertes PDF-Dokument (07/2021) zuletzt aufgerufen am 25.08.2021, um 18:53:
https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4739964/Brochures/Brochure%20-%20MIOTY%20(digital%20only).pdf

## Anhang

```
#include <WiFi.h>

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_BME280.h>

#include <PubSubClient.h>

#include <PMserial.h>

#define BITRATE 115200

#define BME_SDA 21

#define BME_SCL 22

Adafruit_BME280 bme;

#define MHZ19B_SENSOR_PIN 4

// Obergrenze des Messbereichs (0-2000. 0-5000 ppm CO2)

#define MHZ19B_RANGE 5000

const char* ssid = "wifissid";

const char* password = "wifipassword";

const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";

int mqttPort = 1883;

WiFiClient espClient;

PubSubClient mqttClient(espClient);

SerialPM pms(PMSx003, 16, 17);

long i;

char msg[50];

int value = 0;

float temperature = 0;

float pressure = 5;
```

```
float humidity = 3;
float cotwo = 2;
float cotwoeasy = 1;
float pm1 = 1;
float pm25 = 25;
float pm100 = 100;
char tempMsg[8];
char presMsg[8];
char coMsg[8];
char coeMsg[8];
char humMsg[8];
char pm1Msg[8];
char pm25Msg[8];
char pm100Msg[8];

void wifi_setup() {
  delay(25);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
```

```
  Serial.print("");
  Serial.println("WiFi is connected now!");
  Serial.println("IP Adress: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

void setupMQTT() {
  mqttClient.setServer(mqtt_server, mqttPort);
  mqttClient.setCallback(callback);
}

void setup()
{
  Serial.begin(BITRATE);
  pms.init();
  pinMode(MHZ19B_SENSOR_PIN, INPUT);
  if (!bme.begin(0x76))
  {
    Serial.println("Error! No BME Sensor Detected!!!");
  }
  wifi_setup();
  setupMQTT();
}

void callback(char* topic, byte* message, unsigned int
length) {
```

```
  Serial.print("Message arrived on topic: ");
  Serial.print(topic);
  Serial.print(". Message: ");
  String messageTemp;
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    Serial.print((char)message[i]);
    messageTemp += (char)message[i];
  }
  Serial.println();
}
void reconnect() {
  while (!mqttClient.connected()) {
    Serial.print("Attempting MQTT connection...");
    String clientId = "ESP32Client-airTouch";
    if (mqttClient.connect(clientId.c_str())) {
      Serial.println("connected");
      break;
    } else {
      Serial.print("failed, rc = ");
      Serial.println(" try again in 5 seconds");
      delay(5000);
    }
  }
}
```

```
void loop() {
  int pulse_high, pulse_high_2, pulse_low;
  unsigned long time_start;
  if (!mqttClient.connected()) {
    reconnect();
    mqttClient.loop();
  }
  long now = millis();
  // pulseIn() arbeitet mit Mikro- (nicht Milli-)Sekunden
  pulse_high = pulseIn(MHZ19B_SENSOR_PIN, HIGH, 2200000UL)
/ 1000;
  time_start = millis();  // jetzt beginnt der LOW-Pegel
  // ... dann die Länge des folgenden HIGH-Pegels messen
  pulse_high_2 = pulseIn(MHZ19B_SENSOR_PIN, HIGH, 1100000UL)
/ 1000;
  // die Dauer des LOW-Pegels ist die Zeit seit Beginn der
Messung minus die Dauer des zweiten HIGH-Pegels;
  pulse_low = millis() - time_start - pulse_high_2;
  temperature = bme.readTemperature();
  pressure = bme.readPressure() / 100;   // 100 Pa = 1
millibar (Pa = newton per square meter)
  humidity = bme.readHumidity();
  cotwo = (pulse_high - 2) * MHZ19B_RANGE / 1000;
  cotwoeasy = (pulse_high - 2) * MHZ19B_RANGE / (pulse_high
+ pulse_low - 4);
  pm1 = pms.pm01;
```

```
pm25 = pms.pm25;
pm100 = pms.pm10;
dtostrf(temperature, 3, 1, tempMsg);
dtostrf(pressure, 4, 2, presMsg);
dtostrf(humidity, 3, 0, humMsg);
dtostrf(cotwo, 4, 0, coMsg);
dtostrf(cotwoeasy, 4, 0, coeMsg);
dtostrf(pm1, 4, 0, pm1Msg);
dtostrf(pm25, 4, 0, pm25Msg);
dtostrf(pm100, 4, 0, pm100Msg);
mqttClient.publish("airTouch/temperature", tempMsg);
mqttClient.publish("airTouch/pressure", presMsg);
mqttClient.publish("airTouch/humidity", humMsg);
mqttClient.publish("airTouch/cotwo", coMsg);
mqttClient.publish("airTouch/cotwoeasy", coeMsg);
mqttClient.publish("airTouch/pm1", pm1Msg);
mqttClient.publish("airTouch/pm25", pm25Msg);
mqttClient.publish("airTouch/pm100", pm100Msg);
Serial.print("------------BME 280 - CO2 -------------\n");
Serial.print("Temperature = ");
Serial.print(temperature);
Serial.println(" *C");
Serial.print("Pressure = ");
Serial.print(pressure);
Serial.println(" mb");
```

```
  Serial.print("Approx Humidity = ");
  Serial.print(humidity);  //  This  should  be  lined  up
(atmospheric pressure at sea level is 1013 millibars)
  Serial.println(" %");
  // Ausgabe im seriellen Monitor:
  // - CO2-Wert nach einfacher Formel
  // - Wert nach vollständiger Formel
  // - Roh-Werte der Messung
  Serial.print("PPM CO2: ");
  Serial.print(cotwo);
  Serial.print(" (einfach); ");
  Serial.print(cotwoeasy);
  Serial.print(" (korrekt); ");
  Serial.print("Rohwerte (HIGH, LOW): ");
  Serial.print(pulse_high);
  Serial.print(", ");
  Serial.println(pulse_low);
  Serial.print("--------------------------------\n\n");
  pms.read();                   // read the PM sensor
  Serial.print(F("PM1.0"));
  Serial.print(pms.pm01);
  Serial.print(F(", "));
  Serial.print(F("PM2.5"));
  Serial.print(pms.pm25);
  Serial.print(F(", "));
  Serial.print(F("PM10);
```

```
  Serial.print(pms.pm10);
  Serial.println(F(" [ug/m3]"));
}
```

**Python**

Abfragen der Daten:

```
'''
Created on 28.05.2021

@author: Julian Scherer
'''

import paho.mqtt.client as mqtt
from datetime import datetime


def appendToFile(data, topicname):
    now = datetime.now().strftime("%m/%d/%Y %H:%M:%S")
    if topicname == "airTouch/temperature":
        f = open("temperature.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/pressure":
        f = open("pressure.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/humidity":
        f = open("humidity.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/cotwo":
        f = open("cotwo.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/cotwoeasy":
        f = open("cotwoeasy.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/pm1":
        f = open("pm1.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/pm25":
        f = open("pm25.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
    if topicname == "airTouch/pm100":
        f = open("pm100.txt", "a")
        f.write(data + ", " + now + "\n")
        f.close
        # The callback for when the client receives a
CONNACK response from the server.


def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    if rc == 0:
        print("Connected successfully")
    else:
        print("Connect returned result code: " + str(rc))


# The callback for when a
```

```
PUBLISH message is received from the server.
def on_message(client, userdata, msg):
    appendToFile(msg.payload.decode("utf-8"), msg.topic)
    print("Received message: " + msg.topic + " ->
" + msg.payload.decode("utf-8"))


# def getMessage():
# create the client
client = mqtt.Client(client_id="tester", userdata=None, protocol=mqtt.
MQTTv31)
client.on_connect = on_connect
client.on_message = on_message

# enable TLS
# client.tls_set(tls_version=mqtt.ssl.PROTOCOL_TLS)

# set username and password
# client.username_pw_set("monitoring", "Studium2021")

# connect to HiveMQ Cloud on port 8883
client.connect("broker.hivemq.com", 1883)

# subscribe to the topic "my/test/topic"
client.subscribe(
    [("airTouch/temperature", 0), ("airTouch/pressure", 0), ("airTouch
/humidity", 0), ("airTouch/cotwo", 0),
     ("airTouch/cotwoeasy", 0), ("airTouch/pm1", 0), ("airTouch/pm25",
 0), ("airTouch/pm100", 0)])

# publish "Hello" to the topic "my/test/topic"
# client.publish("innot/topic", "tes5")

#
Blocking call that processes network traffic, dispatches callbacks and
 handles reconnecting.
client.loop_forever()
```

Visualisierung mit Streamlit:

```
from datetime import datetime
from bokeh.models import ColumnDataSource, Legend, LegendItem
import time as time
from dateutil import parser
import explode as explode
import streamlit as st
import plotly.figure_factory as ff
import numpy as np
import requests as req
from bokeh.plotting import figure


# '''
# Created on 20.05.202

# @author: Julian Scherer
# '''

def datetimeDate(stringDate):
```

```
    date = lineValue[1].split(" ")[0]
    day = int(date.split("/")[1])
    month = int(date.split("/")[0])
    year = int(date.split("/")[2])

    time = lineValue[1].split(" ")[1]
    hours = int(time.split(":")[0])
    minutes = int(time.split(":")[1])
    seconds = int(time.split(":")[2])

    dateAsDatetime = datetime(year, month, day, hours, minutes, second
s)
    dateAsDatetime.__format__('%d.%m.%Y %H:%M:%S')
    return dateAsDatetime

#---------- Temperature
temp = open("temperature.txt", "r")
tempLines = temp.readlines()
templast = tempLines[-1].split(", ")


tempValues = []
tempDates = []
for templine in tempLines:
    lineValue = templine.split(", ")
    tempValues.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    tempDates.append(datetimeDate(lineDate))


#---------- Pressure
press = open("pressure.txt", "r")
pressLines = press.readlines()
presslast = pressLines[-1].split(", ")


pressValue = []
pressDate = []
for pressline in pressLines:
    lineValue = pressline.split(", ")
    pressValue.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    pressDate.append(datetimeDate(lineDate))


#---------- Humidity
app = open("humidity.txt", "r")
appLines = app.readlines()
applast = appLines[-1].split(", ")


appValue = []
appDate = []
for appline in appLines:
    lineValue = appline.split(", ")
    appValue.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    appDate.append(datetimeDate(lineDate))
```

```
#---------- Co2
cotwo = open("cotwo.txt", "r")
cotwoLines = cotwo.readlines()
cotwolast = cotwoLines[-1].split(", ")

cotwoValue = []
cotwoDate = []
for cotwoline in cotwoLines:
    lineValue = cotwoline.split(", ")
    cotwoValue.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    cotwoDate.append(datetimeDate(lineDate))


#---------- Co2 easy
cotwoe = open("cotwoeasy.txt", "r")
cotwoeLines = cotwoe.readlines()
cotwoelast = cotwoeLines[-1].split(", ")


cotwoeValue = []
cotwoeDate = []
for cotwoeline in cotwoeLines:
    lineValue = cotwoeline.split(", ")
    cotwoeValue.append(int(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    cotwoeDate.append(datetimeDate(lineDate))

#---------- PM1
pmOne = open("pm1.txt", "r")
pmOneLines = pmOne.readlines()
pmOnelast = pmOneLines[-1].split(", ")


pmOneValue = []
pmOneDate = []
for pmOneline in pmOneLines:
    lineValue = pmOneline.split(", ")
    pmOneValue.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    pmOneDate.append(datetimeDate(lineDate))

#---------- PM2.5
pmTwo = open("pm25.txt", "r")
pmTwoLines = pmTwo.readlines()
pmTwolast = pmTwoLines[-1].split(", ")


pmTwoValue = []
pmTwoDate = []
for pmTwoline in pmTwoLines:
    lineValue = pmTwoline.split(", ")
    pmTwoValue.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    pmTwoDate.append(datetimeDate(lineDate))
```

```
#---------- PM10
pmHundred = open("pm100.txt", "r")
pmHundredLines = pmHundred.readlines()
pmHundredlast = pmHundredLines[-1].split(", ")


pmHundredValue = []
pmHundredDate = []
for pmHundredline in pmHundredLines:
    lineValue = pmHundredline.split(", ")
    pmHundredValue.append(float(lineValue[0]))
    lineDate = lineValue[1]
    pmHundredDate.append(datetimeDate(lineDate))


st.title('AirTouch Monitoring Dashboard')

st.write("Temperature: " + templast[0] + " °C - at: " + templast[1])
st.write("Pressure: " + presslast[0] + " mBar - at: " + presslast[1])
st.write("Humidity: " + applast[0] + " % at: " + applast[1])
st.write("Co2: " + cotwolast[0] + " ppm - at: " + cotwolast[1])
st.write("Co2-easy: " + cotwoelast[0] + " ppm - at:
" + cotwoelast[1])
st.write("PM1: " + pmOnelast[0] + " ppm - at: " + pmOnelast[1])
st.write("PM2.5: " + pmTwolast[0] + " ppm - at: " + pmTwolast[1])
st.write("PM10: " + pmHundredlast[0] + " ppm - at:
" + pmHundredlast[1])

st.button("refresh")

source = ColumnDataSource(data=dict(
    x=tempDates,
    y1=tempValues,
    y2=pressValue,
    y3=appValue,
    y4=cotwoValue,
    y5=cotwoeValue
))

pTempAndHum = figure(title='Temperature and Humidity', x_axis_label='t
ime', x_axis_type='datetime', y_axis_label='Temperature in
°C, Humidity in %')
r
= pTempAndHum.multi_line([tempDates, appDate], [tempValues, appValue],
color=["firebrick", "navy"], alpha=[0.8, 0.3], line_width=4)
legend = Legend(items=[
    LegendItem(label="Temperature", renderers=[r], index=0),
    LegendItem(label="Humidity", renderers=[r], index=1),
])
pTempAndHum.add_layout(legend)
st.bokeh_chart(pTempAndHum, use_container_width=True)


pCotwoAndPress = figure(title='CO²
and Pressure', x_axis_label='time', x_axis_type='datetime', y_axis_lab
el='CO² in ppm, Pressure in mBar')
RCaP = pCotwoAndPress.multi_line([cotwoDate, pressDate], [cotwoValue,
pressValue], color=["firebrick", "navy"], alpha=[0.8, 0.3], line_width
```

```
=4)
legend = Legend(items=[
    LegendItem(label="CO²", renderers=[RCaP], index=0),
    LegendItem(label="Pressure", renderers=[RCaP], index=1),
])
pCotwoAndPress.add_layout(legend)
st.bokeh_chart(pCotwoAndPress, use_container_width=True)

pTemp = figure(title='Temperature', x_axis_label='Time', x_axis_type='
datetime', y_axis_label='Temperature in °C')
pTemp.line(tempDates, tempValues, legend_label='Temperature', line_wid
th=2)
st.bokeh_chart(pTemp, use_container_width=True)

pPress = figure(title='Pressure', x_axis_label='Time', x_axis_type='da
tetime', y_axis_label='Pressure in mBar')
pPress.line(pressDate, pressValue, legend_label='Pressure', line_width
=2)
st.bokeh_chart(pPress, use_container_width=True)

pApp = figure(title='Humidity', x_axis_label='Time', x_axis_type='date
time', y_axis_label='Humidity in %')
pApp.line(appDate, appValue, legend_label='Humidity', line_width=2)
st.bokeh_chart(pApp, use_container_width=True)

pCotwo = figure(title='Co²', x_axis_label='Time', x_axis_type='datetim
e', y_axis_label='Co² in ppm')
pCotwo.line(cotwoDate, cotwoValue, legend_label='Co²', line_width=2)
st.bokeh_chart(pCotwo, use_container_width=True)

pCotwoe = figure(title='Co²', x_axis_label='Time', x_axis_type='dateti
me', y_axis_label='Co²-easy in ppm')
pCotwoe.line(cotwoeDate, cotwoeValue, legend_label='Co²-
easy', line_width=2)
st.bokeh_chart(pCotwoe, use_container_width=True)

pPmOne = figure(title='PM1', x_axis_label='Time', x_axis_type='datetim
e', y_axis_label='PM1 in ppm')
pPmOne.line(pmOneDate, pmOneValue, legend_label='PM1', line_width=2)
st.bokeh_chart(pPmOne, use_container_width=True)

pPmTwo = figure(title='PM2.5', x_axis_label='Time', x_axis_type='datet
ime', y_axis_label='PM2.5 in ppm')
pPmTwo.line(pmTwoDate, pmTwoValue, legend_label='PM2.5', line_width=2)

st.bokeh_chart(pPmTwo, use_container_width=True)

pPmHundred = figure(title='PM10', x_axis_label='Time', x_axis_type='da
tetime', y_axis_label='PM10 in ppm')
pPmHundred.line(pmHundredDate, pmHundredValue, legend_label='PM10', li
ne_width=2)
st.bokeh_chart(pPmHundred, use_container_width=True)
```

HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Air Touch

# E3: Evaluierung

# Inhaltsverzeichnis

**Abbildungsverzeichnis** ..... **II**

**1 Methodik der Evaluierung** ..... **1**

**2 Vorgehensweise der Evaluierung** ..... **1**

**3 Dokumentation der Ergebnisse und Erkenntnisse** ..... **2**

*3.1 Testszenario 1* ..... *2*

*3.2 Testszenario 2* ..... *3*

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisse $CO_2$ ..... 2

Abbildung 2: Ergebnisse $CO_2$ ..... 4

Abbildung 3: Ergebnisse PM1 ..... 5

Abbildung 4: Ergebnisse PM2.5 ..... 5

Abbildung 5: Ergebnisse PM10 ..... 6

# 1 Methodik der Evaluierung

Zur Evaluierung des Geschäftsmodells und zur Erlangung eines Proof of Concept wurden mit dem erstellten Prototyp verschiedene Messexperimente durchgeführt. Mit einem Experiment soll gezeigt werden, dass die Nutzungssegmente mit dem erstellten Prototyp umgesetzt werden können. Des Weiteren wurde ein Experiment durchgeführt, über welches die Aufnahme verändernder $CO_2$-Werte durch die Sensoren validiert werden soll. Für dieses Experiment wurde von den definierten Nutzungssegmenten abgewichen.

# 2 Vorgehensweise der Evaluierung

Bevor mit der Evaluierung begonnen werden konnte, wurde zunächst ein Prototyp entwickelt, welcher die Grundlage für unsere Bewertung und das Prüfen der Idee darstellt. Dieser Prototyp hat eine Minimalkonfiguration mit ausgewählten Sensoren zur Überprüfung der zuvor genannten Nutzungssegmente. Des Weiteren wurde bei der Umsetzung des Prototyps auf die MIOTY-Technologie verzichtet und stattdessen eine Kommunikation über MQTT realisiert. Die Visualisierung der Daten wurde über ein Python Skript umgesetzt, welches ebenfalls die Daten vom MQTT-Broker abfängt. Insgesamt wurden zwei Testszenarien durchgeführt.

Im ersten Testszenario sollte die Entwicklung des $CO_2$-Wertes in einem geschlossenen Raum gemessen werden. Dieses Szenario soll aufzeigen, dass, sobald in einem Raum keine Frischluftzufuhr mehr gewährleistet wird, der $CO_2$-Wert steigt. Dafür wurde über mehrere Stunden hinweg in einem geschlossenen Raum der $CO_2$-Wert jede Minute erfasst. Dabei ist anzumerken, dass sich über den kompletten Zeitraum hinweg eine Person im Raum befand. Nach einigen Stunden wurde der Raum gelüftet und somit sollten die Veränderungen des $CO_2$-Wertes beobachtet werden.

Im zweiten Testszenario sollten die Entwicklung der Luftwerte an einer stark befahrenen Straße analysiert werden. Für die Durchführung des Experiments wurde der Prototyp in der Straße „Untere Gerbersteig“ in Weingarten zwischen 8 und 9 Uhr aufgestellt. Der Abstand zur Straße belief sich auf ca. 3 m auf einer

Höhe von 1,40 m. Damit sollte herausgefunden werden, wie sich die Luftwerte anhand der vorbeifahrenden Fahrzeuge verändern. Zugleich sollte herausgefunden werden, ob bei vorbeifahrenden LKWs eine höhere Belastung messbar ist und ob diese in den Luftwerten erkennbar ist. Für dieses Szenario wurden die Luftwerte in einem 5 Sekunden Takt übermittelt.

Abschließend wurden die gemessenen Luftwerte beider Experimente anhand der auf der Webseite bereitgestellten Diagramme analysiert und interpretiert.

# 3 Dokumentation der Ergebnisse und Erkenntnisse

## 3.1 Testszenario 1

In Abbildung 1 ist die Veränderung des $CO_2$-Werts im Laufe des ersten Experiments veranschaulicht. Es ist eindeutig erkennbar, dass im Laufe der Zeit der $CO_2$-Wert steigt. Diese Steigerung des $CO_2$-Wertes ist durch den Verbrauch des Sauerstoffes und der damit verbundenen Umwandlung in $CO_2$, durch die sich in dem Raum befindenden Person, zu begründen. Ebenfalls in Abbildung 1 zu erkennen ist der abrupte Abfall des $CO_2$-Wertes unmittelbar nach dem Öffnen des Fensters und der damit verbundenen Frischluftzufuhr.

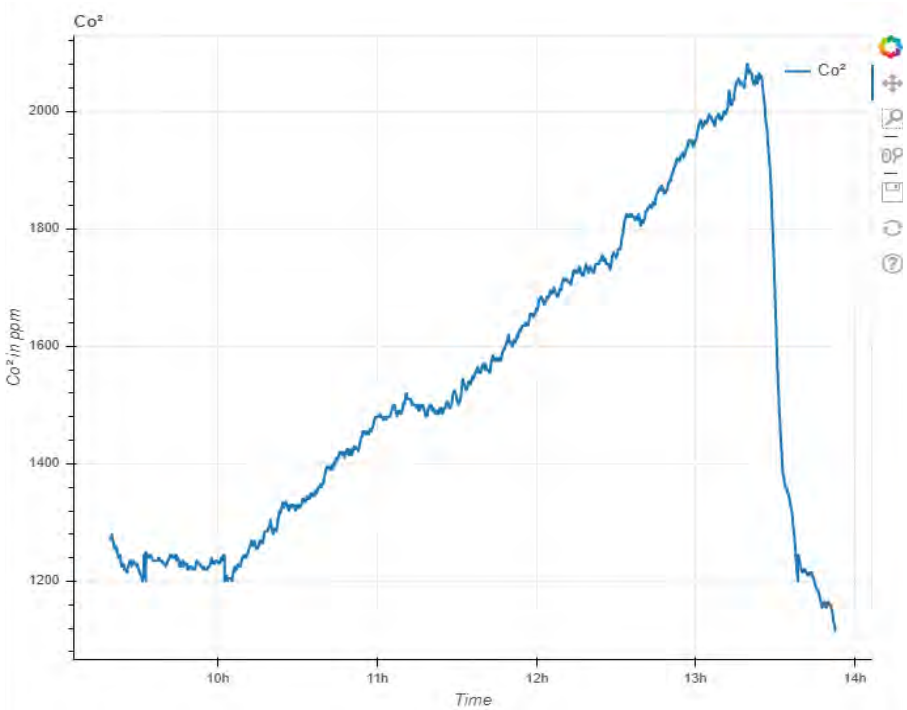


Abbildung 1: Ergebnisse $CO_2$

Aus diesem Ergebnis kann geschlussfolgert werden, dass das Geschäftsmodell und das aus dem Geschäftsmodell resultierende Produkt in der Lage ist, die Veränderungen der Luftwerte aufzunehmen und darzustellen. Darüber hinaus, kann gezeigt werden, dass die Messstation auch im privaten und schulischen Gebrauch eingesetzt werden kann. Ein beispielhaftes Szenario, bei welchem dieses Experiment eingesetzt werden könnte ist das Platzieren der Messstation innerhalb eines Vorlesungssaals oder eines Klassenzimmers. Dabei könnte beispielweise ein Lehrer, mithilfe der $CO_2$ -Überwachung direkt erkennen, ob und wann gelüftet werden muss, um einen Ausgleich des $CO_2$- und des Sauerstoffgehalts zu erreichen. Ein weiteres beispielhaftes Szenario wäre die Überwachung der $CO_2$-Werte innerhalb von Flughafenterminals. Dort könnten die Messstationen in Verbindung mit den Lüftungsanlagen eingesetzt werden, um eine ausreichende Belüftung der Terminals zu gewährleisten.

## 3.2 Testszenario 2

In Abbildung 2 ist die Veränderung des $CO_2$-Wertes über das Experiment dargestellt. Es kann erkannt werden, dass der $CO_2$-Wert zwar schwankt aber, entgegen der Erwartungen nicht zeigt, wann ein Fahrzeug vorbeigefahren ist. Eine deutlichere Veränderung der Werte, bei einem vorbeifahrenden Fahrzeug kann durch die Darstellung der Feinstaubwerte PM1, PM2.5 sowie PM10 erkannt werden, welche in den Abbildungen 3, 4 und 5 zu sehen sind. Bei der Betrachtung aller drei Feinstaubwerte ist zudem erkennbar, dass die Schwankungen der gemessenen Werte synchron ablaufen. Aus dieser Erkenntnis wäre eine Überlegung, dass lediglich einer der drei Werte an die zentrale Station übertragen wird. Durch diese Maßnahme könnte der Stromverbrauch durch das Senden von einem, anstatt drei Werten gesenkt und zugleich das MIOTY-Netzwerk entlastet werden, welches auf Grund der technischen Beschaffenheit durch eine niedrige Datenrate begrenzt ist. Durch die Erkenntnis, dass die PM-Werte im Gegensatz zum $CO_2$-Wert bei höherer Abgasbelastung schlagartig ansteigen und der $CO_2$-Wert nahezu unverändert bleibt, muss das Einsatzszenario für den Flughafenbetreiber und der Berechnung von individuellen Gebühren je nach Höhe der Ausstöße angepasst werden. Als

Berechnungsgrundlage muss der PM-Wert anstelle des $CO_2$-Wertes herangezogen werden. Eine weitere Erkenntnis, welche aus den PM-Diagrammen entnommen werden kann, ist, dass die Messstationen nahe an den Start- und Landebahnen aufgestellt werden müssen. Grund dafür ist, wie auch im Diagramm zu sehen, dass die Feinstaubpartikel schnell verfliegen und somit die erhöhten Feinstaubwerte sich schnell den Normalwerten nähern. Daraus folgt, dass weitere Nachprüfungen vorgenommen werden sollten. Zum einen sollte geprüft werden, ob das Aufstellen von Messstationen nahe der Start- und Landebahnen genehmigt werden würde. Zum anderen sollte ermittelt werden, wie groß der Abstand, zwischen der Messstation und der feinstaubverursachenden Quelle, sein darf, damit die Messstation weiterhin valide Feinstaubwerte messen kann. Die letzte Erkenntnis aus diesem Experiment ist, dass die Messstationen in einer erhöhten Frequenz die Luftwerte messen und an das Gateway übermitteln müssen. Grund hierfür ist ebenfalls, dass die Feinstaubpartikel schnell verfliegen.

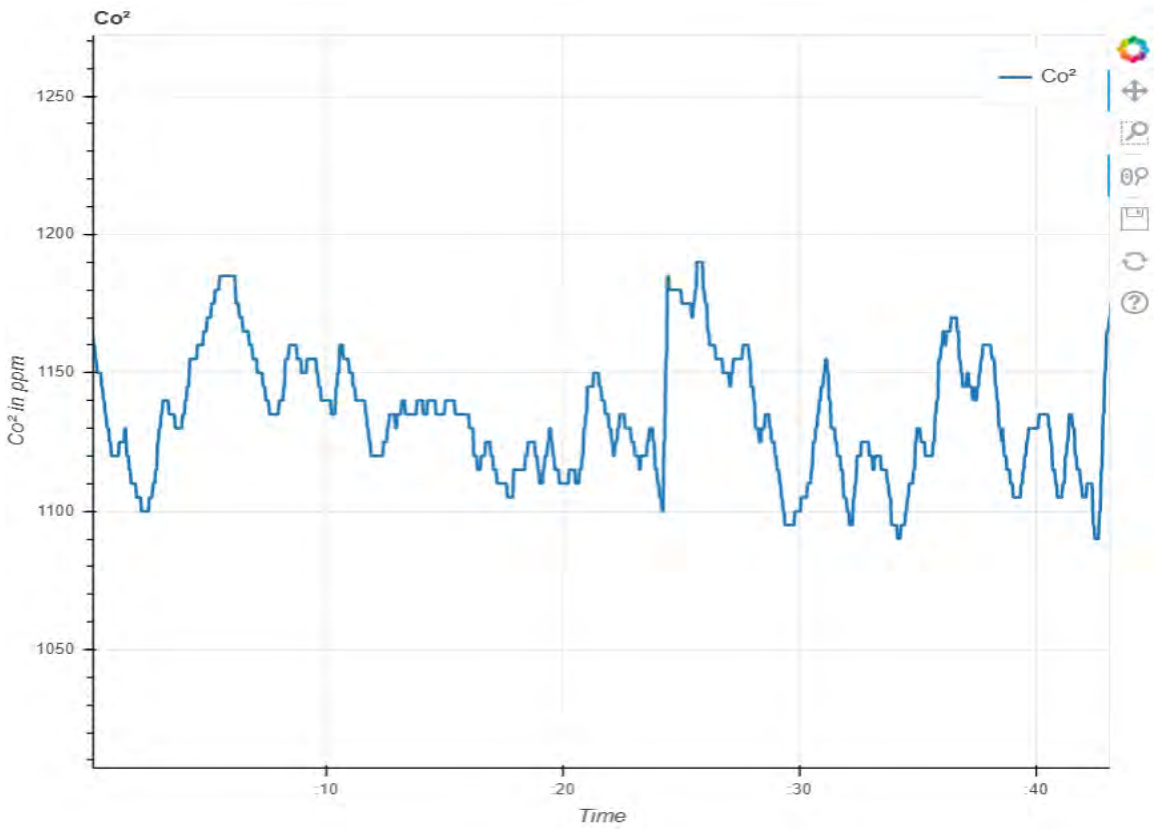


Abbildung 2: Ergebnisse $CO_2$

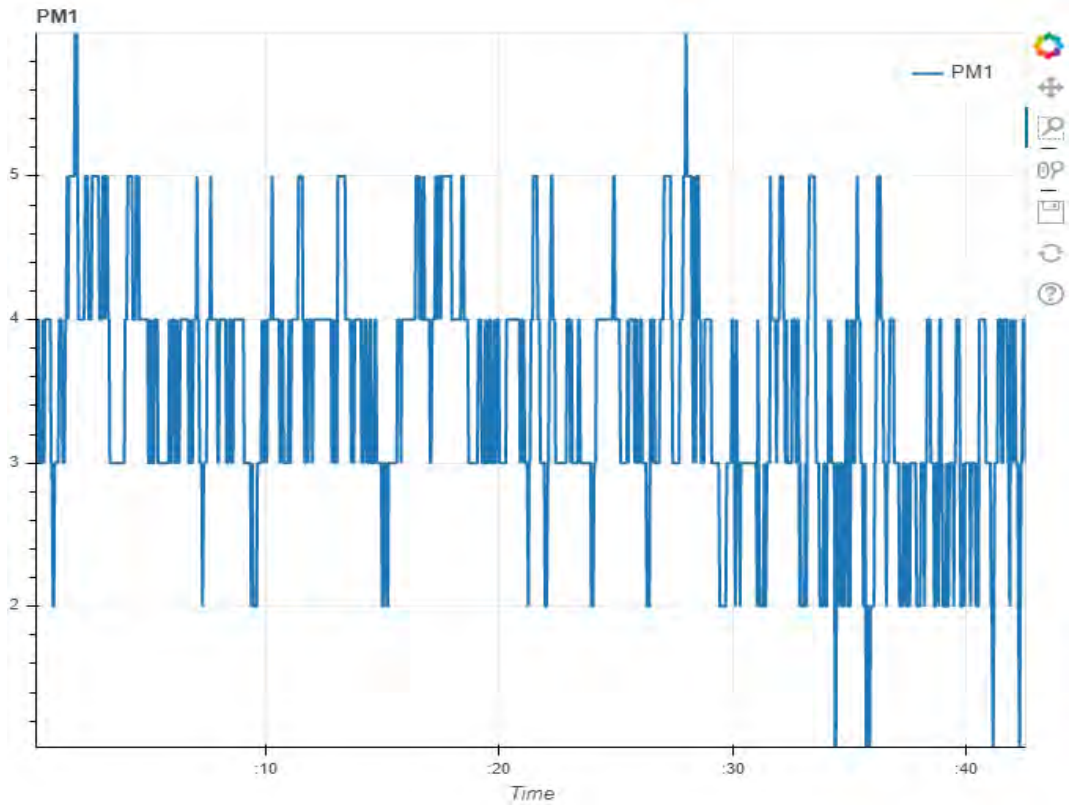


Abbildung 3: Ergebnisse PM1

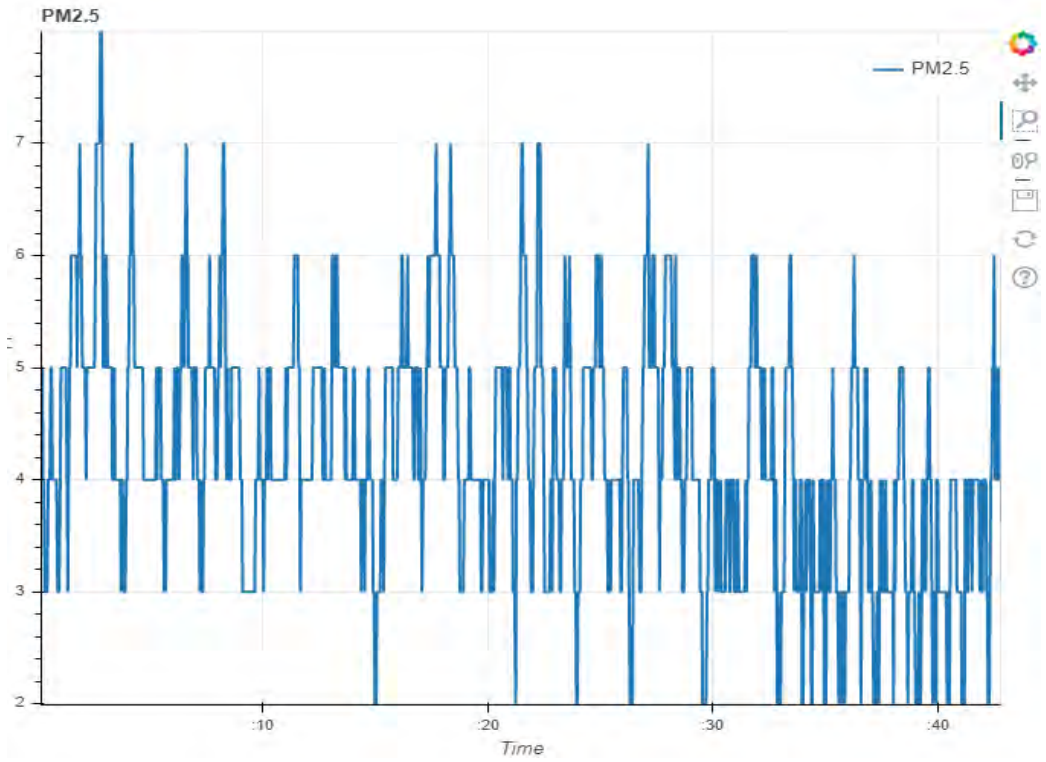


Abbildung 4: Ergebnisse PM2.5

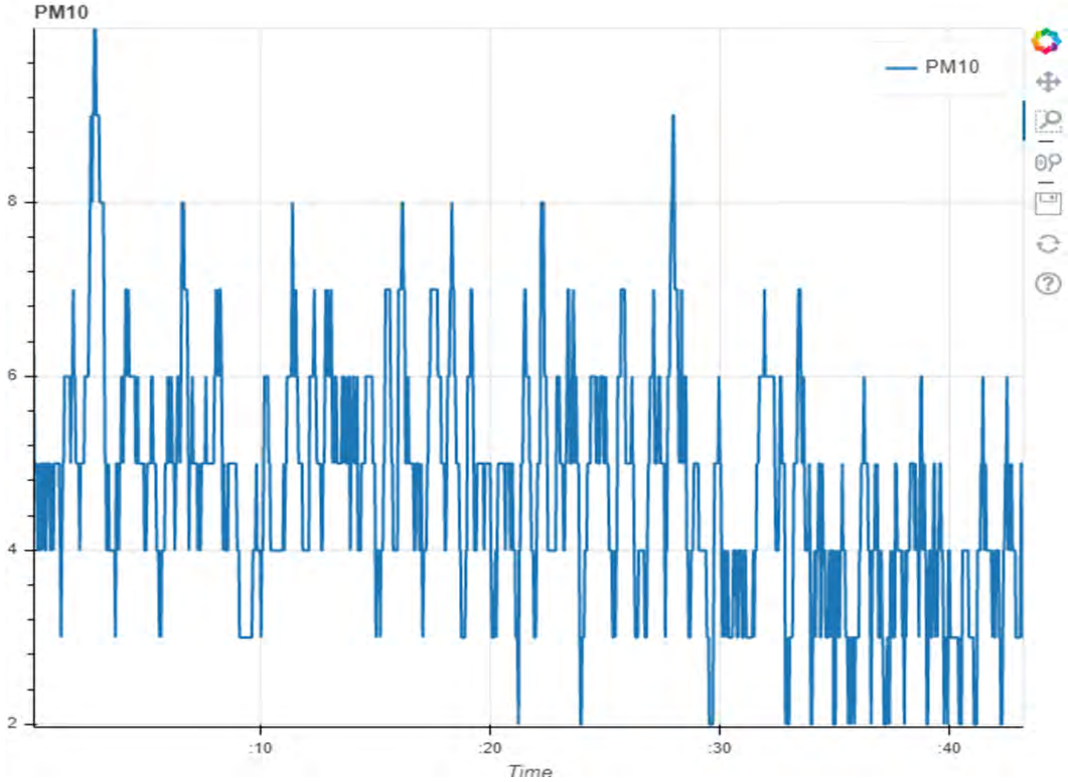


Abbildung 5: Ergebnisse PM10

HOCHSCHULE
RAVENSBURG-WEINGARTEN
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

Air Touch

# E4: Wissenschaftliche Publikation

# The AirTouch IoT-monitoring station - a small, mobile innovative product-

Julian Scherer [33840],
David Mehner [33799],
Rene Delle [33789],
Dijana Adzaga [33788]

Hochschule Ravensburg-Weingarten University of Applied Sciences,
88250 Weingarten, Deutschland

julian.scherer@rwu.de
david.mehner@rwu.de
rene.delle@rwu.de
dijana.adzaga@rwu.de

## Abstract

The IoT-monitoring station developed by AirTouch combines the measurement of air values together with IoT-technologies into one innovative product. The monitoring station enables both – private users and larger companies and organizations to monitor air values. In order to determine the most meaningful values, various sensors and a GPS-transmitter are installed in the monitoring station. Furthermore, the monitoring station is controlled by a microcontroller. The innovative product offers the possibility that several monitoring stations can be used simultaneously. The measured values are transmitted to a central station via an integrated MIOTY-network. Using a web application, it is possible to monitor the measured values via dashboards independent of location and time. These features represent the essential innovation compared to already existing products. In the state-of-the-art analysis it turned out that there are already various and quite intelligent monitoring stations on the market, but the IoT-monitoring station developed by AirTouch offers a central advantage – it is small and mobile at the same time.

**Keywords:** IoT; monitoring station; MIOTY; environment; sustainability; $CO_2$

## 1 Introduction

### 1.1 Motivation

The guiding principle of the innovative project was to make tourism, primarily tourism associated with airports, more sustainable. In 2018, the International Council on Clean Transportation (ICCT) examined how much carbon dioxide ($CO_2$) commercial aviation emitted in 2018. Experts calculated the $CO_2$-emissions of various aircraft. It was found that 918 million tons of $CO_2$ were emitted by commercial aircraft worldwide. In Germany, emissions amounted to 22 million tons of $CO_2$ [cf. 1]. For this reason, airports are under great pressure. On the other hand, there is a growing awareness of the problem of environmental and climate protection among the population: around two thirds of the German population see the issue of environmental and climate protection as a

necessary condition for coping with future tasks. People are critically examining their own behavioral patterns in terms of their external impact and replacing them with alternative actions. In Germany, a total of around 18 million environmental activists are campaigning for a cleaner future. Accordingly, the pressure on airports is increasing enormously. Airports are expected to make air traffic and thus also tourism more sustainable and environmentally friendly in the future. The Paris Agreement adopted in 2016 contributes to this. In Addition to this, the EU must reduce its $CO_2$-emissions by a total of 40 percent by 2030 compared to 1990 levels [cf. 2]. In this context the idea for the small, mobile innovative IoT-monitoring station was born. Among other things, the monitoring station should help airports to determine the emissions emitted by customer airlines at their airports and thus to be able to take measures against them. These measures are intended to reduce the $CO_2$-emissions caused by customer airlines.

### 1.2 Task

The aim of this project was the prototype development of an innovative product based on already existing technologies. In order to achieve the goal, an innovative problem solution including a business model was initially designed. The business model includes the description of the innovation and its delimitation from already existing concepts in the state-of-the-art analysis. The description of the architecture is understood as the definition of the functional and qualitative requirements, the description of the business-technical concept, as well as the system architecture. Furthermore, the product idea was evaluated with experiments carried out and the robustness of the idea was tested. In the end, this paper summarizes the main results and findings of the project in a compact form.

### 1.3 Structure

The paper is divided into a total of six chapters based on the task described above. In the first chapter, the motivation leads over to the developed product idea with the consideration of main topics. After the general conditions for the task have been explained, the second chapter contains the basic explanations of the idea of the IoT-monitoring station. Furthermore, a state-of-the-art competition analysis and the final definition of the innovation follow. Chapter three explains the concept and describes the architecture of the monitoring station. Next, the implementation with the required software and hardware components is shown. In the fifth chapter, the experiments carried out and the results obtained are presented. Finally, the result of the project is summarized in the last chapter and an outlook for future developments is given.

## 2 Basics / State-of-the-Art

### 2.1 Idea of Innovation

According to the motivation described in the beginning, the idea conceived by AirTouch is to develop a small, mobile innovative IoT-monitoring station - an intelligent IoT-device for monitoring air pollutants.

But what is the vision behind the idea and what advantage does it promise in contrast to conventional monitoring stations? In order to be able to record and visualize the air values in a large area, the IoT-monitoring stations we have made are to be used. These are the size of a shoebox (15 x 10 x 15 cm) and have various sensors that enable accurate recording of the various air values. They are controlled by a built-in microcontroller. In addition to the sensors, the monitoring station also consists of a transmitter, the MIOTY-gateway, via which the air values are transmitted to a central station. The range can be up to 15 km, which makes it possible cover a large area with monitoring stations. Furthermore, the monitoring stations are characterized by the fact that they are not bound to a fixed location. They can be continuously located via a built-in GPS tracker, which means that the IoT- monitoring station can also be mounted on a mobile object, for example. The data sent by the individual monitoring stations is collected by a central station, evaluated and visualized on a web interface. The web interface allows users to retrieve the recorded air values in a processed form. Thus, the user can see at a glance how the air values around him change. As soon as the air values have exceeded a defined limit value, the central station is able to publish a warning message via various media channels. The main advantages compared to common monitoring stations are especially the size and the mobility. Common monitoring stations are often very large and are therefore bound to one location. The monitoring station of AirTouch offers due to the compact size, a flexible back and forth movement. In addition, common monitoring stations are only used by companies or organizations, but not by private users. The solutions developed by AirTouch, will be made available to organizations and businesses, as well as to home users. Overall, the IoT- monitoring station represents an innovative solution in which sensors and IoT-technology are bundled into one product and the environmental concept plays a central role.

In the following, a concrete use case, at a fictitious airport, for the application of the IoT-monitoring stations is described. Among other things, the mobile monitoring stations are intended to help airports determine the emissions of customer airlines at their airport sites and thus initiate measures against them. These measures are intended to help ensure that the $CO_2$-emissions caused by the airlines in question should be reduced. For example, airlines could be subject to different $CO_2$-charges, with those with higher $CO_2$-emissions paying more than airlines with lower emissions. In the long run, this should have the benefit of airlines retiring old aircraft due to an increased cost burden, which could lead to a sustainable improvement in air values at the airport site. To be able to record the air values at the airport site, the airport should, for example, distribute ten IoT-monitoring stations along the runways. These ten monitoring stations record the air values and then send them to a central station. At this station, the air values are evaluated based on the available flight plan. Thanks to the integrated GPS-trackers, the monitoring stations can be unambiguously assigned, which also makes it possible to precisely allocate the measured emissions to individual aircraft. The visual display of the data, from the central station, can be used to view data measured values and determine which airlines are polluting the airport site and with how much pollution. In the course of this, this solution offers a possibility to realize the guiding idea described at the beginning – to make tourism more sustainable.

## 2.2 State-of-the-Art

The following market analysis focuses on already existing solutions in the field of air value analysis through IoT-monitoring stations. The research aims to distance itself from already existing solutions, highlight the uniqueness of the concept and identify any competing products. The main innovation of AirTouch consists of the networking of multiple IoT- monitoring stations via MIOTY-technology, which allows it to cover an above-average field of application. This technology makes it possible to distribute the IoT- monitoring stations in the field independent of location and to create an evaluation of the air values based on their locations using built-in GPS sensors. The state-of-the-art research focuses on further IoT- monitoring stations, their sensors and networking technologies, with the aim of highlighting the degree of innovation of the concept.

Several competitors have already established their position in the field of IoT-monitoring stations. These competitors include the companies Oizom, Aeroqual, Vaisala, Clarity, breeze and AQMesh.

Oizom offers several real-time air monitoring systems. These systems include an odor monitor, an ambient dust monitor, an automatic weather station, and an air quality monitoring system. The air quality monitoring system, which is named "Polludrone", measures various parameters such as PM1, PM2.5, PM10, CO, $CO_2$. $SO_2$, etc. The range of values to be measured depends on the selected variant. The Polludrone is fixed stationary and communicates via cellular network, LoRa, NBIoT, Wifi or Ethernet. The dimensions of the Oizom monitoring station are 36 x 32.8 x 20 cm [cf. 3].

Aeroqual offers two different versions of its monitoring station. The stationary station is able to measure up to 10 different sensor values [cf. 4]. The mobile station of Aeroqual is only able to measure the values TSP, PM10, PM2.5, PM1, $O_3$, $NO_2$, VOC, temperature, humidity, rain, wind speed, volume. Both variants communicate either via Wifi, Ethernet or cellular network. The dimensions of the Aeroqual monitoring station are 12 x 25 x 60 cm [cf. 5].

Airpointer has three variants of their monitoring station, with a maximum of up to 4 different sensors. They offer the possibility to measure $NO_2$, $O_3$, $SO_2$ and CO. These stations are connected via cellular network. The Airpointe 2D (variant 1) has a size of 89 x 78 x 40 cm, the Airpointer 4D (variant 2) has a size of 112 x 78,2 x 40 cm and the Airpointer +PM (variant 3) has a size of 120 x 78,2 x 61,5 cm [cf. 6].

Clarity offers a mobile solar-powered monitoring station. This measures the two different values PM2.5 and $NO_2$. It is connected via cellular network. The size of the Clarity Node-S monitoring station is 16.5 x 8 x 8.4 cm. Thus, this monitoring station is the significant competitor product in terms of its quite compact size [cf. 7].

Breeze offers a solution for monitoring urban air quality, in which all important parameters are included as standard [cf. 8].

AQMesh offers solutions depending on the application area. The application areas are prepared for cities, industry, transportation and research. Depending on the area, the sensors are different. These solutions are connected via cellular network [cf. 9].

In the following table is an overview of the available solutions and their included sensors.

| | CO | $CO_2$ | NO | $NO_2$ | $SO_2$ | $H_2S_1$ | $O_3$ | PM10 | PM2.5 | UHC | VOC | Temperature | Humidity | Pressure | Wind speed | Wind direction | GPS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Oizom** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| **Aeroqual** | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| **Airpointer** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| **Clarity** | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ |
| **Breeze** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | |
| **AQMesh** | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

*Table 1: Solutions overview*

As a result of the state-of-the-art research, it can be stated that comparable solutions are already on the market. However, AirTouch can clearly set itself apart from the competition, especially due to the existing mobility and the use of the MIOTY-gateway.

### 2.3 Innovation

The described state-of-the-art analysis has shown that there are already various suppliers on the market offering small monitoring stations. The monitoring stations are able to measure various air values by using different sensors. The central point, in which the monitoring station developed by AirTouch stands out, is the mobility. Due to the quite compact size, the monitoring station can record the air values at different locations. For this reason, the attachment of GPS-trackers was essential in the development of the monitoring station. This allows the exact location of each monitoring station to be determined. Especially for companies and organizations that may have several monitoring stations in use, it must be possible to retrieve the exact location of the monitoring station. Not only that, but AirTouch's IoT- monitoring station also offers customers the ability to view measured air values in real time via a web service. This automatically creates dashboards that provide accurate information about changes, deviations and limits. This additional convenience, offers a significant advantage to the various customer segments. Another special feature is that the monitoring station addresses two central customer groups - private users on the one hand, and companies and organizations on the other. During the development of the monitoring station, care was taken to ensure that two different versions would be launched on the market. The first version (standard version) addresses customers such as environmentally concerned citizens or people living in the vicinity of heavily polluted areas with regard to air pollution. This version of the monitoring station is easy to use even for people who do not know much about technology. The second version (deluxe version) of the monitoring station, which is aimed at companies and organizations, is even more sophisticated than the first version in terms of using innovative IoT-technologies. Accordingly, companies can purchase multiple monitoring stations, which can then be networked together using the MIOTY-gateway's

novel technology. This technology allows us to further differentiate ourselves from the existing competition.

# 3 AirTouch

## 3.1 Design / Concept

AirTouch offers a wide range of performance for all those individuals and organizations interested in monitoring air values. By using the IoT- monitoring stations, air values can be recorded and displayed via a website. This provides the user with other benefits besides just displaying air values. On the one hand, critical points can be identified in organizations where the air values reach a critical point. On the other hand, an organization's own emissions of $CO_2$ and particulate matter can be identified and measures for sustainability can be derived from them. Private users can also benefit from the IoT- monitoring station. Among other things, the user can use it to determine the air values in the private environment and thus obtain a permanent overview of the air pollution. For both segments, AirTouch provides a solution that satisfies the needs of the segments. The solutions differ slightly in that for the private user, an IoT-monitoring station is provided that records the air values and illustrates them on a website. The enterprise and organization-oriented solution includes several modified IoT- monitoring stations and a central station that records the data from the monitoring stations. Here is also provided a website that illustrates the recorded air values.

In summary, the performance of AirTouch is as follows:

- General services (services which are included in all products):
    - Website to retrieve the air values in near real time
    - Customizable dashboard to get a quick overview of the most important air values
- Product 1 (standard version: private user)
    - Fully assembled and configured IoT- monitoring station (Modified IoT- monitoring station which communicates via WLAN)
- Product 2 (deluxe version): organizations and companies
    - Fully assembled and configured IoT-monitoring stations
    - Fully set up Base Station, which is ready to receive sensor data.
    - Expert team for delivery and installation of the IoT- monitoring stations
    - Expert team for delivery and installation of the Base Station
    - The number of IoT- monitoring stations is freely scalable

### 3.2 Architecture

In order to be able to realize a mobile monitoring station that precisely measures pollutants, precautions had to be taken in advance so that this resilient, self-sufficient system would also be attractive for other areas of application in addition to use in the airport industry. For this purpose, a slim design of a small cuboid was chosen. For the prototypical implementation, a box was made to seal the system watertight (width x height x depth: 15 x 10 x 15 cm). The following figure shows two pictures of the prototype. The left image shows the box in the closed state, whereas the right image shows the prototypical implementation of the sensors with the respective cabling.

*Figure 1: Prototype of the IoT-monitoring station*

The system consists of 2 microcontrollers, the Espressif ESP32-WROOM-32D (consecutively referred to as Espressif-ESP32) and the Elegoo UNO-R3, where the Elegoo UNO-R3 serves only as another power source and could be replaced by a module that provides this function. The Espressif-ESP32 thus represents the main computing component of the system, and it is where the data is processed and sent. Three precision sensors are used to collect the sensor data and physically transmit the collected data to the Espressif-ESP32. The GY-BME280 sensor module is used to record ambient values such as humidity, temperature and pressure. $CO_2$ measurement is provided by the MHZ-19B infrared gas module, and fine dust levels (PM2.5 & PM10) are captured by the Plantower PMS7003 dust sensor. The measured values are recorded by sensors, processed by the microcontroller and transmitted via Wifi.

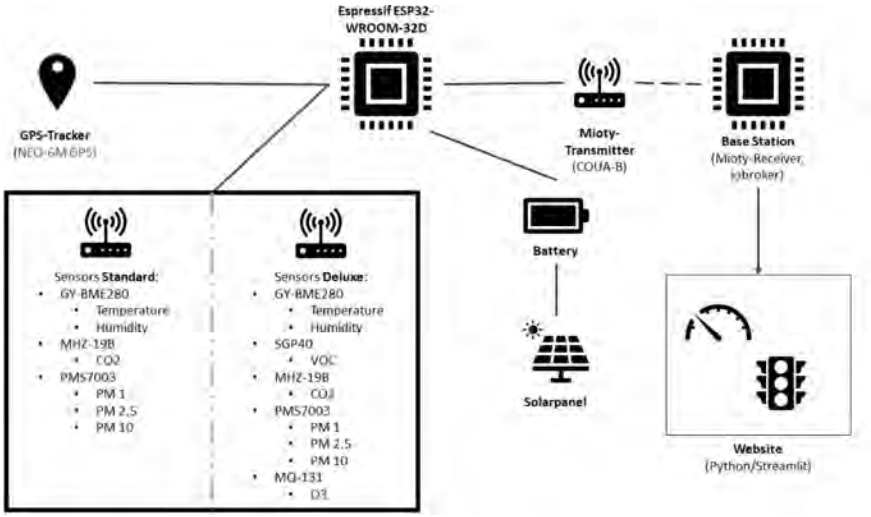


*Figure 2: Technical design*

## 4 Implementation

For the first prototype of the monitoring station, the hardware components installed were as follows:

- Microcontroller (Espressif ESP32-WROOM32D)
- Voltage source, to supply all sensors
- BME280 sensor, for measuring temperature, humidity as well as air pressure
- PMS7003 incl G7 interface, for measuring fine dust values
- MHZ-19B, for measuring $CO_2$-values
- NEO-6M (U-Blox), for determining the location data
- Powerbank

The software or the IoT-platform consists of:

- Python, in combination with the Streamlit framework
- IntelliJ, for Python programming
- HiveMQ, Public MQTT Broker
- Arduino IDE, for coding the ESP32

# 5 Evaluation

## 5.1 Methodology of the evaluation

To evaluate the prototype and to obtain a proof of concept, various experiments are conducted with the created prototype. With one experiment it shall be shown that the prototype can be used profitably. Furthermore, the recording of changing $CO_2$-values through sensors needs to be validated.

In the first test scenario, the development of the $CO_2$-value in a closed room was to be measured. This scenario should show that as soon as there is no fresh air supply in a room, the $CO_2$-value increases. For this purpose, the $CO_2$-value was recorded every minute for several hours in a closed room in which a person was present for the entire period. After a few hours, the room was ventilated and the changes in the $CO_2$-value were observed.

In the second test scenario, the development of air values on a busy street was to be analyzed. To carry out the experiment, the prototype was set up in the street "Untere Gerbersteig" in Weingarten between 8 and 9 o'clock. The distance to the street was approx. 3m at a height of 1.40m. This was to find out how the air values change based on the passing vehicles. At the same time it should be found out whether a higher load is measurable with passing trucks and whether this is recognizable in the air values. For this scenario, the air values were transmitted in a 5-second cycle.

## 5.2 Result of the evaluation

Figure 2 illustrates the change in $CO_2$-value over the course of the first experiment. It can be clearly seen that over time the $CO_2$-value increases. This increase in the $CO_2$-value is due to the consumption of oxygen and the associated conversion to $CO_2$ by the person in the room. Figure 2 also shows the abrupt drop in the $CO_2$-value after opening the window and the associated supply of fresh air.

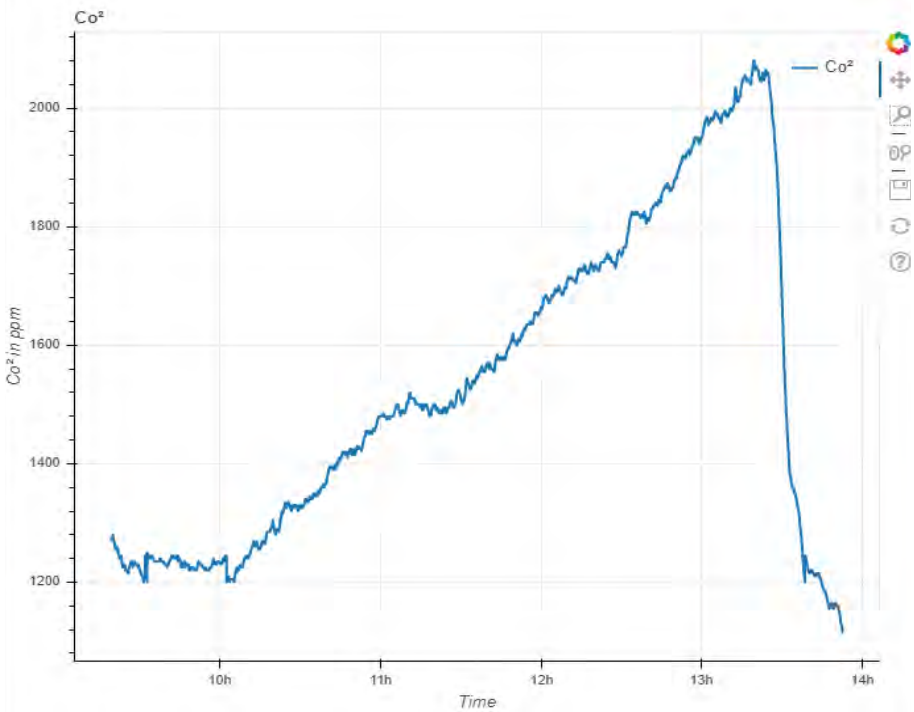


*Figure 3: Results $CO_2$*

From this result, it can be concluded that the business model and the resulting product from the business model are able to record and display the changes in air values. Furthermore, it can be shown that the monitoring station can also be used in private and school use. An exemplary scenario in which this experiment could be used is the placement of the monitoring station inside a lecture hall or classroom. For example, a teacher could use the $CO_2$ monitoring to directly detect when ventilation is needed to balance the $CO_2$ and oxygen levels. Another exemplary scenario would be the monitoring of $CO_2$ levels inside airport terminals. There, the monitoring stations could be used in conjunction with the ventilation systems to ensure adequate ventilation of the terminals.

In the second experiment it could be seen that the $CO_2$-value fluctuates but, contrary to expectations, does not show when a vehicle has passed. A clearer change of the values, with a passing vehicle can be recognized by the representation of the fine dust values PM1, PM2.5 as well as PM10. Figure 3 shows the PM2.5 value. When looking at all three particulate matter values, it can also be seen that the fluctuations of the measured values occur synchronously. From this finding, one consideration would be to have only one of the three values transmitted to the central station. This measure could reduce the power consumption by sending one instead of three values and at the same time relieve the MIOTY-network, which is limited by a low data rate due to its technical nature. Due to the realization that the PM values, in contrast to the $CO_2$-value, increase

abruptly with higher exhaust gas pollution and that the $CO_2$-value remains almost unchanged, the application scenario for the airport operator and the calculation of individual fees must be adapted depending on the level of emissions. The PM value instead of the $CO_2$-value must be used as the basis for calculation. Another finding that can be taken from the PM diagram is that the monitoring stations must be set up close to the runway. The reason for this, as can also be seen in the diagram, is that the fine dust particles evaporate quickly and thus the elevated fine dust values quickly approach normal values. It follows that further checks should be made. Firstly, it should be checked whether the installation of monitoring stations near the runway would be approved. Secondly, it should be determined how great the distance between the monitoring station and the source causing the fine particulates may be, so that the monitoring station can continue to measure valid fine particulate values. The final finding from this experiment is that the monitoring stations must measure the air values at an increased frequency and transmit them to the gateway. The reason for this is also that the fine dust particles evaporate quickly.

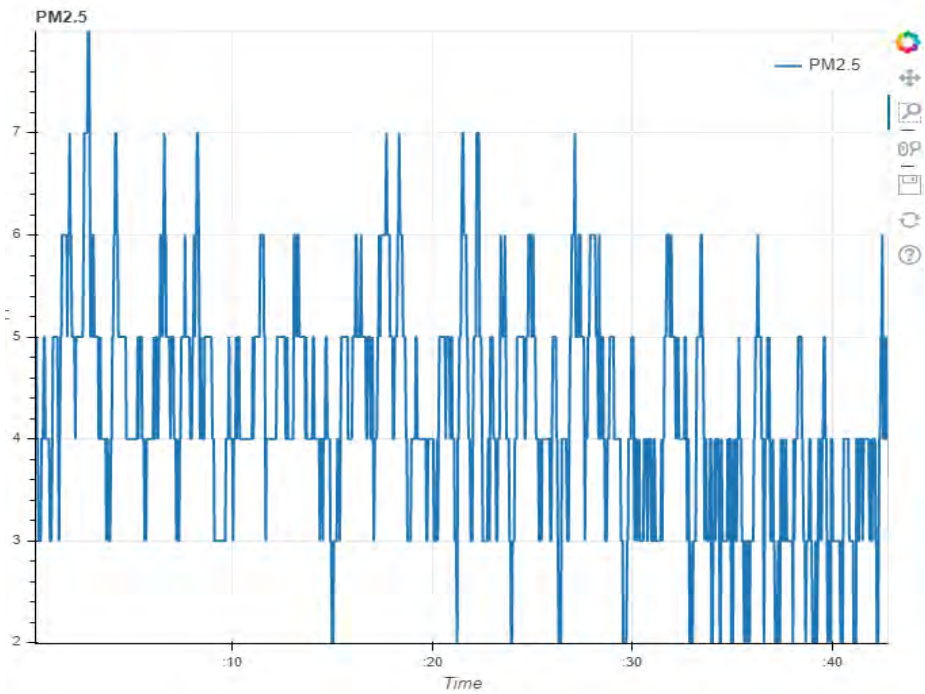


*Figure 4: Results PM2.5*

## 6 Summary

In accordance with the project goal, the IoT- monitoring station developed by AirTouch represents an innovative product or an innovative combination of sensors and IoT-technology. In addition, the state-of-the-art analysis confirms the novelty value of the

monitoring station included in the innovation by clearly distinguishing it from existing products on the market. Furthermore, the prototype developed in the course of the project confirms that the planned architecture makes sense and is successful in its composition. The evaluation of the prototype showed that the monitoring station is capable of both recording and displaying changes in air values. However, in case of a planned market maturity, the technical components, the product design and the robustness of the functionality have to be further developed in order to achieve an all-around successful product. In conclusion, the idea of the mobile, small IoT- monitoring station in combination with the MIOTY-network is definitely promising for the future and is gaining importance with growing interest in environmental issues among private users as well as companies and organizations.

## List of Figures

Figure 1: Prototype of the IoT-monitoring station ..... 7
Figure 2: Technical design ..... 8
Figure 3: Results $CO_2$ ..... 10
Figure 4: Results PM2.5 ..... 11

## List of Tables

Table 1: Solutions overview ..... 5

## References

[1] Spiegel, 2018. *So stark belasten deutsche Passagierflüge das Klima. (Online)* Available at: https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/klimawandel-flugverkehr-weltweit-erzeugte-2018-mehr-co2-als-deutschland-a-1287582.html (Accessed 22 08 2021)

[2] BLD, 2018. *Klimaschutz im Luftverkehr.* (Online) Available at: https://www.bdl.aero/de/publikation/analyse-der-klimaschutzinstrumente-im-luftverkehr-zur-co2-reduktion/ (Accessed 22 08 2021).

[3] Oizom, 2021. *Ambient Air Quality Monitoring System.* (Online) Available at: https://oizom.com/product/polludrone-air-pollution-monitoring/ (Accessed 05 08 2021).

[4] Aeroqual, 2021. *AQM 65 Ambient Air Monitoring Station.* (Online) Available at: https://www.aeroqual.com/product/aqm-65-air-quality-monitoring-station (Accessed 05 08 2021).

[5] Aeroqual, 2021. *AQS 1 Urban Air Quality Monitor.* (Online) Available at: https://www.aeroqual.com/product/aqs-urban-air-quality-monitor (Accessed 05 08 2021).

[6] Airpointer, 2021. *Airpointer.* (Online) Available at: https://www.airpointer.com/de/#sc-tabs-1627631098731 (Accessed 05 08 2021).

[7] Clarity, 2021. *Clarity Node S.* (Online) Available at: https://www.clarity.io/air-quality-monitoring-solution#ClarityNodeS (Accessed 05 08 2021).

[8] Breeze, 2021. *Luftqualitätssensoren.* (Online) Available at: https://www.breeze-technologies.de/de/loesungen/urbane-luftqualitaet/#luftqualitaetssensoren (Accessed 05 08 2021).

[9] AQMesh, 2021. *AQMesh.* (Online) Available at: https://www.aqmesh.com/products/aqmesh/ (Accessed 05 08 2021).