

# Luchtsensor Port of Antwerp

## Blueprint Project Analyse

AP Hogeschool



**Birk Tamm & Bavo Debraekeleer**

Elektronica-ICT - Major Internet of Things

Begeleider: Patrick Van Houtven Academiejaar 2021-2022

[GitHub Pages](#)

# Probleemstelling

## Opdrachtgever

Maarten Luyts is product owner, in opdracht van Port of Antwerp.

## Korte samenvatting

[Schrijven op het einde 250-500 woorden + ondersteunend diagram, zie IOT template.]

## Opdracht

### Korte beschrijving opdracht

De Port of Antwerp is zeer geïnteresseerd in de luchtkwaliteit in de haven. Om dit in kaart te brengen zal dit projectteam een sensor ontwikkelen die de verschillende karakteristieken van luchtkwaliteit kan meten. Deze karakteristieken zijn maar niet gelimiteerd tot:

- Temperatuur
- Vochtigheid
- Fijnstof
- NO<sub>x</sub>

Op zich geen complexe materie om te meten. De moeilijkheid ligt echter in het kaart brengen van de volledige haven. Om dit te kunnen realiseren moet de te ontwikkelen sensor volledig draadloos zijn. Er zal dus draadloze technologie nodig zijn en één of andere vorm van batterij als stroomvoorziening. De Port of Antwerp heeft onlangs in de haven een LoRaWAN netwerk uitgerold. Deze Low Power Wide Area Network technologie is uiterst geschikt voor de te ontwikkelen sensor. De integratie van LoRaWAN in de sensor is dus ook een vereiste. Op AP en daarbuiten is er al wat geëxperimenteerd met de sensors rond de luchtkwaliteit. Het innovatieve gedeelte ligt vooral rond het volledige draadloze aspect. Voordat je start met je analyse is het aangeraden om hierover onderzoekswerk te verrichten.

# Verwachte output

Prototype in een oplage van 10 stuks met volgende eigenschappen:

- sensor metingen:
  - temperatuur
  - vochtigheid
  - fijnstof
  - optioneel: NO<sub>x</sub>
- LoRaWAN draadloze connectiviteit
- gebruikt low power MCU
- casing geschikt voor buiten
- batterijduur van meer dan 1 jaar
- user interface om de data in kaart vorm weer te geven

# Situatie As-Is

De huidige luchtsensor waarop we verder werken is met een ander doel ontwikkeld. Deze dient om de luchtkwaliteit in en buiten de stad Antwerpen in kaart te brengen voor collega Chemie studenten. Deze luchtsensor is mobiel bruikbaar en slaat de data lokaal op adhv een SD-kaart. Het doel was om de data door te sturen, via WiFi of seriëel, naar een database. Dit werd niet gerealiseerd. Er is wel een LCD-display aan toegevoegd om de sensordata in real-time te kunnen zien, en een aan/uit knop voor de gebruiker.

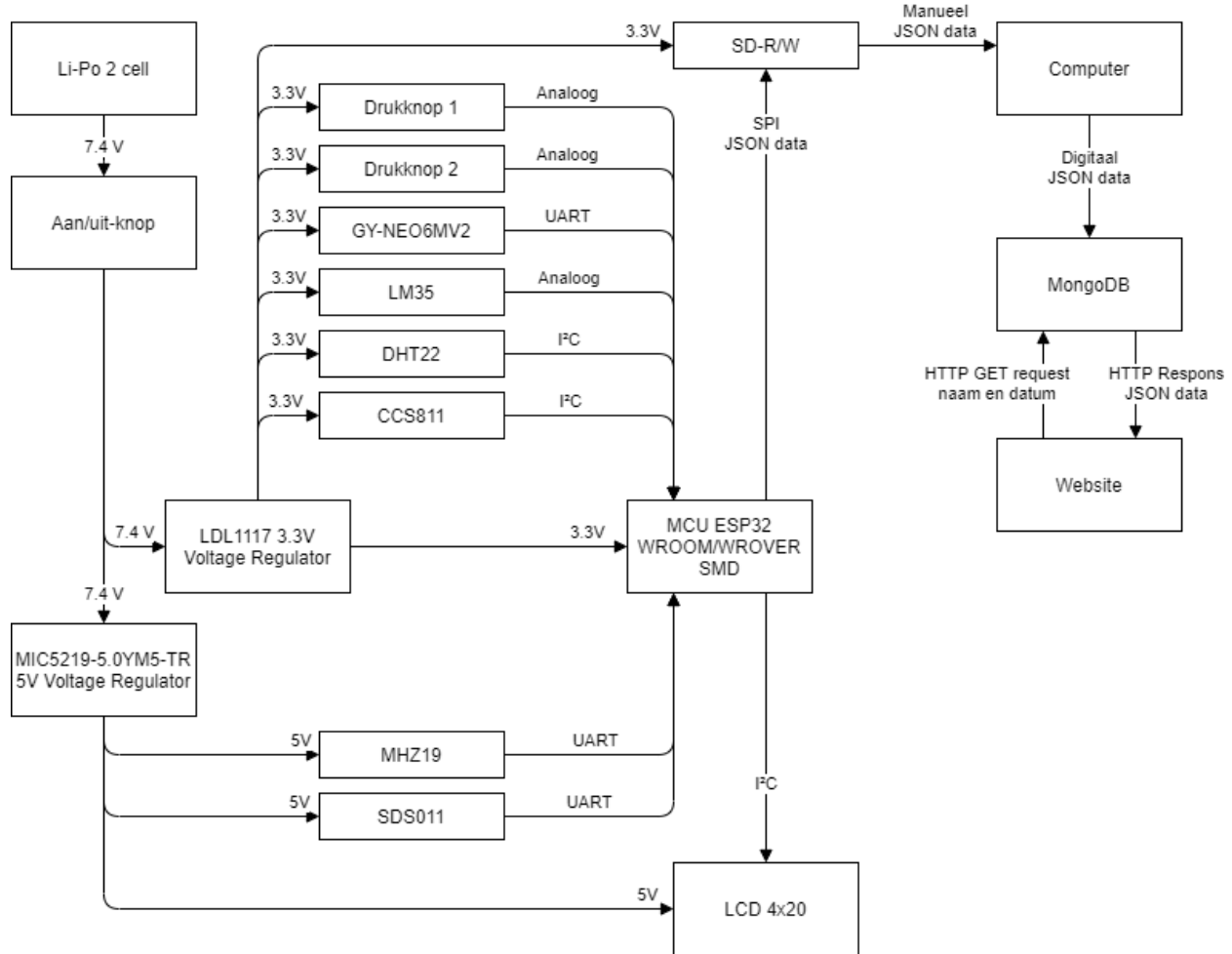
## Eigenschappen:

- sensor metingen:
  - CO2
  - TVOC
  - fijnstof
  - temperatuur
  - luchtvochtigheid
- WiFi en Bluetooth connectiviteit
- SD-kaart voor lokale data opslag
- GPS module
- mobiele casing met LCD
- batterijduur onbekend

## Werking (uit Product.md Versie 1.0):

- De ESP zal om de x-aantal tijd alle sensoren aanroepen en hiervan de waardes opvragen.
- De sensordata wordt opgeslagen, in een JSON bestand, op de SD-Card.
- Nadien kan de gebruiker deze SD-card in zijn computer uitlezen en de data met een simpele knop overzetten naar de MongoDB.
- Op de website kunnen we dan de data selecteren adhv naam en datum.
- Op de ingebouwde LCD kan men de huidige metingen, datum, tijd en coördinaten zien.

## Blok diagram

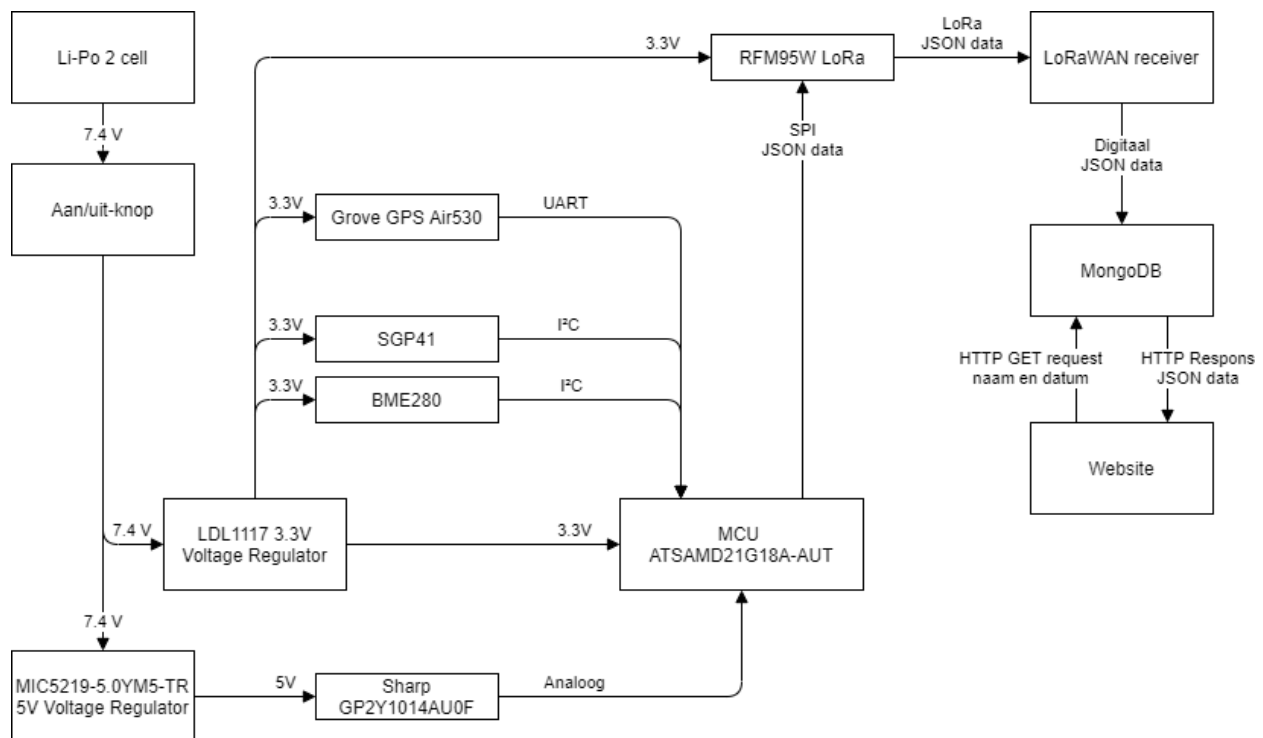


## Probleemstelling

Het huidige prototype moet geoptimaliseerd worden zodat deze meer dan één jaar kan werken op een batterij. Om dit te realiseren is een andere MCU nodig en dienen er aanpassingen gemaakt te worden aan de keuze van componenten. De sensor moet ook volledig autonoom kunnen werken, zodat deze ergens geplaatst kan worden en er niet naar moet worden omgekeken tot de batterij leeg is. Het gaat nu ook over het in kaart brengen van de volledige haven waarbij de sensors een vaste locatie krijgen. Nu gebeurt de data overgang van sensor naar database manueel via een SD-kaart. Dit moet geautomatiseerd worden en draadloos gebeuren. De lucht toevoer naar de sensor en koeling moet ook verbeterd worden. Nu is er een kleine FAN op de fijnstof sensor in combinatie met een klein gat in de behuizing. Dit zorgt echter niet voor voldoende lucht toevoer om correcte metingen te bekomen. De warmte die de componenten ontwikkelen hebben nu ook invloed op de temperatuur meting, wat natuurlijk niet gewenst is. De lucht doorstroming moet dus ook voor voldoende koeling zorgen. Belangrijk hierbij is wel dat er zo weinig mogelijk vocht en grotere stofdeeltjes in de sensor geraken. Ook moet de sensor in de schaduw geplaatst worden of voorzien worden van een zon afwerende coating of film.

# Situatie To-Be

## Blok diagram



## Projectdefinitie

### Doelstelling

Het doel is het in kaart brengen van de luchtkwaliteit in de gehele Port of Antwerp adhv volledig draadloze sensoren die voor meer als één jaar autonoom kunnen werken. De data verzenden vanuit de sensor en ontvangen door een server zal gebeuren adhv LoRaWAN. Er moet een nieuwe behuizing ontworpen worden waar meer wordt rekening gehouden wordt met lucht doorstroming en temperatuur, beschreven in de probleemstelling. Dit ontwerp moet ook worden doorgevoerd naar het PCB ontwerp en de plaatsing van de sensoren.

De opdracht laat de GPS module uit de As-Is sensor achterwegen wegens extra stroomverbruik, maar wij willen argumenteren om deze toch te behouden. Om het in kaart brengen van de luchtkwaliteit zo accuraat en eenvoudig mogelijk te maken is het aangeraden om coördinaten te hebben van waar elke sensor zich bevind. Zo kunnen we een exacte locatie geven aan de data gemeten door elke sensor. Rekening houdend met de realiteit dat een sensor al eens verplaatst, vervangen of hersteld zal worden, kan een GPS module zorgen voor een eenvoudige manier om aan accurate coördinaten te komen. Door de integratie van de GPS module in de sensor kan dit volledig automatisch gebeuren, zonder dat er extra handelingen vereist zijn van de gebruiker.

## Scope:

- component selectie, totaalprijs < €100:
  - microcontroller:  $I_{\max} < 10\text{mA}$
  - GPS module: low-power  $I_{\max} < 67\text{mA}$
  - LoRaWAN module: zendbereik hele haven over  $12.068\text{ ha} = 120.680\text{ km}^2$
  - fijnstof sensor: PM2.5 en PM10 concentratie in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - temperatuur sensor: meetbereik  $-20^\circ \sim +42^\circ$  (kouste en warmste meting in België)
  - luchtvochtigheid sensor: meetbereik  $0\% \sim 100\%$  (relatieve luchtvochtigheid)
  - $\text{NO}_x$  sensor: concentratie in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- elektrisch schema ontwerp voor de PCB
- PCB en casing ontwerp met aandacht voor sensor plaatsing voor zo accuraat mogelijke metingen
- schroefdraad in casing als bevestigingspunt voor een ophangstelsel
- initiële calibratie fijnstof sensor

## Niet in scope:

- LoRaWAN ontvanger opzetten
- front-end user interface
- servers en server onderhoud
- field deployment
- plaatsing van de sensors en het ophangstelsel
- in-the-field kalibratie

# Planning

## Analyse

We gebruiken Agile en Kanban met wekelijkse sprints. Op het einde van elke sprint krijgen we feedback van onze begeleider. Ten opzichte van de opdrachtgever is het analyse proces echter wel eerder Waterfall. Om de planning op te volgen werken we met GitHub Projects. De weken duiden we aan met de academische weken, vb onze eerste week is W10. Dit wil zeggen dat dit gedeelte af moet zijn tegen de week van 29/11 tot 03/12.

## Hoofdpijnen

1. Probleemstelling en Planning
2. Hardware analyse
3. Hardware schema + I/O software
4. Diagrammen opstellen + Dashboard

## Toelichting fases

### Fase 1: Probleemstelling en Planning

Omschrijving van de opdrachtgever, korte samenvatting, de situatie as-is, en de situatie to-be met een projectdefinitie (doelstelling, scope, niet in scope).

Planning adhv user stories voor zowel de Analyse, met Kanban methodologie, als het Release Plan, met Gantt Chart methodologie.

### Fase 2: Hardware analyse

Vooraleer je de software kan analyseren moet je weten waarop de software gaat runnen, vandaar dat we de hardware als eerste analyseren.

### Fase 3: Hardware schema + I/O software

Eens je weet welke componenten je hebt en hoe ze tussen mekaar verbonden zijn in het hardware schema kan je de inputs en outputs oplijsten. Dit is handig voor de diagrammen later.



## Fase 4: Diagrammen opstellen + Dashboard

Nu dat de inputs en outputs gekend zijn is het veel eenvoudiger om de diagrammen op te stellen van de software. Eens die diagrammen er zijn is het mogelijk om het dashboard te analyseren.

## User stories

- Als ... Wil ik ... Zodat ik ...
1. Als geldschietter wil ik weten wie de opdrachtgever is en wat de opdracht, in het kort, is, zodat ik een snel idee kan krijgen van het project.
  2. Als geldschietter wil ik weten wat de huidige as-is situatie is van het vorige project en de probleemstelling adhv dit huidige proces, zodat ik goed weet hoever het nu staat, wat de eventuele moeilijkheden zijn en hoe er hierop gaat voortgebouwd worden.
  3. Als geldschietter wil ik weten wat de situatie to-be moet worden, wat de doelstelling van het project is, zodat ik kan inschatten of het haalbaar is.
  4. Als opdrachtgever wil ik weten wat wel en niet binnen de scope van het project valt, zodat ik weet wat ik juist zal krijgen en wat ik eventueel zelf nog moet voorzien.
  5. Als ontwikkelaar wil ik weten wat de planning is, zodat ik weet wat wanneer af moet zijn en om het project op te volgen.
  6. Als ontwikkelaar wil ik weten wat het functioneel design is, zodat ik weet hoe de eind gebruiker met het product zal kunnen omgaan.
  7. Als ontwikkelaar wil ik weten wat het technisch design is, zodat ik weet wat de architectuur is, welke technologieën zullen gebruikt worden, en hoe het project technisch zal worden gerealiseerd.
  - 8.

# Release Plan

Maken op het einde van de analyse.

[Geef mee wat de lead times zijn van de aan te kopen componenten, materialen en de te produceren PCB's.]

## Hoofdlijnen

## Toelichting fases

# Design

## Functioneel design

- de sensor zelf om de metingen uit te voeren
- behuizing
- bevestigingssysteem om de sensoren te plaatsen
- LoRaWAN ontvanger om de data te ontvangen
- server om de data op te slaan [welk type data]
- 

## GUI mock up:

## Technisch design

# Hardware Analyse

## Microcontroller

| Naam             | Eigenschappen  | Argumentatie  | Data   |
|------------------|--|---|--|
| ATSAMD21G18A-AUT | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Low-power MCU</b></li><li>• <math>V_{CC} = 1.62V - 3.63V</math></li><li>• <math>I_{max} = 4.7mA</math></li><li>• CORTEX-M0+PROCESSOR aan 48MHz</li><li>• USB naar UART aanwezig op de chip</li><li>• 256KB FLASH geheugen</li><li>• 32-bit RTC</li><li>• 6 SERCOM interfaces</li><li>• <b>Eenheidsprijs vanaf 10 stuks: €3,60</b></li></ul> | Uit het interview met de opdrachtgever gaf hij aan dat we deze MCU moeten gebruiken. Deze is low-power en dus zeer geschikt voor de applicatie. | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |

## Modules

| Naam             | Eigenschappen  | Argumentatie   | Data   |
|------------------|--|--|--|
| Grove GPS Air530 | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>GPS localisatie</b></li><li>• <math>V_{CC} = 3.3V / 5V</math></li><li>• <math>I_{max} = 60mA</math></li><li>• Capture current value@3.3V = 42.6mA</li><li>• Tracking current value@3.3V =</li></ul> | Deze GPS module is zeer energie zuinig met verschillende low-power modi. Ze is ook relatief goedkoop en werkt op 3.3V. | <a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a><br><a href="#">(fabrikant)</a><br><a href="#">Winkel</a><br><a href="#">Booklet</a><br><a href="#">(Chinese)</a> |

|                                    |   |  |  |
|------------------------------------|---|--|--|
|                                    | 36.7mA <ul style="list-style-type: none"> <li>Low power mode@3.3V = 0.85mA</li> <li>Ultra-low-power mode@3.3V = 31uA</li> <li>UART protocol</li> <li>Time of warm start: 4s</li> <li>Time of cold boot: 30s</li> <li><b>Eenheidsprijs vanaf 10 stuks: €8,98</b></li> </ul>                                |  |  |
| HopeRF RFM95W LoRa Module - 868MHz | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>LoRaWAN module</b></li> <li><math>V_{CC} = 1.8V - 3.7V</math></li> <li><math>I_{max} = 120mA</math></li> <li>P = +13 dBm met 13.8mA</li> <li>SPI interface</li> <li>Payload lenght max 64 bytes</li> <li><b>Eenheidsprijs vanaf 10 stuks: €16,36</b></li> </ul> | Een veel gebruikte module waardoor er veel documentatie over te vinden is. Ook relatief klein. | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |

## Sensoren

Moet zeker:

| Naam               | Eigenschappen   | Argumentatie   | Data  |
|--------------------|---|--|---|
| Sharp GP2Y1014AU0F | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Fijnstof</b></li> <li><math>V_{CC} = 4.5V - 5.5V</math></li> <li><math>I_{max} = 20mA</math></li> <li>Analoog</li> <li>Output voltage: zie grafiek</li> </ul> | De Nova SDS011 die bij de As-Is sensor gebruikt wordt heeft als grote nadeel dat er een FAN zit ingebouwd om lucht in de sensor te krijgen. Dit zorgt voor extra stroomverbruik en werkte in het prototype daarbij nog is niet voldoende. De | <a href="#">Datasheet GP2Y1014AU0F</a><br><a href="#">Datasheet voorganger GP2Y1010AU0F</a><br><a href="#">Application notes GP2Y1010AU0F</a><br><a href="#">Documentatie</a> |

|                              |  |   |  |
|------------------------------|--|---|--|
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meetbereik PM2.5 en PM10: zie grafiek</li> <li>• <b>Eenheidsprijs vanaf 10 stuks: €6,25</b></li> </ul>  | Sharp GP2Y1010AU0F komt uit test op vlak van accuraatheid even goed uit als de SDS011, maar heeft het voordeel van geen FAN te hebben, kleiner te zijn, energiezuiniger en goedkoper.   | <a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a>  |
| Bosch<br>Sensortec<br>BME280 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperatuur, barometer en luchtvochtigheid</b></li> <li>• <math>V_{CC} = 3.3V</math></li> <li>• <math>I_{max} = 4.5mA</math></li> <li>• I<sup>2</sup>C protocol 3.3V</li> <li>• Meetbereik temperatuur: -40°C ~ +85°C</li> <li>• Meetbereik luchtvochtigheid: 0% ~ 100%</li> <li>• Meetbereik luchtdruk: 300hPa ~ 1100hPa</li> <li>• Leessnelheid: 1Hz (1s)</li> <li>• <b>Eenheidsprijs vanaf 10 stuks: €5,42</b></li> </ul> | Deze IC heeft als voordeel beide temperatuur en luchtvochtigheid te meten. Het is ook een SMD component dus eenvoudig op een PCB te krijgen. Hier moeten we wel rekening houden met de warmte ontwikkeling van andere componenten die de temperatuur metingen kunnen beïnvloeden. | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |

## Optioneel:

|                         |   |   |  |
|-------------------------|---|---|--|
| Sensirion<br>SGP41-D-R4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>NO<sub>x</sub> en VOC</b></li> <li>• <math>V_{CC} = 1.7V - 3.6V</math></li> <li>• Werkvoedingsspanning = 3.3V</li> <li>• <math>I_{max} = 4.6mA</math></li> <li>• <math>I_{nominaal} = 3.2mA</math></li> <li>• I<sup>2</sup>C interface</li> </ul> | Klein low-power SMD component Ideaal voor deze toepassing | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |
|-------------------------|---|---|--|

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meetbereik NO<sub>2</sub>: 0-10.000ppb</li> <li>• Werkingstemperatuur: -20°C ~ +55°C</li> <li>• SMD</li> <li>• Eenheidsprijs vanaf 10 stuks: €7,46</li> </ul> |  |  |
|--|--|--|--|

## Voeding

Zoals bij de As-Is sensor hebben we onderdelen die werken op 3.3V en op 5V.

Voor 5V behouden wij er slechts één, de Sharp GP2Y1014AU0F met  $I_{\max} = 20\text{mA}$ .

Voor de 3.3V componenten moeten we een herberekening doen:

### Herberekeningen voor 3.3V

$$I_{\max} = I_{\text{ATSAMD21G18A-AUT}} + I_{\text{BME280}} + I_{\text{SGP41}} + I_{\text{Grove GPS Air530}} + I_{\text{RFM95W LoRa}}$$

$$I_{\max} = 4.7\text{mA} + 4.5\text{mA} + 100\text{mA} + 60\text{mA} + 120\text{mA} = 289.2\text{mA}$$

Om wat marge te hebben doen we deze waarde maal 1.2:  $289.2\text{mA} \cdot 1.2 = 347.0\text{mA}$

De spanningsvereisten liggen dit maal dus een stuk lager:

Voor 5V 20mA To-Be tegenover 390mA As-Is.

Voor 3.3V 347mA To-Be tegenover 822.6mA As-Is.

| Naam | Eigenschappen  | Argumentatie | Data   |
|------|--|--------------|--|
| Naam | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5V Voltage Regulator</li> <li>• <math>V_{\text{in}} = V</math></li> <li>• <math>V_{\text{out}} = 5V</math></li> <li>• <math>I_{\max} = \text{mA}</math></li> <li>• Operating Temperatuur =</li> <li>• SOT-..</li> </ul> | Argumentatie | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |
| Naam | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.3V Voltage</li> </ul>   | Argumentatie | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a>  |

|           |  |  |  |
|-----------|--|--|--|
|           | <b>Regulator</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>V_{in} = V</math></li> <li>• <math>V_{out} = 5V</math></li> <li>• <math>I_{max} = \text{mA}</math></li> <li>• Operating<br/>Temperatuur =</li> <li>• SOT-..</li> </ul> |  | <a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a>  |
| 2N7002K-7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>MOSFET</b></li> <li>• <math>V_{GS(th)} = 1 - 2.5V</math></li> <li>• <math>V_{DDS(max)} = 60V</math></li> <li>• <math>I_{max} = 380\text{mA}</math></li> <li>• SOT-23</li> </ul>            | De 2N7002K-7 zal gebruikt worden om de modules en sensoren, zonder sleep mode, uit te zetten tijdens de intervallen. (Overgenomen van As-Is) | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |

# Alternatieven

| Naam | Eigenschappen  | Argumentatie | Data   |
|------|--|--------------|--|
| Naam | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Type</li> </ul> | Argumentatie | <a href="#">Datasheet</a><br><a href="#">Documentatie</a><br><a href="#">fabrikant</a><br><a href="#">Winkel</a> |



# Software Analyse

[Nog aan beginnen]

# Datamigratie

De As-Is situatie is niet gericht op de Port of Antwerp. Hier is dus nog geen data over beschikbaar en datamigratie is niet van toepassing.

# Infrastructuur

Er is in de Port of Antwerp al een LoRaWAN netwerk aanwezig. Deze kan dus gebruikt worden. Verder moet er enkel nog een server opgezet te worden om de database en de webserver op te kunnen draaien.

# Security

[Methode van aanpak, kan het gehackt worden, wat zijn eventuele security breaches]

## Hardware security

[We moeten het OLOD die hierover gaat nog krijgen?]

## Privacy en omgang met data

De luchtkwaliteit van een omgeving is geen gevoelige data, dus privacy is niet zo van belang. Zolang de sensors geplaatst worden op het grondgebied van de Stad Antwerpen kunnen deze als publiek goed gezien worden en mogen ze vrij toegankelijk zijn voor de burger. Dit is in lijn met de huidige omgang van gelijkaardige data van de Stad Antwerpen die publiek beschikbaar is. Bij plaatsing van een sensor op privé terrein moet wel expliciete toelating gevraagd worden om de data toegankelijk te maken.

## Autorisatierollen

Twee autorisatierollen zullen voor dit project voldoende zijn:

- Administrator: die wijzigingen kan maken aan instellingen en code. Deze krijgt een wachtwoord beveiliging.
- Gebruiker: die enkel de data kan consulteren.

# Documentatie

De Port of Antwerp is een internationale haven wat ook weerspiegeld wordt door de mensen die er werken. Het is dus belangrijk dat de documentatie in het Engels gebeurt om door een zo breed mogelijk publiek begrijpbaar te zijn.

## Documentatie in de code

In de code wordt commentaar toegevoegd om alle functionaliteiten van de code te beschrijven.

## Documentatie bij oplevering

Bij oplevering zal volgende documentatie voorzien worden:

- Handleiding over het algemeen gebruik van de sensor, kalibratie, en een overzicht van de technische specificaties van de sensor.
- Technische documentatie met elektrische schema's en PCB ontwerp om eventuele verdere ontwikkeling mogelijk en eenvoudiger te maken.

# Termen en Afkortingen

| Term                            | Omschrijving   |
|---------------------------------|--|
| MCU                             | Microcontroller, het brein van de sensor.  |
| LoRaWAN                         | Long Range Wide Area Network is een specificatie voor een telecommunicatienetwerk geschikt voor langeafstandscommunicatie met weinig vermogen. |
| GUI of Graphical user interface | Het computersysteem waarmee de eind gebruiker de data kan op vragen en weergeven.  |
| Field deployment                | Het uitrollen van het systeem bij de klant, waaronder het plaatsen van de sensoren.  |
| In-the-field                    | Ter plaatsen waar de sensor is geplaatst.  |
| Release Plan                    | De planning voor het ontwikkelen van het product, na de initiële analyse.  |
| ppm                             | Parts per million is een maatéénheid om concentratie aan te geven.   |
| PM2.5 en PM10                   | De standaard maten voor het meten van fijnstof met grote 2.5µm en 10µm.  |
| hPa                             | Hectopascal is een éénheid van luchtdruk.  |
| NOx                             | Stikstofoxide  |
| VOC                             | Vluchtige organische componenten, is een verzameling van allerlei vluchtige stoffen waaronder CO2 en koolmonoxide.                             |

# Bronvermelding