

Een aardige beschrijving van het project DataKit

Het idee voor dit project is ingebracht door meneer Joan Marsman tijdens een koffietafelvergadering op 18 juni 2020. We zijn nu vele maanden verder en de laatste update voor dit project is van 8 november 2023.

0. Voorwoord

Oorspronkelijk is dit idee begonnen om de luchtkwaliteit te gaan meten op grotere hoogte in de lucht. De werknaam hiervoor was DroneKit en is royaal beschreven in een document genaamd “**dronekit_2022_06_11.pdf**”.

We hebben aardig wat ervaring opgedaan met de DroneKit, zowel op het gebied van data verzamelen, maar ook met het ontwerpen van de elektronica, het gebruikers gemak, en nog veel meer dingen die voorbij kwamen. Derhalve tijd voor een vernieuwend ontwerp. Inmiddels is dit ontwerp, of eigenlijk project, uitgelopen op een redelijk volwaardig meetstation in verschillende gedaantes. De benaming is derhalve geüniformeerd naar de wat meer algemeen dekkende verzamelnaam DataKit, met daarbij enkele afgeleiden zoals de DroneKit, HomeKit, GardenKit, BikeKit, OutdoorKit en WindKit.

DataKit Models wow, we have different options							
Model	LCD screen	GPS Location	GSM Network	Solar Power	SD-card Storage	Compass Sensor	RGB Leds
Drone Kit	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
Home Kit	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
Garden Kit	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓
Bike Kit	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Outdoor Kit	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗
Wind Kit	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗

We gaan ons uiterste best doen voor de lezer van dit verhaal om een duidelijke uitleg van de huidige werking en een heldere uiteenzetting van de mogelijkheden op het digitale papier tot uiting te laten komen.

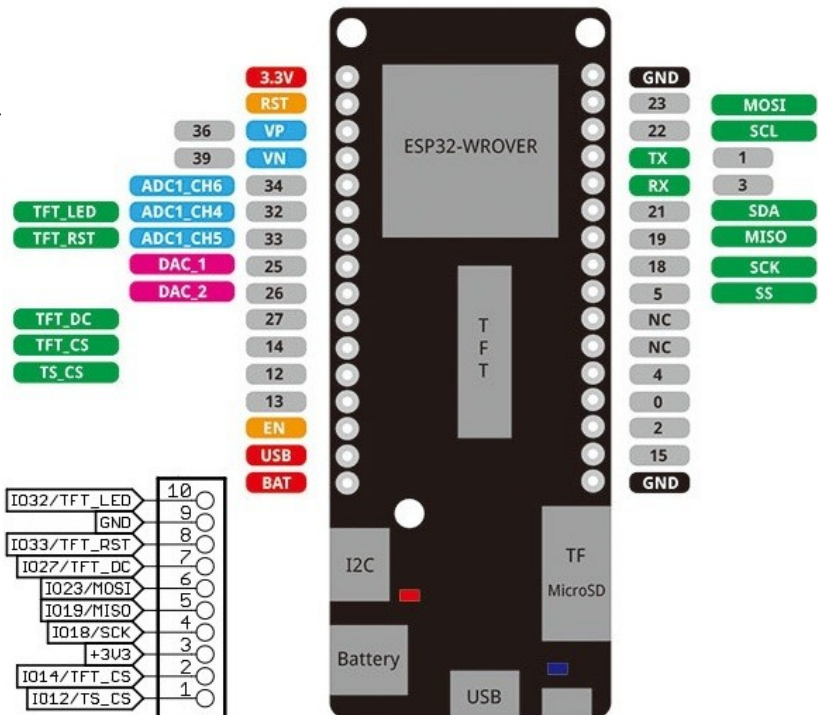
1. De techniek waar we ons op baseren

Binnen de afgeleiden van de DataKit kunnen we gebruik maken van de volgende componenten :

1: Een ESP32 uProcessor bordje

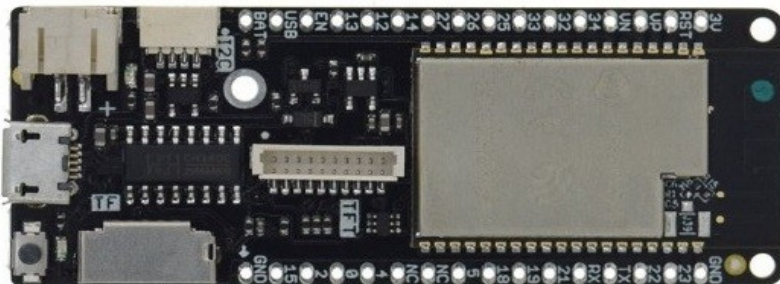
Dit is de intelligentie, al ziet het er dan een beetje somber uit. Alles draait om de ESP32 dingetjes, dat lichtgrijze vierkantje bovenin.

Besef wel dat dit geen echte microProcessor chip is, het is een miniatuur printje met daarop een microProcessor, een flashRam, een WiFi-chip, en nog wat andere kleine chipjes die het leven aangenaam maken. En over dat mini printje zit dan een mooi glimmend metalen doosje. De ESP32 zit zelf ook weer op een print, en dat is dan de gehele lichtzwarte rechthoek. Je ziet ook nog wat extra onderdelen, te



weten een microSD-card connector, een battery aansluiting, de USB voor de programmering en een I2C aansluiting. En als klap op de vuurpijl, een TFT-connector.

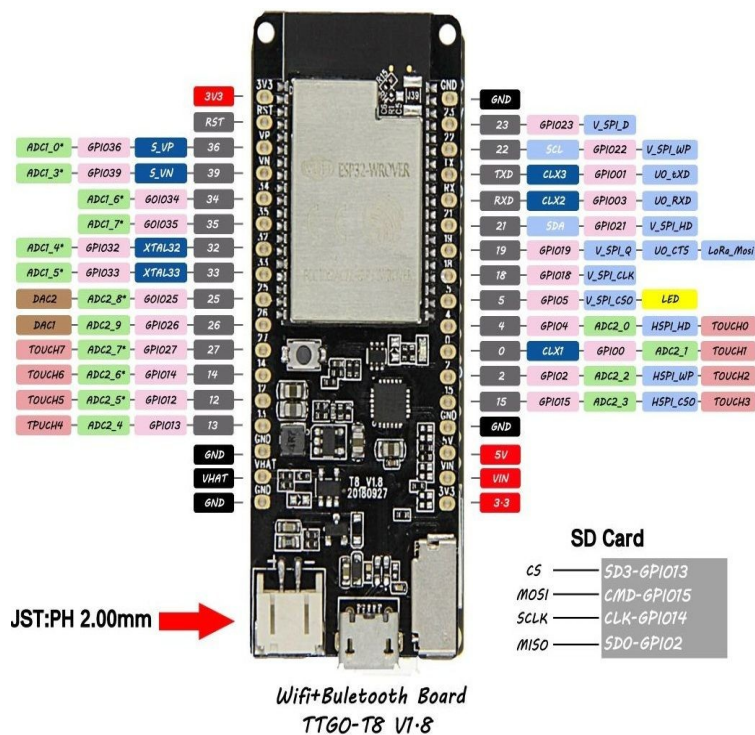
Niet dat we een display mee de ruimte insturen, maar het maakt de boel wel wat multifunctioneler voor als we deze DataKit als ordinaire HomeKit willen gaan gebruiken.



Hierboven is een plaatje van het functionele gebeuren. Maar natuurlijk wil je graag weten hoe zo'n ding er in het echt uitziet. Ook daar hebben we aan gedacht. Het resultaat hiervan zie je links van deze tekst.

Hieronder zie je de binnenkant van de ESP32, het metalen kapje is er even af.





En waarom staat er links dan nog een plaatje van een slim bordje ? Dat heeft te maken met het feit dat we vooruit moeten denken. Er zullen altijd fabrikanten zijn die plotseling stoppen met leveren van producten. Dan is het fijn dat je nog iets vergelijkbaars achter de hand hebt. En er zullen altijd mensen zijn die zeuren dat het nog goedkoper moet. Niet dat we naar deze mensen luisteren, doen we sowieso nooit, maar goeikoper is dit bordje wel. Nadeel is dat die verrekies mooie TFT-connector er niet op zit.

2: Een 3.7Volt LiPo accu van 1500mAmp/Hour

Want intelligentie en sensors hebben energie nodig. 1500mAmp/Hour betekend in gewoon Nederlands dat de accu anderhalf uur lang 1 Ampère kan leveren, maar ook 500 milliAmpère gedurende drie uur. Aangezien de variant van de DataKit, onze DroneKit, zoals de testopstelling nu is, ongeveer 200 mA nuttigt, zou een meetperiode van zeven uur mogelijk moeten zijn. We zijn razend benieuwd of de drone dan nog in de lucht hangt.

Deze accu heeft een eigen laad/ontlaad beveiliging aan boord, tenminste, dat staat in de beschrijving. Maar we hebben het nog niet uitgetoetst.



3: Een meteo-sensor BME280

Hiermee meten we de temperatuur, luchtvochtigheid en luchtdruk. Continue, achter mekaar.

Het leuke van deze drie grootheden is dat je daar nog wat afgeleiden uit kunt halen, en dat doen we dan ook. Denk aan het dauw punt, de relatieve gevoelstemperatuur en de hoogte waarop de sensor zich bevind. Die afgeleiden worden via de software berekend, knappe koppen, van buiten onze club natuurlijk, hebben hiervoor ingewikkelde formules opgesteld, die wij dan weer vrolijk gekopieerd hebben. Er bestaat een 3.3 Volt en een 5 Volt versie, wij gebruiken de 3.3 Volt variant.



4: Een PlanTower naar keuze, de PMS7003 of een PMSa003

Een stofdeeltjes teller, oftewel een doosje met ijverige kabouterijtjes. Wij gaan de lucht in met een Particle Matter Sensor van het merk PlanTower. Op dit moment is het nog niet een weloverwogen keuze, om de simpele reden dat er door ons nog niet weloverwogen over is gebrainstormd, of gebediscussieerd, of nagedacht, of beredeneerd. Daarom volgen we nu even de weg van de minste weerstand en kiezen voor een product dat we al vaker hebben toegepast.

Het verschil tussen de twee types is een kwestie van “stand der techniek”, de 7003 is een stukje ouder en derhalve groter maar ook iets goeiekoper. Qua meetresultaat zijn ze volgens de documentatie allebei gelijk. Wij kiezen voor de PMSa003, want die is kleiner en lichter.



5: Een Sensirion SPS30

Duistere krachten buiten ons gezichtsveld zijn helemaal lyrisch over een ander merk en type sensor, de Sensirion SPS30. Alhoewel, geheel duister zijn ze nu ook weer niet, aangezien wij zelf in onze eerste serie meetkits deze sensor hebben ingebouwd en aan het werk gezet. Maar ook hier geldt, het ding telt van alles, maar enige vorm van wetenschappelijke onderbouwing is nog niet ons ding.



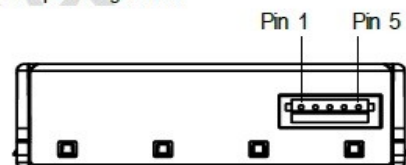
Een mooie optie om open te houden is dus dat we zowel met een PlanTower als een Sensirion gaan meten, tegelijkertijd. Daarom hebben we onze stofsensorconnector dus dubbel uitgevoerd, zowel eentje die is voorzien van een seriële poort als ook eentje die van een I2C aansluiting is voorzien. Dus je kunt met dit fantastische ontwerp zelfs een vergelijkend meet-onderzoek doen. Door extra sensoren aan te sluiten. Een Sensirion SPS30 naast de PlanTower, of stand-alone, wa ge wilt.

Pin	Name	Description	Comments
1	VDD	Supply voltage	5V ± 10%
2	RX	UART: Receiving pin for communication	TTL 5V and LVTTTL 3.3V compatible
	SDA	I ² C: Serial data input / output	
3	TX	UART: Transmitting pin for communication	TTL 5V and LVTTTL 3.3V compatible
	SCL	I ² C: Serial clock input	
4	SEL	Interface select	Leave floating to select UART
			Pull to GND to select I ² C
5	GND	Ground	

Table 4 SPS30 pin assignment.

Aan de rechterkant zie je een aftreksel uit de documentatie van meneertje Sensirion. Aangezien de PlanTower alleen maar op RS232 werkt zijn daar al twee uitgangen voor gereserveerd. Omdat meneer Sensirion zo vriendelijk is geweest om ook een I2C aansluiting op hun stofhapper te plaatsen gebruiken we lekker deze aansluiting, zowel qua hardware als ook in de software.

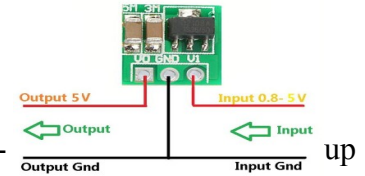
Dus de 1 VDD gaat naar +5V, 2 SDA naar SDA, 3 SCL naar SCL, 4 SEL naar GND en 5 GND naar GND..



6: Een voltage converter, van een lage spanning naar 5.0 Volt

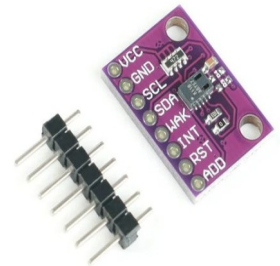
Hebben we nodig omdat de PlanTower op 5.0 Volt werkt, en de Sensirion ook.

We stoppen de accuspanning van 3.7 Volt erin en er komt een mooie stabiele +5Volt aan de andere kant weer uit. Dit is een zogenaamde step-converter, die maakt van een lagere spanning een hogere spanning. De maximale stroom die er uit kan komen is, volgens de datasheet, iets van 500 mAmp, dus dat is zelfs meer dan genoeg om twee stofsensors aan de praat te houden.



7: Een CO2 sensor CCS811

Hoe meer we meten, hoe minder we zeker weten. Want op een gegeven moment weet je gewoon niet meer of al die gemeten grootheden wel of niet met elkaar verband houden. Maar de CO2 waarde is wel leuk te weten omdat ons aller automobiel veel van dat spul de lucht in slingert. En wij zijn natuurlijk nieuwsgierig naar waar dat allemaal blijft. Derhalve, als we maar goed genoeg zoeken vinden we vanzelf een samenhang met de andere grootheden.



Even ter info, wat is het werkingsprincipe van deze sensor:

Wanneer infrarood licht door het te meten gas gaat, absorberen deze gasmoleculen infrarood licht met een specifieke golflengte en de absorptierelatie ervan voldoet aan de Lambert-Ber-absorptiewet. De concentratie van het gas wordt gemeten door de verandering in lichtintensiteit. Tussen de trillingen hebben de gasmoleculen verschillende, specifieke atomaire absorptiegolflengten in de infraroodband, zodat de gasconcentratie kan worden gedetecteerd door de absorptie van optische energie bij specifieke golflengten te meten. In de gaskamer zendt de infraroodlichtbron licht uit in de infraroodband. De energie van het licht wordt geabsorbeerd door het gas in de gaskamer. De totale geabsorbeerde energie komt overeen met de concentratie van alle gassen in de gaskamer. Omdat de stralingsdetector een infraroodfilter integreert voor een specifieke golflengte van het gemeten gas, reageert hij alleen op deze specifieke golflengte. Het door de detector verkregen elektrische signaal komt overeen met de lichtenergie die door het gas wordt geabsorbeerd.

Juist. Dat je er niet veel van snapt mag je best zeggen, wij hebben het ook maar overgetypt.

En nog iets over de Kooldioxide detectiewaarde:

- a) 250 ~ 350ppm: Normaal buitenluchtniveau.
- b) 350 ~ 1.000 ppm: typische waarde in een goed geventileerde leefruimte.
- c) 1.000 ~ 2.000 ppm: een luchtniveau met onvoldoende zuurstof, dat suffigheid en voldoende is om klachten te veroorzaken
- d) 2.000 ~ 5.000 ppm: stilstaand, oud, zwoel luchtniveau. Het is hoofdpijn, slaperigheid, vergezeld van onoplettendheid, verminderde concentratie, snelle hartslag en lichte misselijkheid.
- e) > 5.000 ppm: Blootstelling eraan kan ernstige hypoxie veroorzaken, resulterend in blijvende hersenschade, coma en zelfs de dood.

8. Een microfoon INMP441

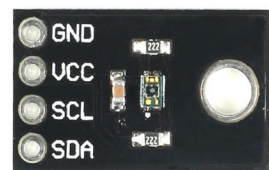
Geen gewone microfoon, maar een I2S type. I2S staat voor Inter-IC Sound, en dat is soort van seriële bus interface waarmee je digitale audio apparaten met elkaar kan verbinden.

Onze microfoon is intern voorzien van een membraan die een spanning genereert, afhankelijk van het geluidssignaal. Deze spanning wordt direct via een interne ADC omgezet in een digitaal getal. De resolutie is maximaal 24 bits en dus CD-kwaliteit, maar de software is nog niet zo snel en doet het voorlopig even met 16-bits. De samplefrequentie ligt boven de 50 kHz dus het hele menselijke audiospectrum kan binnengehaald worden. De chip heeft ook een meetwaardenbuffer aan boord. Kortom, een ideaal ding om de uP te ontlasten en toch goeie lawaai metingen te doen.

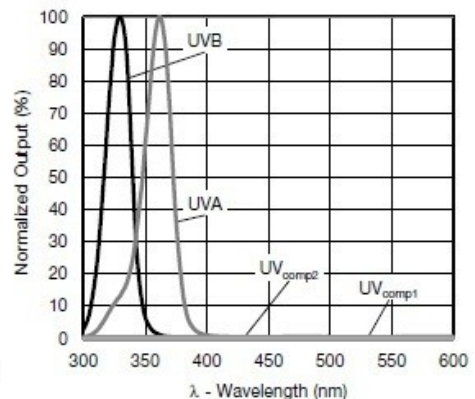
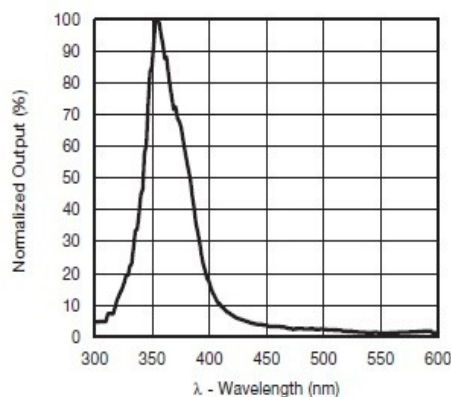


9. Een UV meet sensor VEML6075

Hiermee meten we UV-licht. Want, zo luidt de theorie, hoe meer UV je meet, hoe minder wolken er zijn. En wolken kunnen de luchtstroom met stof weer beïnvloeden. Maar de theorie is volgens literatuuronderzoek nog nooit onderzocht, derhalve ligt hier een schoondere taak voor ons. Er bestaat ook nog een VEML6070. De DroneKit kan deze sensor ook uitlezen, maar we geven nu de voorkeur aan de VEML6075.



Daar hoort natuurlijk weer een stukje theorie bij. Hier rechts zie je twee fraaie diagrammen. De linker is van de 6070 en de rechter is van de 6075. Je ziet het verschil al, de 6070 heeft slechts 1 sensor, de 6075 heeft 2 sensors. Je kunt bij de 6075 dus beter bepalen is. En via een bepaalde formule kun je van deze twee waarden ook nog eens een betere gemiddelde index krijgen.

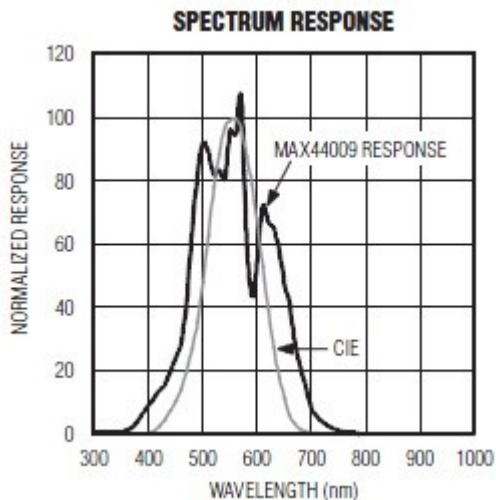


welke golflengte vertegenwoordigd is. En via een bepaalde formule kun je van deze twee waarden ook nog eens een betere gemiddelde index krijgen.

10. Een LUX meet sensor MAX44009

Dat is handig, je kunt de hoeveelheid zichtbaar daglicht meten. Fijn om te weten of de zon volop schijnt of dat er dikke wolken hangen. Ook hier hebben we weer de weg van de minste weerstand gekozen en hebben een uitvoering met de bekende I2C uitgezocht.

Waar we op uit zijn gekomen en waar we het dan ook mee zullen moeten gaan doen is met een MAX44009 zoals hiernaast staat afgebeeld.

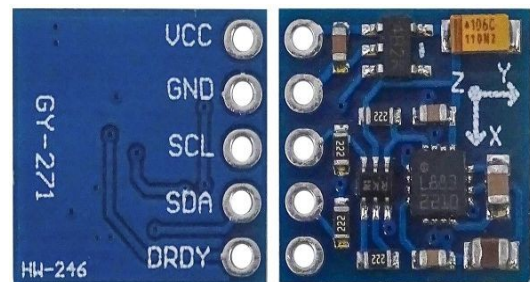


Hier links zie je de grafiek die bij deze sensor hoort. Een golflengte van ergens tussen de 500 en 600 nanoMeter is waar de sensor naar kijkt. En als je het netjes vraagt dan komt de sensor terug met een antwoord in het aantal microWatt per vierkante centimeter.

11. Een Kompas sensor QMC5883

Als we van alles willen gaan meten dan is het prettig als je weet waar het vandaan komt. In ons geval is dat te bepalen door de windrichting te weten. En dus zijn we op het slimme idee gekomen om aan de DroneKit een stuk plastic te plakken wat als een soort windvanger c.q.

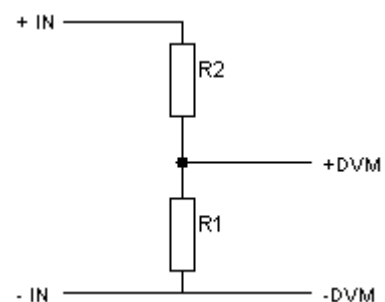
Windvaan fungeert. Als we dan met een kompas bepalen wat de stand des DroneKit is, dan weten we de windrichting. Simpel nietwaar. Naarstig zoeken op het WereldWeidseWeb leverde ons het hiernaast afgebeelde exemplaar op.



12. Twee weerstandjes van 100 kOhm

Deze vormen samen een spanningsdeler voor de accu meting. De AnalogToDigitalConverter op het microProcessor bordje kan een spanning meten van 0 tot 3,3 Volt. Da's mooi, maar niet mooi genoeg als we de accu in de gaten willen houden. Want die varieert zo ongeveer ergens tussen de 3 en de 4 Volt. Door nu deze spanningsdeler toe te passen meten we nu ergens tussen de 1.5 en 2 Volt. Vermenigvuldig deze waarde in de software met twee en het lijkt net alsof we meten wat we willen weten.

Overigens, je kan zoeken wat je wil, maar je zal dit niet tegenkomen in ons print-ontwerp. De processor die wij toepassen heeft deze twee weerstandjes al aan boord. Dit in tegenstelling tot de reserve-processor, deze heeft dat helaas niet.



13. Een SD-kaartje

Alles wat we meten moet wel opgeslagen worden, zodat we later, als de drone veilig en wel is neergestort, de gemeten en geregistreerde waarden nog eens rustig kunnen doornemen.

Dat we voor een micro SD card kiezen is onvermijdelijk, deze keuze is al voor ons gemaakt door het microProcessor bordje. Daar zit namelijk standaard een microSD-connector op.



14. Een extra I2C aansluiting

We zitten altijd vol ideeën, en die ideeën weten we nu nog niet. Natuurlijk niet. Anders zouden die wel in dit verhaal hebben gestaan. Dit soort ideeën komen bij voorkeur nachts naar boven drijven en houden ons uit de slaap. Daarom houden we vanaf nu ook rekening met de toekomst. Want we kunnen met dit fantastische ontwerp zelfs gaan experimenteren door extra sensoren aan te sluiten. Voorwaarde is uiteraard wel dat deze voorzien zijn van een I2C aansluiting. En werken op +3.3Volt. Dus heb je op jouw sensor zitten, een 3.3V en een SDA en een SCL en een GND, dan maak je kans op een uitgebreid resultaat. Uiteraard vergt het een en ander wel een kleine toevoeging van de benodigde aanpassing c.q. uitbreiding der software, maar dat had je al zien aankomen.

In de software is op dit moment al het volgende voorzien :

- Een extra BME280 op adres 0x77. Daarvoor moet je het pootje SDO op de BME aansluiten op Vcc (een los pootje geeft adres 0x76, en die zit al op de print).
- Een SHT31 meteo sensor

15. Een +5Volt voeding aansluiting

De DataKit werkt normaal gesproken op de aangesloten accu. Maar niets heeft het eeuwige leven, en onze accu raakt natuurlijk ook een keer uitgeput. We kunnen deze weer vullen met een +5Volt vanuit het lichtnet of, als alternatief, een zonnecel.

Bedenk wel, dit is een rechtstreekse aansluiting. Derhalve geen enkele beveiliging. Dus als je de plus en de min verkeerd om aansluit, of een te hoge spanning aanbied, dan heeft dit verrassende gevolgen. De normale procedure die hiervoor geldt is een kortstondig vuurwerk met rookeffect, gevolg door een eeuwig durende rust van de DataKit.

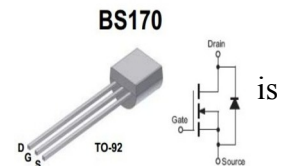
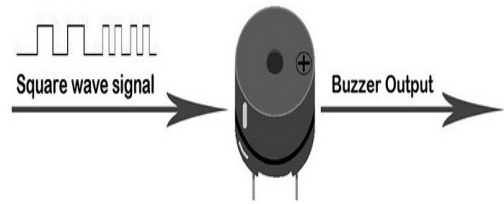
16. Een buzzer

Een buzzer ??? Wat moet je nu met een buzzer zo hoog in de lucht ... Helemaal niks. De buzzer is bedoeld voor als de drone en/of DroneKits onbedoeld ergens anders terecht komen. Uiteraard hebben wij het volste vertrouwen in de Drone-piloot, zonder twijfel. Maar een drone kan soms wel eens een eigen leven gaan leiden. En derhalve is het handig als de DroneKit een handigheidje aan boord heeft wat het voor ons een stuk gemakkelijker maakt om de DroneKit weer terug te vinden. Want onze high-tech software laat na een half uur automatisch de buzzer piepsen.

Sterker nog, we gebruiken twee buzzers, hoe meer lawaai, hoe eenvoudiger te localiseren.

En we hebben inmiddels ervaring. Net zoals bij een boterham met pindakaas het niet van te voren duidelijk is op welke zijde het object terecht komt.

De buzzer wordt aangestuurd door een FET van het type BS170, dat is nodig omdat onze buzzer meer stroom nodig heeft dan dat de uitgang van de microProcessor kan leveren. Een FET is eigenlijk een zeer efficiënt soort elektronische schakelaar, en daarom voor dit doel beter dan een transistor.



17. Een TFT-display

Een TFT-display ??? Wat moet je nu met een TFT-display zo hoog in de lucht ... Helemaal niks.

Hmmmm, waar hebben we dat vaker gelezen.

Dit display is eigenlijk een soort van extraatje. Het is tenslotte een beetje zonde als je de DroneKit slechts enkele keren per jaar de lucht in jaagt en vervolgens eindeloos op de plank laat liggen te verstoffen. Daarom is onze DroneKit voorzien van een extra hoeveelheid software regels die ervoor zorgen dat we de DroneKit ook kunnen gebruiken als 'ie veilig en wel in de achtertuin op de grond staat, en dus niet aan een eng dun draadje bungelt. Onze DroneKit verandert dan in een Homekit. Terwijl de HomeKit braaf aan het meten is kun je de meetwaarden voorbij zien komen op dit display. En omdat er een aanraak gedeelte voor zit, kun je ook nog eens dit display gaan gebruiken voor interactie, oftewel instellingen veranderen, enzovoort. Inmiddels wordt de lawaaisensor al grafisch uitgelicht door de lawaai sterkte in verschillende frequentiebanden weer te geven. Meer ideeën zitten al in het vat, maar dat vat leeggieten is iets wat de programmist in de loop der tijden gaat uitvogelen.



18. Een KleurenLed-ketting

Een KleurenLed-ketting ??? Wat moet je nu met een KleurenLed-ketting zo hoog in de lucht ... Helemaal niks. Alhoewel, een beetje show is natuurlijk nooit weg. Je zou er een soort vliegende thermometer van kunnen maken (niet praktisch). Of een statische thermometer als we met de HomeKit bezig zijn (wel handig).



Het is wel een beetje een stroomvreter, als een led wit licht geeft, dan is dat 50mA. Een strip van 1 meter heeft 60 ledjes, dus dat is dan 3 Ampere. Onze software kan 300 ledjes aansturen, dus dat zou 5 meter zijn, oftewel 15 Ampere, onze reeds eerder genoemde accu zou het dan slecht 5 minuten vol houden. Gelukkig staat niet altijd alles vol aan, maar het is toch raadzaam om met het stroomverbruik rekening te houden.

En ter informatie, dit lichtsnoer noemt men in de praktijk meestal NeoPixels. Dat zal vast een reden hebben maar die kennen we nog niet.

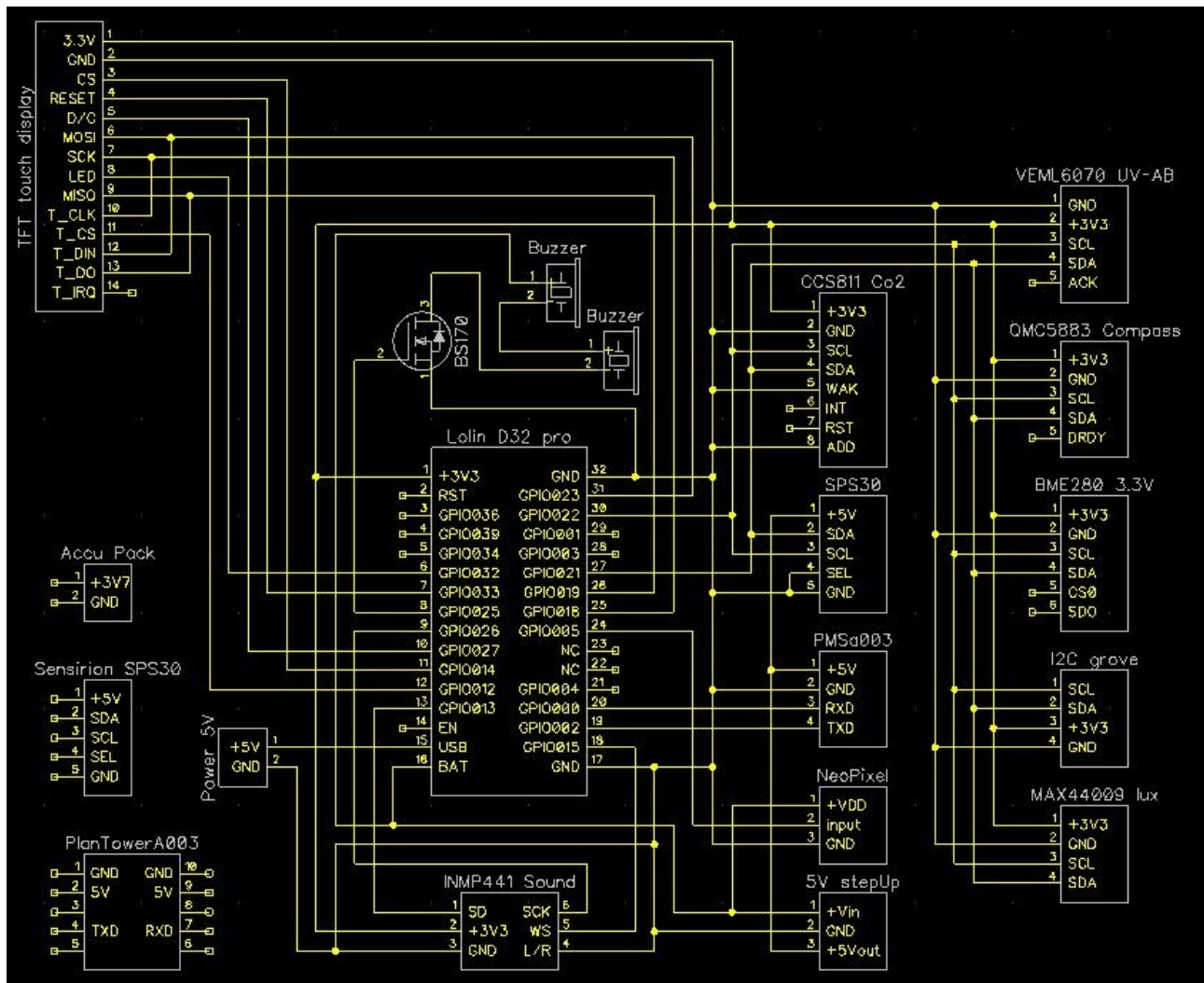
19. Een WiFi-verbinding

Een WiFi-verbinding ??? Wat moet je nu met een WiFi-verbinding zo hoog in de lucht ... Helemaal niks. De signaalsterkte haalt het niet, zo'n 300 meter naar beneden.

Maar misschien kan de HomeKit er iets mee doen. Gemeten waarden verzenden naar het WereldWeidscheWeb, ook wel door marketeers “de cloud” genoemd. Verklaart gelijk waarom een DroneKit geen WiFi nodig heeft, die zit al in de wolken.

2. De samenhang tussen alle beschreven onderdelen, het schema

De onderdelen waar de DataKit uit zal bestaan staan in dit schema.



Als je denkt, waar zit de SD-card, en waar is de spanningsdeler voor de accu meting gebleven, die zitten mooi op het Lolin D32 pro bordje geïntegreerd. Dat geldt ook voor de optionele TFT-display aansluiting. Maar een TFT-display aansluiting is ook als een pinheader uitgevoerd om alternatieve (en dus goedkopere) uitvoeringen een kans te geven.

De Particles Sensor is eigenlijk een pinheader. Voordeel is dat we zo heel veel soorten stofsensors kunnen aansluiten. Onze PMSa003 heeft een TXD RXD aansluiting nodig, maar een Sensirion SPS30 kan ook werken ook op een I2C-bus en zou dus tegelijkertijd aangesloten kunnen worden (pfijoe, wat een mogelijkheden). Zo kunnen we dus ook gelijk een keer bekijken of stofsensors in dezelfde lucht ook dezelfde waarden afgeven, da's goed voor de statistieken.

Er staan twee buzzers getekend, eentje komt op de bovenzijde en de andere op de onderzijde. Je weet tenslotte maar nooit welke kant naar boven valt (net zoals die boterham met pindakaas), dus nu is er altijd wel één kant die lawaai kan maken.

De I2C-grove is een pinheader om extra sensors op aan te sluiten.

3. De praktische kant van het geheel, wat behelst dit project en wat gaat onze drone doen ?

De drone vliegt omhoog en neemt een draad mee waar een aantal DroneKits aan hangen.

Er hangt een DroneKit op elke 50 meter, en we gaan lekker naar boven. Echter, het plafond waar de drone niet boven uit mag komen is 300 meter. Dat is door mensen die er verstand van hebben, in dit geval de overheid, zo bepaald. De drone gaat veiligheidshalve daar iets onder zitten. En aangezien er een stukje ruimte tussen de bovenste DroneKit en de drone moet zitten vanwege de hoeveelheid lucht die de ventilators van de drone naar beneden verplaatsen, komen we op de volgende verdeling uit : We moeten op 2 52 102 152 202 252 meter een DroneKit hebben hangen.

De snelle rekenaars onder ons beseffen nu dat we minimaal 6 DroneKits moeten gaan maken, het liefst een paar meer aangezien we de lucht in gaan en moeten vertrouwen op de kwaliteiten van de drone en de piloot (in die volgorde).

Waarden die we in de lucht willen gaan meten , met bijbehorende commerciële blabla :

- Temperatuur (Temperature Registration Device)
- Vochtigheid (Relative Humidity)
- Luchtdruk (Air Pressure Monitoring)
- Stofdeeltjes (Particulate Matter Capturing)
- Geluid (Advanced Digital Noise Measurement Sensor)
- CO2 (Carbon Dioxide Registration)
- UV-licht (Ultra Violet Wavelength Determination with Validating Index)
- windrichting, een windvaantje aan het touw tussen elke DroneKit (Manual Compass Readout)

Om het nog mooier te maken laten we een extra drone de lucht in gaan. Deze meet niet, maar heeft een videocamera aan boord en legt de gehele hele DroneKit ketting vanuit de lucht in zogenaamde spectaculaire beelden vast.

Als alle berekening kloppen dan moet de DroneKit ketting toch minimaal een half uur in de lucht kunnen blijven. Door middel van high-tech is de grondpiloot in staat om een redelijk nauwkeurige schatting te maken van het resterende vliegvermogen des dronus en kan derhalve on-the-spot inschatten wanneer het tijd is om de drone gecontroleerd naar moeder aarde terug te laten keren.

Voor de draad waar alle DroneKits aan hangen gaan we natuurlijk ook high-tech. We kiezen voor een superlichte vezel van DSM genaamd Dyneema. Dit spul heeft een hoge treksterkte en vrijwel geen uittrekkings coëfficiënt. De kleinst verkrijgbare commerciële draad heeft een trekkracht van 25 Kg en dat moet genoeg zijn om onze lichte meetkits aan op te hangen. De diameter van de draad is 0.3 millimeter, die is in de lucht vrijwel onzichtbaar. Extra voordeel is dat een eventueel voorbijkomend vliegend object de kracht van 25 Kg vrijwel zeker overtreft en derhalve geen schade ondervindt van de confrontatie tussen touw en object. Er is een klos van 1000 meter beschikbaar, dat moet meer dan voldoende zijn.

Voor de handigheid zijn er een aantal haspels aanwezig, voor elke DroneKit eentje. Daarmee kunnen we na gedane arbeid het touwetje weer netjes oprollen. De volgende kit zit aan de voorgaande vast met een klikhaak. Daardoor kunnen we de kits van elkaar loskoppelen, dat maakt het ophalen nog eenvoudiger.

De windrichting meten deden we low-tech, dat was een windvaantje aan het touw tussen elke DroneKit. Een medewerker staarde met een verrekijker en een waas voor de ogen en een kompas in de hand naar die windvaantjes en noteerde de wapperstanden aan de hand van dat kompas. Maar zoals gebruikelijk, techniek evolueert en wij evolueren vrolijk mee. Het kompas in de hand is vervangen door een high-tech oplossing en dat is een klein doch dapper chipje wat mee de lucht in

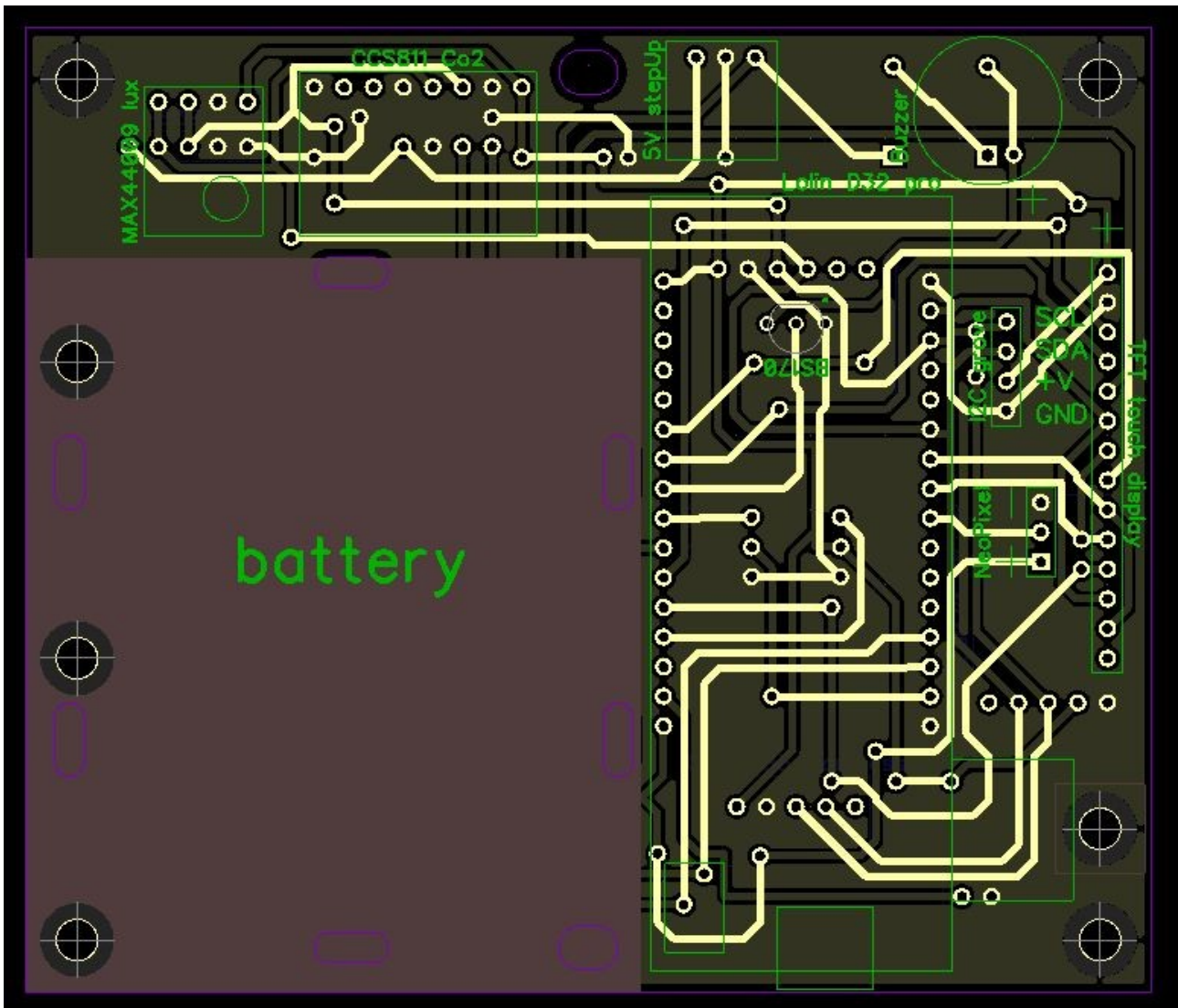
gaat. Het meet continue het magnetisch veld der aarde en kan aldus precies registreren hoe de stand van de DroneKit is. De windvaan zorgt ervoor dat de DroneKit met alle winden meewaait.

Als we dan toch lekker bezig zijn, dan kunnen we net zo goed wat extra onderdelen toevoegen die onze DroneKit iets gebruikersvriendelijk maakt. Denk aan een display zodat we kunnen lezen wat er gebeurt. Zo verandert onze DroneKit zonder al te veel inspanning in een HomeKit.

Bij het begin van dit project hebben wij onszelf als doel gesteld om eind Augustus 2020 het geheel de lucht in te sturen. Erg ambitieus, maar dat moest ook wel want anders worden we niet serieus genomen. Tenslotte lopen serieuze projecten altijd uit, en zo creëren wij voor onszelf de gelegenheid om uit te lopen. Gezien de huidige voortgang van het project kunnen we nu wel stellen dat ons project zeer serieus is. Klopt ook wel, want de eerste testvlucht waarbij data is verzameld was al op 24 september van het jaar 2020. Inmiddels zijn er al meerdere vluchten geweest. En ter geruststelling, elke vlucht is tot nu toe veilig geland. Hmmm, dat is de verklaring van de afdeling marketing, de afdeling Engineering & Production & Recovery denkt daar net even iets anders over.

4. Het ontwerp van de PCB

Wat je hieronder ziet is de bovenkant van het PCB ontwerp.



Het ontwerp wat het meest compact en robuust en zelfstandig en lichtgewicht moet zijn is bedoeld voor de DroneKit. Daar is dit printontwerp dan ook op gebaseerd.

Het lijkt een vrij grote print, maar dat valt best wel mee. De werkelijke afmetingen zijn breedte x hoogte, oftewel 3.8 x 3.25 inch, oftewel 97 x 82 millimeter in het bijna vierkant.

Bovenop zit de microProcessor, de twee connectoron voor de stofsensors, en èèn van de twee buzzers. Linksonder is een groot leeg vlak, daar komt de battery-accu te liggen.

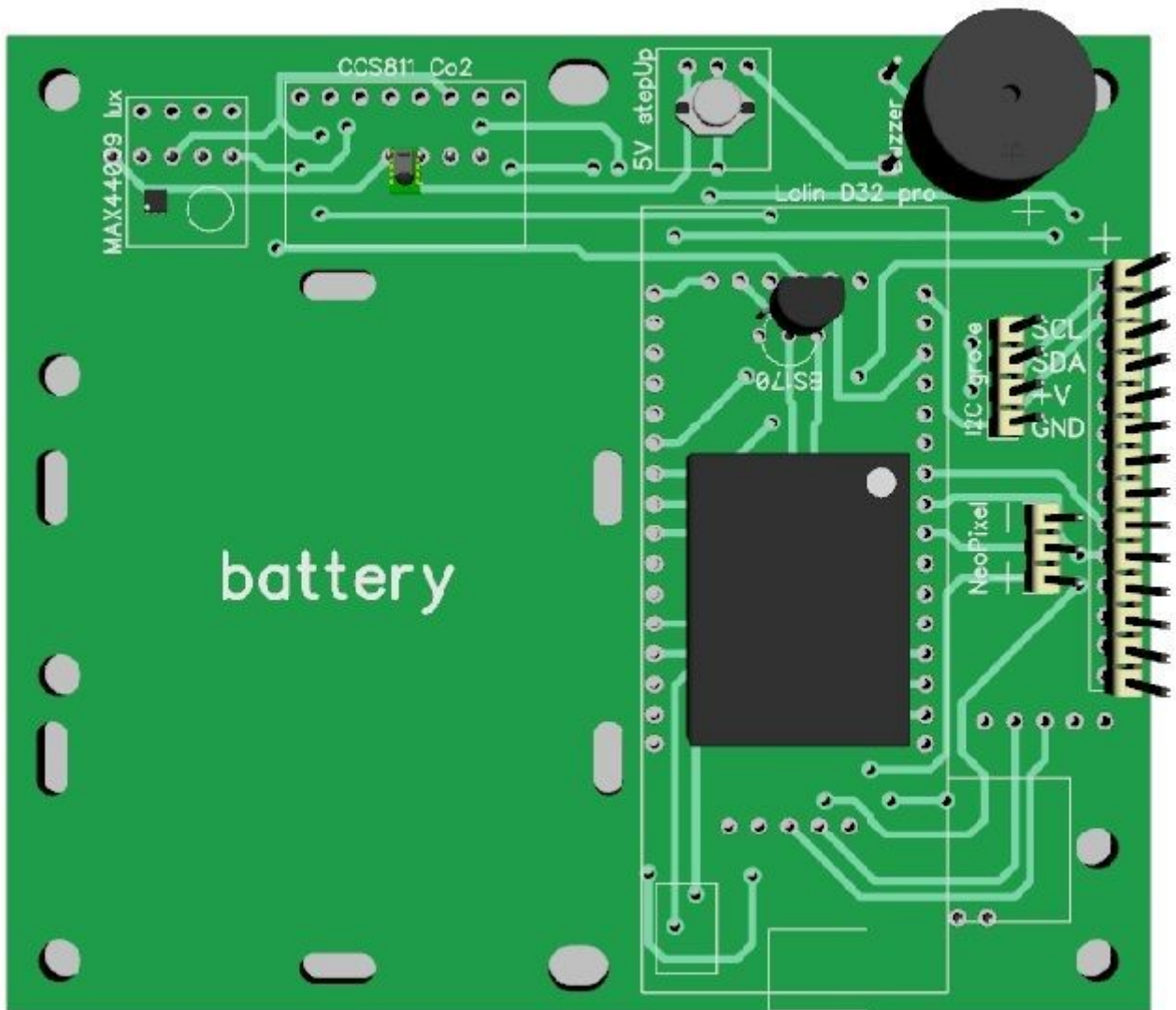
De BME280, de INMP441, de VEML6075 en de CCS811 staan hier wazig blauw getekend, maar zitten dus in werkelijkheid aan de onderkant. En dat geldt ook voor de tweede buzzer en het 5V stepup board en de NeoPixel aansluiting. Op het grote lege vlak, maar dan aan de onderkant, daar komen de stofsensors op elkaar.

Het vierkante flapje rechtsonder van het uP board is de SD-card. Deze steekt dus een stukje uit. Om te voorkomen dat de SD-card in de lucht door trillingen uit z'n houder floept, zit er rechts een klein boorgat. Daardoorheen doen we dan een schroef zodat de SD-card mechanisch geblokkeerd wordt.

5. Een artist impressie ...

We nemen het begrip dubbelzijdige print wel aardig letterlijk, aan beide zijden komen onderdelen te zitten.

En zo zou het er dan uit kunnen gaan zien, van boven af gezien.



Als je denkt : “wat zijn die printsporen dik”, dat klopt. Omdat er toch redelijk wat ruimte is op de PCB hebben we gekozen voor de dubbele breedte, dat is iets beter voor de stroomdoorvoer, maar gelijk ook een stukje sterker. Zo hoog in de lucht is dat niet verkeerd.

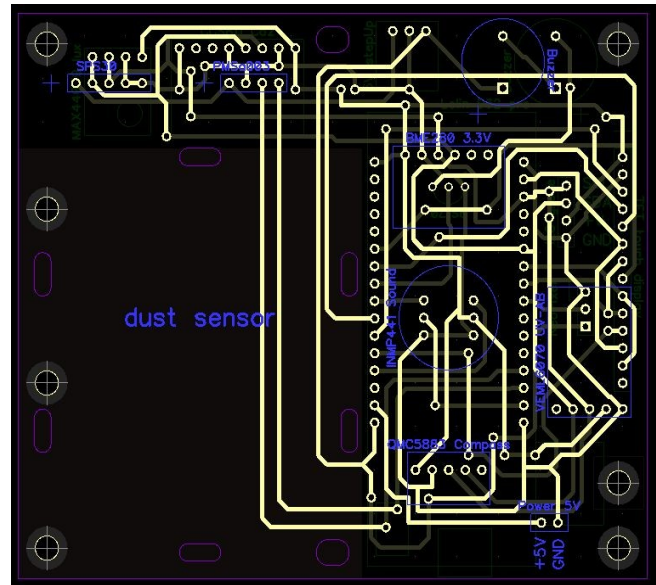
Rondom het woord **battery** (buitenlands voor accu) staan een aantal vreemd uitziende gaten. Daar kun je een of meerdere TieWraps (buitenlands voor vastbinddraadje) doorheen steken. Daarmee bind je de Accu vast aan de print. En op de onderkant staat het woord **dust sensor** (buitenlands voor stofmeetsensor). Met de reeds genoemde TieWraps bind je dan de stofsensor daarmee vast. Voordeel van deze methode is dat we niet vastzitten aan een bepaalde afmeting van de stofsensor of accu. En als we gek willen doen binden we gewoon nog een tweede stofsensor vast (wat we dus ook al gedaan hebben).

Midden boven en midden onder zie je een ellipsvormig gat, dat is om de touwetjes aan vast te maken die naar de volgende DroneKit gaan en van de vorige DroneKit af komen.

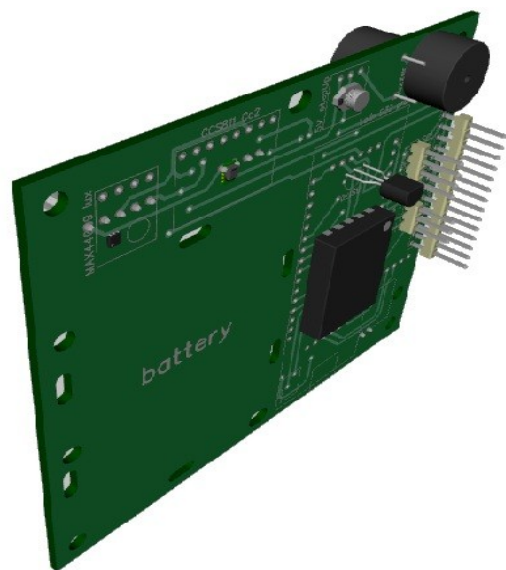
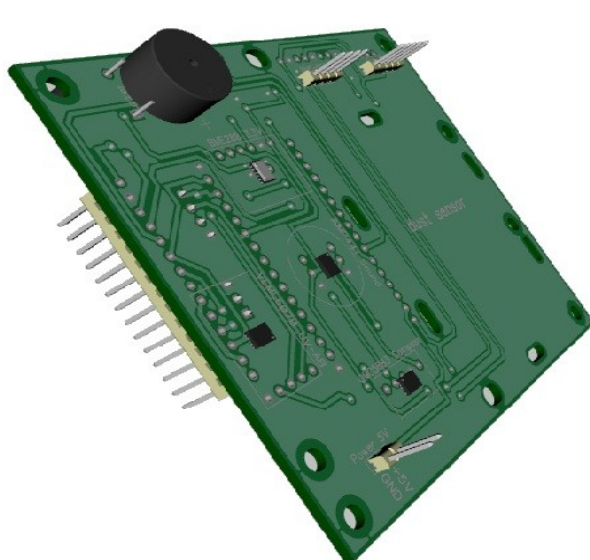
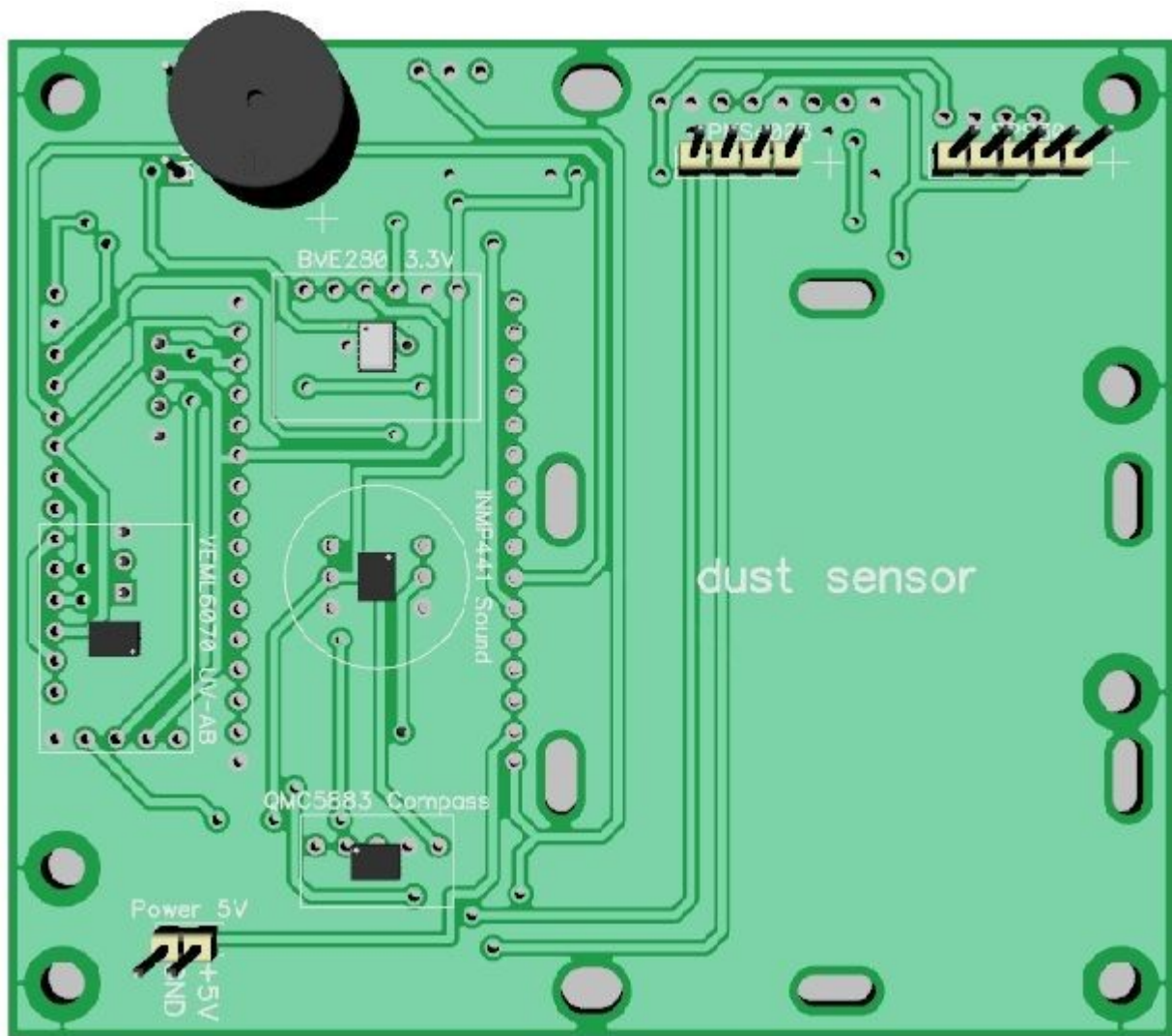
Links zie je vier gaten op regelmatige afstand, daarmee kun je een plastic windvaan mee vastzetten.

En dan zit er nog in elke hoek een gat. Ben je bezig met de HomeKit, dan kun je de print aan de muur schroeven. Al moet je dan wel even opletten omdat anders de kans bestaat dat de UV-sensor niks meer ziet.

Hiernaast zie je al een klein idee van de onderkant, nu nog niet in spiegelbeeld en zonder de koperen-ground-afscherming.



Op de volgende pagina staat de onderkant met kopervlakte en nog twee keer met een draaierige voorstelling van alle kanten, zoals we het printje zullen zien als het als een DroneKit in de lucht hangt.

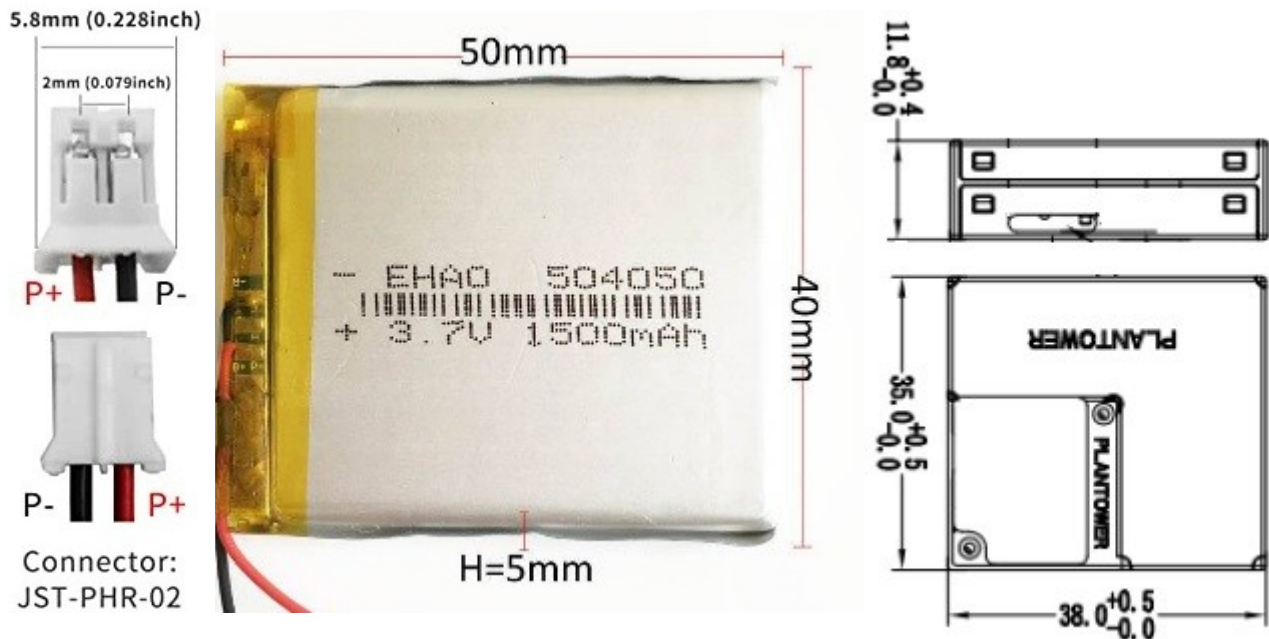


6. Nog enkele afmetingen.

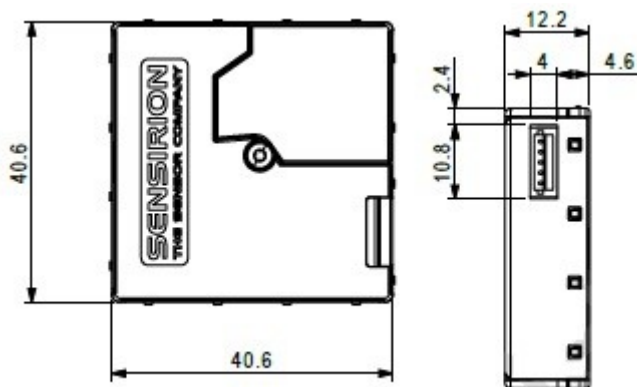
We hebben een paar dingen die wel op de PCB komen, maar niet via de soldeerbout. Dat zijn de accu en de stofsensors.

Hoe we die gaan vastmaken ? Waarschijnlijk de oude beproefde manier van TieWraps. Maar een life-test zal gaan uitwijzen wat de beste methode is. Of we moeten er een mechanicus bij halen Hieronder staan de meetmaat dingen in millimeters.

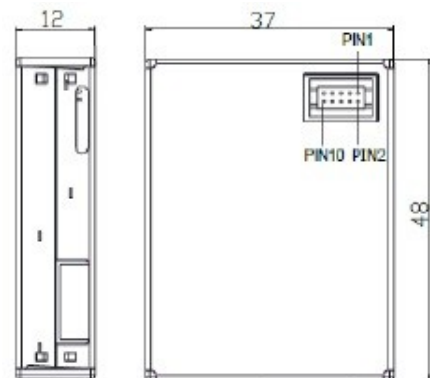
Om een indruk te geven van de accu en de PMSa003



En mochten we alsnog besluiten om een Sensirion SPS30 mee te sturen richting de zon, dan zijn hier alvast de afmetingen om rekening mee te houden.



Weinig geld ? Dan kiezen we toch gewoon voor de goedkope PMS7003. Ook die kunnen de gewenste meetdata generen.



8. Een stukje theorie over de meetwaarden

Natuurkunde mensen zijn mensen die van oorsprong een beetje lui zijn. Ze hebben geen zin om elke keer al die namen en getallen voluit te schrijven. Daarom maken ze het liefst afspraken over hoe je dit zo gemakkelijk mogelijk kan doen.

Omdat wij allerlei dingen gaan meten moeten we dus ook eerst even wat werk verzetten om tot heldere afspraken te komen.

1 allereerst moeten we gaan bepalen wat we willen meten, welke natuurkundige grootheden

dat gaan we doen volgens het Internationale Stelsel van Eenheden (Frans: *Système International d'unités*) of SI-stelsel

2 in welke natuurkundige eenheid wordt het weergegeven

er bestaan zeven basis eenheden

Lengte, massa, tijd, elektrische stroom, absolute temperatuur, stofhoeveelheid en lichtsterkte worden ook wel de basisdimensies genoemd.

Alle andere SI-eenheden zijn afgeleide eenheden. sommige zijn bekend, andere minder

3 wat is de nauwkeurigheid

in gewone mensentaal, wat is het aantal getallen achter de komma in het dagelijkse leven is dat bijvoorbeeld de centi of de milli

daarvoor gebruiken we een vermenigvuldigingsfactor

die factor is altijd 10 tot de macht x

er bestaan een aantal SI-prefixen (vermenigvuldigingsfactoren)

van max YOTTA ($x=24$) tot min YOCTO ($x=-24$)

4 wat is het bereik wat ik wil meten

oftewel wat is de minimale waarde en de maximale waarde die ik tegen denk te komen

5 de schaling oftewel verdeling

sommige waardes beginnen eerst rustig, maar lopen dan steeds sneller op

daar hebben ze een wiskundige schaling voor bedacht

mogelijkheden zijn lineair logaritmisch via e-macht ($\log_e$) of 10-macht ($\log_{10}$)

maar heb ik daar wel wat aan ?

ik denk het niet, want we noteren alleen maar de gemeten waarden, we vergelijken ze niet met elkaar

6 wat doe ik als de meting fout gaat

aan de hand van de meetwaarde kun jij niet zo goed zien of de sensor goed gemeten heeft

maar de sensors van vandaag zijn wel zo slim dat ze dat zelf redelijk goed wel kunnen

of de sensor wordt eenvoudig weg niet aangesloten, het is dan prettig dat er dan een waarde beschikbaar is zodat het systeem kan zeggen, dit is foute boel

7 als ik weet wat ik aan meetwaardes kan verwachten, ga ik bedenken hoe ik deze zo helder, duidelijk en efficiënt kan opslaan

er zijn veel methodes om getallen op te slaan, maar een universele beste methode bestaat helaas niet de criteria waarop je een methode kunt kiezen zijn

- zo weinig mogelijk ruimte innemend
- leesbaarheid voor mens en/of computer
- repeterend, oftewel voor alle grootheden hetzelfde
- vaste grootte voor de opslag

Wauw, met bovenstaande informatie, daar kunnen we iets mee. Maar nu nog in het complete plaatje passen

Want ons uiteindelijke doel is om een bestand te maken waar alles wat we gemeten hebben zodat we het later op een andere plek kunnen verweken.

9. De meetresultaten tot nu toe.

De meetwaarden worden opgeslagen in een bestand op de SD-card. De naam van het bestand, bijvoorbeeld "8_42A04C5455CF.csv" bestaat uit een volgnummer, dan een "_" (underscore) en dan 12 HEX-getallen (het unieke identificatie nummer van de DataKit), en tot slot de bestands extensie ".csv". Iedere keer als je de DataKit aanzet wordt het volgnummer verhoogt, en je krijgt daarmee een nieuwe bestandsnaam. Je overschrijft dus nooit een vorige meting. Tenzij je meer dan 65.535 metingen doet, want dan gaat het volgnummer weer naar 0, maar tegen die tijd moet je maar eens overwegen om de SD-kaart op te schonen.

De meetwaarden staan in het standaard *.csv formaat, en zijn daardoor met vrijwel elk spreadsheet programma te lezen. Maar dat hebben wij natuurlijk nog niet bewezen, het is een aanname.

Bijgevoegd een plaatje van de meetwaarden die we met behulp van een DroneKit ooit een keer in het verre verleden hebben geproduceerd. De werkelijkheid ziet er gelukkig al wat beter uit. Het aantal gereserveerd meetsoorten is nu al meer dan 50 stuks (dus meer dan 50 kolommen)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Time	Battery Volt	Battery %	Temperature C	Humidity % RH	Pressure hPa	Altitude meter	PM 1.0 (ug/m3)	PM 2.5 (ug/m3)	PM 10.0 (ug/m3)
2	00:00:03	5.35	100	24.21	50.79	1014.75	-12.91	0	0	0
3	00:00:04	4.78	100	24.20	50.79	1014.82	-13.46	4	4	5
4	00:00:05	4.77	100	24.19	50.75	1014.78	-13.08	4	4	5
5	00:00:06	4.76	100	24.20	50.77	1014.82	-13.46	4	4	5
6	00:00:07	4.98	100	24.20	50.68	1014.87	-13.92	4	4	5
7	00:00:08	4.75	100	24.20	50.71	1014.81	-13.39	4	4	5
8	00:00:09	5.35	100	24.19	50.68	1014.85	-13.69	4	4	5
9	00:00:10	4.94	100	24.20	50.71	1014.81	-13.39	4	4	5
10	00:00:11	5.33	100	24.20	50.68	1014.78	-13.16	4	4	5
11	00:00:12	4.81	100	24.20	50.70	1014.84	-13.61	3	3	4
12	00:00:13	4.78	100	24.20	50.69	1014.74	-12.78	3	3	4
13	00:00:14	4.98	100	24.20	50.68	1014.81	-13.39	3	3	4
14	00:00:15	4.74	100	24.20	50.73	1014.85	-13.69	3	3	4
15	00:00:16	4.75	100	24.19	50.69	1014.83	-13.54	3	3	3
16	00:00:17	4.90	100	24.20	50.70	1014.76	-12.93	3	3	3
17	00:00:18	4.78	100	24.21	50.69	1014.80	-13.31	3	3	3

Het prototype van de DataKit produceert met onderstaande grootheden ongeveer 1.5 MegaByte aan data gedurende 1 uur, waarbij er elke seconde een meting wordt gedaan, dat is 1 regel in bovenstaand plaatje.

Met een 32-bits adressering kun je tot ongeveer 4 GigaByte aan geheugenruimte adresseren, dus dat is volgens het rekenmasjien : 3 uur x 4000 Mb = 12.000 uur = 100 dagen = geen reden tot klagen.

Een uitgebreidelde uitleg over de gemeten waarden die we momenteel kunnen meten staat op de volgende 2 pagina's.

De eerste kolom is een volgnummer.

De tweede kolom is de naam van de fysische grootheid

De derde kolom is de fysische eenheid die bij de tweede kolom hoort.

De vierde kolom is een stukje uitleg.

0	Time	Year Month Day Hours Minutes Seconds	Dit gebeurt met de ingebouwde timer van de uP. We hebben helaas geen ingebouwde RealTimeClock en derhalve start de meettijd op 00:00:00. De nauwkeurigheid is in wetenschappelijke termen ongelijk aan de atoomtijd, maar voor onze doeleinden mogen we niet mopperen met die enkele seconden per dag. Iets waar we toch nix van merken aangezien de drone bij zonsondergang alweer uit de lucht is gehaald. Voor de HomeKit, waar de tijd via de WiFi gesynchroniseerd kan worden, gebruiken we de UNIX timestamp, oftewel het aantal seconden die zijn verstreken sinds 1 januari 1970 om 00:00:00 uur. Om het interessant te maken, de Excel spreadsheets maken gebruik van de tijd sinds 30 december 1899, en het gehele getal stelt het aantal dagen voor, en het getal achter de komma is dan de tijd in die dag. Dus veel plezier met het omzetten.
1	Battery Level	Volt	De uP heeft een AnalogtoDigitalConverter aan boord waarmee je een spanning kan meten. Om dat ding toch nuttig bezig te houden gaan we de spanning van de accu meten zodat we een klein beetje inzicht krijgen in het energie verbruik van onze DataKit. De accu begint bij volle energie zo rond de 3,8 Volt en dat is helaas ietsjes te veel voor onze ADC. Deze meet namelijk van 0 tot 3,3 Volt. Maar niet getreurd, daarvoor hebben we een spanningsdeler uitgevonden in de vorm van twee weerstanden. En omdat we graag het leven simpel willen houden, kiezen we voor twee gelijke weerstanden zodat de spanning ook netjes door twee wordt gedeeld. Ons meetbereik loopt nu dan ook van 0 tot 6,6 Volt, en in de software hoeven we slechts door twee te delen.
2	Battery Remain	%	Een accu heeft een bepaald verloop als er energie uitgehaald wordt. En hoe meer energie er uit gehaald wordt, hoe lager de spanning wordt. Dus er zit een bepaald verband tussen de spanning van een accu en de hoeveelheid energie die er nog in zit. Slimme mensen (wij niet) hebben een verband ontdekt tussen de spanning van de accu en hoe ver de accu al leeg is. Dit verband begrijpen wij niet, maar we passen het domweg toe. Soms moet je niet te veel willen snappen. Kortom, dit is een puur wetenschappelijk gokje over hoelang de accu het nog volhoudt
3	Temperature A	°C	we meten de temperatuur via een BME280. Volgens de fabrikant is deze sensor geijkt en zou tot op ééntiende nauwkeurig moeten zijn. Als we een reeks van deze sensors stijf tegen elkaar zetten is de nauwkeurigheid helaas iets minder nauwkeurig dan de fabrikant ons doet geloven, maar we doen het er maar mee. Tenslotte moet je niet zeuren over een sensor van slechts enkele Euro's
4	Humidity A	% RH	we meten de relatieve vochtigheid via een BME280.
5	Pressure A	hPa	we meten de luchtdruk via een BME280.
6	Dew Point	°C	Het dauwpunt in graden Celcius. Dit meten we niet rechtstreeks, maar deze wordt berekend via een ingewikkelde formule die we vereenvoudigd hebben.
7	Altitude	meter	De hoogte wordt via een geheimzinnige formule herleid uit de luchtdruk, dan gecompenseerd met de temperatuur, en ook nog eens gerelateerd aan de luchtdruk op zeeniveau. Dat zeeniveau is even een dingetje, want bij de zee is de luchtdruk niet altijd hetzelfde. Dus we bootsen dat na door een grondniveau in te stellen. Zodra de accu wordt aangesloten gaat de meteo-sensor fanatiek de luchtdruk meten. De eerste waarden zijn nog een beetje krakkemikkig, maar na een minuutje zijn de waarden uitstekend. Als de DroneKit dan nog op de grond staat, wordt deze luchtdrukwaarde ingelezen als zijnde de luchtdruk op nul meter hoogte. En ziedaar, we hebben onze bodemreferentie.
8	PM 1.0	µg/m³	concentration unit micro gram/kubice meter (onder atmosferic conditie)
9	PM 2.5	µg/m³	concentration unit micro gram/kubice meter (onder atmosferic conditie)
10	PM 10	µg/m³	concentration unit micro gram/kubice meter (onder atmosferic conditie)
11	Co2	ppm	de hoeveelheid CO2 in de lucht meten we met de CCS811
12	Tvoc	ppb	een indicatie van de lucht kwaliteit. Maar dat moet je wel met een korreltje zout nemen. Want het is het gemiddelde van een heleboel gemeten gassen.

13	UV 310..339 nM band	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	UV-licht hoeveelheid zo rond de 330 nanoMeter
14	UV 350..370 nM band	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	UV-licht hoeveelheid zo rond de 360 nanoMeter
15	UV Index		een risico-index gebaseerd op de waardes uit de uvAband en de uvBband
16	DayLight	Lux	de hoeveelheid daglicht zo ergens tussen de 500 en 650 nanoMeter in LUX, Wide 0.045 Lux to 188,000 Lux Range
17	Compass X	degree	De X-as kompas waarde
18	Compass Y	degree	De Y-as kompas waarde
19	Compass Z	degree	De Z-as kompas waarde
20	Compass azimuth	degree	Dit is de hoek tussen de X-as en de Y-as Het kompas meet ten opzichte van de magnetische NoordPool
21	Latitude	Φ°	de horizontale wereld coördinaat Phi in graden
22	Longitude	Λ°	de verticale wereld coördinaat Lambda in graden
23	Wind Speed	m/sec	de meteorologische wind snelheid, in de volksmond km/uur
24	Wind Direction	$^\circ$	de hoek waaruit de wind waait in 360 graden
25	RainFall	mm	
26	SHT31 Temp	$^\circ\text{C}$	de lucht temperatuur van een SHT31 sensor
27	SHT31 Humi	% RH	de relatieve lucht vochtigheid van een SHT31 sensor
28	SPS PM 1.0	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	stof deeltjes van een Sensirion SPS30
29	SPS PM 2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	stof deeltjes van een Sensirion SPS30
30	SPS PM 10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	stof deeltjes van een Sensirion SPS30
31	Temperature B	$^\circ\text{C}$	Zie 3
32	Humidity B	% RH	Zie 4
33	Pressure B	hPa	Zie 5
34	Sound Min	dBa	het minimale geluids niveau
35	Sound Max	dBa	het maximale geluids niveau
36	Sound Average	dBa	het gemiddelde geluids niveau gemeten over een periode van 1 Seconde
37	FFT 125Hz Min	dBa	het minimale geluids niveau, gemeten rondom een frequentie band van 125 Hz
38	FFT 125Hz Max	dBa	het maximale geluids niveau, gemeten rondom een frequentie band van 125 Hz
39	FFT 125Hz Avg	dBa	het gemiddelde geluids niveau gemeten over een periode van 1 Seconde
40	FFT 250Hz Min Max Avg	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz maar dan voor de 250Hz band
43	FFT 500Hz Min Max Avg	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz maar dan voor de 500Hz band
46	FFT 1KHz Min Max Avg	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz maar dan voor de 1KHz band
49	FFT 2KHz Min Max Avg	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz maar dan voor de 2KHz band
52	FFT 4KHz Min Max Avg	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz maar dan voor de 4KHz band
55	FFT 8KHz Min Max Avg	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz maar dan voor de 8KHz band

58	FFT 16KHz	dBa	Hetzelfde idee als bij FFT 125Hz
60	Min Max Avg		maar dan voor de 16KHz band

----dit is nog niet klaar -----

Nog even over de geluidsmeting, hoe doen we dat nu

er wordt een audio-opname van het omgevingsgeluid gemaakt. Deze opname is vrij kort en duurt ongeveer 0.1 Seconde. Vervolgens wordt er een spectrale analyse gemaakt van de audio (opgesplitst in verschillende frequentiebanden), waarbij de geluidsintensiteit voor elke individuele band wordt berekend

The plan is to divide the audio spectrum up into octaves and calculate the total energy in each octave. We can then easily apply sensor/housing specific corrections, do A weighting, etc.

Subjective audio levels are generally calculated on a logarithmic scale in dB using "A-weighting". A-weighting calculates a subjective loudness level from a physical loudness, applying a correction factor for each (part of an) octave band.

Octave start	Octave center	Octave end	Remark
-	-	22627 Hz	sample rate
5657 Hz	8000 Hz	11314 Hz	
2828 Hz	4000 Hz	5657 Hz	
1414 Hz	2000 Hz	2828 Hz	
707 Hz	1000 Hz	1414 Hz	
354 Hz	500 Hz	707 Hz	
177 Hz	250 Hz	354 Hz	
88 Hz	125 Hz	177 Hz	
44 Hz	63 Hz	88 Hz	
22 Hz	31 Hz	44 Hz	

The energy in each octave is calculated by applying an FFT (fast fourier transform) on the audio data. The FFT takes in real values and outputs complex values. The intensity in each octave band is by summing the energy in a set of FFT 'bins'. The energy in each bin is calculated as the real part squared plus the imaginary part squared. The division of the audio spectrum for the FFT is chosen so it matches the octaves used in the A-weighting as described above. I plan to use the 'flat-top' window because it has good properties for measuring power levels.

Een technische uitleg over de DbA kun je vinden op <https://en.wikipedia.org/wiki/A-weighting>