

Geen vuiltje aan de lucht na onze vlucht

Luchtkwaliteit bepalen door middel van sensoren - Onderzoek naar luchtkwaliteit en hoe deze te meten is door middel van sensoren in de context van de CanSat competitie.



December 2022, Amsterdam

Silvan van Kampen, Axel Koning, Raphaël Lubbers, Stefan Mos en Rens Verhaar, Pepijn van Wees

6V Technasium

Informatie

Auteurs

Silvan van Kampen (16 jaar), klas 6V2
Axel Koning (17 jaar), klas 6V1
Raphaël Lubbers (17 jaar), klas 6V1
Stefan Mos (16 jaar), klas 6V2
Rens Verhaar (17 jaar), klas 6V3, waarnemend leider
Pepijn van Wees (17 jaar), klas 6V2, leider

Groepswebsite

Onze [groepswebsite](#)

Relevante contactgegevens

G. van Soelen, Docent O&O
gvansoelen@calandlyceum.nl

J. Appelman, Docent Informatica
jappelman@calandlyceum.nl

Prof. dr. ir. Guus Velders, Expert luchtkwaliteit
guus.velders@rivm.nl

ESERO NL, Organisator CanSat-wedstrijd
info@esero.nl

NEMO Science Museum
Postbus 421
1000 AK Amsterdam
Nederland

Voorwoord

Dit profielwerkstuk (PWS) is geschreven door Silvan van Kampen, Axel Koning, Raphaël Lubbers, Stefan Mos en Rens Verhaar, Pepijn van Wees. Dit PWS is in combinatie met onze meesterproef geschreven ter afsluiting van het VWO technasium op het Calandlyceum in Amsterdam. Het PWS richt zich op het onderzoek naar het meten van luchtkwaliteit met behulp van een meetstation. Op 10 oktober 2022 zijn wij begonnen met dit PWS. Het is voltooid op 24 december 2022.

Het begin van dit profielwerkstuk ging niet helemaal volgens planning, want er was nog helemaal geen groep. Rens, Stefan en Pepijn waren samen aan het zoeken naar een opdrachtgever voor hun meesterproef terwijl Axel, Raphaël en Silvan bezig waren met een onderwerp zoeken voor hun eigen PWS. Rens, Stefan en Pepijn stuitten toen op deze CanSat wedstrijd en waren hier meteen enthousiast over omdat het technische aspect hierin hun heel erg aansprak, alleen was er een probleem: ze waren met te weinig want een team moet uit minimaal 4 personen bestaan. Dit vertelde ze aan meneer Van Soelen en die kwam met het idee om de twee groepen samen te trekken. Hier waren Axel, Raphaël en Silvan ook meteen enthousiast over omdat zij deze opdracht ook erg leuk vonden. En daaruit volgde dit profielwerkstuk.

Bij deze willen wij graag Prof. dr. ir. Guus Velders, onze expert op het gebied van luchtkwaliteit bedanken. Hij heeft ons geholpen met de oriëntatiefase voor het onderwerp luchtkwaliteit en heeft ons waardevolle feedback geleverd op deze hoofdstukken. Ook willen we dhr G. van Soelen, onze begeleidend docent, bedanken voor de samenwerking en ondersteuning. Hij heeft door begeleiding en het leveren van feedback geholpen ons PWS in goede banen te leiden.

1-3-2023
Amsterdam

Samenvatting

Bij het ontwerpen van een meetstation komen veel dingen kijken. In dit PWS wordt er onderzoek gedaan naar de meest relevante aspecten voor het bouwen van een meetstation in de context van de CanSat competitie. De CanSat competitie is een wedstrijd waarbij 40 teams uit heel Nederland het tegen elkaar opnemen. Het doel van de competitie is om een missie voor je CanSat te kiezen en deze zo goed mogelijk uit te voeren. In dit PWS is er onder andere onderzoek gedaan luchtkwaliteit en naar de verschillende sensoren die samen de luchtkwaliteit kunnen bepalen, denk hierbij aan stikstofdioxide (NO_2), fijnstof (PM) en ozon (O_3). Deze onderzoeken zijn terug te vinden in hoofdstukken twee tot en met vier. Verder is er in de hoofdstukken vijf tot en met tien onderzoek gedaan naar andere voor onze CanSat nuttige sensoren zoals een drukmeter, een temperatuursensor, een communicatiesysteem, een versnellingsmeter, een camera en een GPS. Tenslotte is er ook nog onderzoek gedaan naar de aspecten die komen kijken bij het veilig afschieten, laten landen en terug vinden van een CanSat. Dit wordt onderzocht in de hoofdstukken elf tot en met veertien met onderzoek naar de landing, de vindbaarheid, het bouw materiaal en de hoogtebepaling van de CanSat.

Inhoudsopgave

Informatie	2
Auteurs	2
Groepswebsite	2
Relevante contactgegevens	2
Voorwoord	3
Samenvatting	4
Inhoudsopgave	5
Inleiding	9
Relevantie van het onderwerp	9
Onderzoeksvragen	10
Hoofdvraag	10
Deelvragen	10
Hoofdstuk 1: Wat is een CanSat?	11
§1.1 Eisen	11
Hoofdstuk 2: Wat is luchtkwaliteit?	13
§2.1 Stikstof en stikstofdioxide	13
§2.2 Fijnstof	14
§2.3 Ozon	15
§2.4 veranderingen in luchtkwaliteit	17
§2.5 verschillende nieuwe oplossingen	17
Hoofdstuk 3: Hoe wordt luchtkwaliteit gemeten?	19
§3.1 Stikstofdioxide sensoren (NO ₂):	19
§3.1.1 Elektrochemische sensor	20
§3.2 Fijnstofsensoren (PM):	21
§3.3 Ozon sensoren (O ₃):	23
Hoofdstuk 4: Sensoren voor de luchtkwaliteit	25
§4.1 Functie en gebruik NO ₂ sensor	25
§4.2 Uitgangspunten en eisen NO ₂ sensor	26
§4.3 Keuze tussen NO ₂ sensoren	27
§4.4 Functie en gebruik fijnstofsensor	28
§4.5 Uitgangspunten en eisen fijnstofsensor	29
§4.6 Keuze tussen fijnstofsensoren	30
§4.7 Functie en gebruik O ₃ sensor	32
§4.8 Uitgangspunten en eisen	33
§4.9 Keuze tussen ozon sensoren	33
Hoofdstuk 5: De barometer	35
§5.1 Introductie	35

§5.2 Werking van barometers	35
§5.3 Functie en gebruik van een barometer	36
§5.4 Keuze tussen verschillende barometers	37
Hoofdstuk 6: De temperatuursensor	39
§6.1 Wat is temperatuur?	39
§6.2 Werking van temperatuursensoren	39
§6.3 Functie en gebruik van een temperatuursensor	40
§6.4 Keuze tussen verschillende temperatuurmeters	40
Hoofdstuk 7: Radio-gebruik en andere vormen van communicatie	42
§7.1 Wat is telecommunicatie en hoe werkt het?	42
§7.2 functie en gebruik van telecommunicatie	42
§7.3 keuze tussen verschillende vormen van telecommunicatie	43
Hoofdstuk 8: De accelerometer	45
§8.1 Introductie accelerometer	45
§8.2 De werking van de accelerometer	45
§8.3 Mogelijke accelerometers	46
Hoofdstuk 9: De camera	48
§9.1 Introductie camera	48
§9.2 Werking camera	48
§9.3 Mogelijke cameras	49
Hoofdstuk 10: Global Positioning System (GPS)	50
§10.1 Introductie GPS	50
§10.2 Werking GPS	50
§10.3 Mogelijke GPS modules	51
Hoofdstuk 11: Veilig landen van de CanSat	52
§11.1 Hoe werkt een parachute	52
§11.2 Materiaal parachute	54
§11.3 Alternative landingsmethoden	55
§11.3.1 Parafoil	55
§11.3.2 Airbag	55
§11.3.3 Schokdempers	56
§11.3.4 Conclusie	56
Hoofdstuk 12: De CanSat terugvinden	57
§12.1 Geluid	57
§12.2 GPS	57
§12.3 Kleur	58
§12.4 Licht	59
§12.5 Conclusie	59
Hoofdstuk 13: Materialen	60
§13.1 Bewerkbare materialen	60
§13.2 Impact bestendig	60

§13.3 Gewicht van de materialen	60
§13.4 Kostenefficiënt	61
§13.5 3D printen	61
§13.6 Aluminium	61
§13.8 Conclusie	62
Hoofdstuk 14: Berekening van de hoogte	63
§14.1 Wat is “hoogte”?	63
§14.2 Methoden voor het bepalen van hoogte	63
§14.3 Bepaling van de hoogte voor het meetstation	64
Hoofdstuk 15: Conclusie	65
§15.1 Conclusie sensoren	65
§15.2 Conclusie landing	66
§15.3 Conclusie materialen	66
Hoofdstuk 16: Discussie	67
§16.1 Testen	67
§16.2 NO2 sensor	67
§16.3 Fijnstofsensoren	67
§16.4 Datasheets	67
Hoofdstuk 17: Reflectie	68
§17.1 Taakverdeling	68
§17.2 Samenwerking	68
§17.3 Planning	68
§17.4 Communicatie	68
Hoofdstuk 18: bijlagen	69
§18.1 literatuurlijst	69
Hoofdstuk 1: Wat is een CanSat	69
Hoofdstuk 2: Wat is luchtkwaliteit	69
Hoofdstuk 3: Hoe wordt luchtkwaliteit gemeten	70
Hoofdstuk 4 Sensoren voor de luchtkwaliteit	71
Hoofdstuk 5: Barometer	73
Hoofdstuk 6: Temperatuursensor	74
Hoofdstuk 7: Radio gebruik en andere vormen van communicatie	74
Hoofdstuk 8: De accelerometer	75
Hoofdstuk 9: De Camera	75
Hoofdstuk 10: GPS	76
Hoofdstuk 11: Veilig landen van de CanSat	76
Hoofdstuk 13: Welke materialen zijn geschikt voor het bouwen van de CanSat?	76
Hoofdstuk 14: Berekening van de hoogte	76
§18.2 figuren literatuurlijst	77
Figuren hoofdstuk 2: Wat is luchtkwaliteit?	77
Figuren hoofdstuk 3: Hoe wordt luchtkwaliteit gemeten?	77
Figuren hoofdstuk 4: Sensoren voor de luchtkwaliteit	78

Figuren hoofdstuk 5: Barometer	78
Figuren hoofdstuk 6: Temperatuur	78
Figuren hoofdstuk 7: Figuren telecommunicatie	79
Figuren hoofdstuk 8: De accelerometer	79
Figuren hoofdstuk 9: De camera:	79
Figuren hoofdstuk 10: GPS	79
Figuren hoofdstuk 11: Veilig landen van de CanSat	79
Figuren hoofdstuk 12: De CanSat terugvinden	80
§18.3 logboek	80

Inleiding

Voor onze meesterproef nemen wij als team deel aan de CanSat-competitie. Tijdens dit project ontwerpen en bouwen wij een meetstation ter grootte van een frisdrankblikje. De competitie wordt georganiseerd door ESERO (European Space Education Resource Office), een initiatief van de NSO (Netherlands Space Office), ESA (European Space Agency) en NEMO. Dit PWS is het vooronderzoek voor de meesterproef. Op basis van de hoofdvraag voor dit PWS: "Hoe bouw je een meetstation ter grootte van een frisdrankblikje dat tot 1000 meter hoogte de luchtkwaliteit kan meten, deze data kunnen verzenden naar een station op de grond en herbruikbaar is?" wordt er onderzoek gedaan naar welke stoffen de grootste invloed op de luchtkwaliteit hebben en hoe we zo efficiënt mogelijk de concentratie van deze stoffen kunnen meten. De luchtkwaliteit zal gemeten worden door verschillende sensoren aan boord van het meetstation. Na grondig onderzoek naar verschillende soorten sensoren met diverse kwaliteiten wordt op grond van de bevindingen bepaald welke sensoren het meest geschikt zijn voor het meetstation. Naast onderzoek naar de sensoren wordt er ook onderzoek gedaan naar verschillende andere aspecten die komen kijken bij het bouwen van een meetstation zoals welke materialen het best gebruikt kunnen worden voor de bouw van de CanSat; hoe hij weer veilig kan landen en hoe hij vervolgens weer makkelijk opgespoord kan worden. Door middel van dit onderzoek naar alle verschillende aspecten die nodig zijn voor het ontwerpen van een meetstation hopen wij uiteindelijk de CanSat-competitie tot een goed einde te kunnen brengen.

Relevantie van het onderwerp

Het meetstation dat met behulp van dit vooronderzoek wordt ontworpen, meet de concentratie van verschillende luchtvervuilende stoffen in de atmosfeer. Met het bouwen van het meetstation willen wij een bijdrage leveren aan het beter in kaart kunnen brengen van vervuilende stoffen die een negatieve invloed hebben op de gezondheid van de mens. De gezondheid van de mens is altijd belangrijk en ook daarom probeert men de klimaatverandering tegen te gaan, maar de kwaliteit van de lucht speelt daar ook een belangrijke rol in. Doordat ons onderzoek wordt uitgevoerd in een relatief rustig gebied met weinig verkeer en mensen kunnen we zien wat voor invloed dit heeft op de luchtkwaliteit en dus op de gezondheid van de mens.

Onderzoeksvragen

Bij het doen van een onderzoek is het belangrijk dat er hoofd- en deelvragen worden opgesteld. Dit wordt gedaan zodat het duidelijk is waar het onderzoek over gaat en om het voor de onderzoekers duidelijk te maken waar ze naartoe werken.

Hoofdvraag

Voor dit profielwerkstuk hebben wij gekozen voor de hoofdvraag: 'Hoe bouw je een CanSat die tot 1000 meter hoogte de luchtkwaliteit kan meten, deze data kan verzenden naar een station op de grond en herbruikbaar is?' Wij hebben gekozen voor deze hoofdvraag omdat hij alle aspecten van ons vervolgproject (de meesterproef) overkoepelt.

Deelvragen

Omdat de hoofdvraag een zeer brede en grote vraag is, is het moeilijk om hem in een keer te beantwoorden. Daarom hebben we hem opgedeeld in de volgende vijf deelvragen:

- Om te weten hoe we door middel van een CanSat luchtkwaliteit kunnen meten is het belangrijk om te weten wat luchtkwaliteit is. Hierom is onze eerste deelvraag: 'wat is luchtkwaliteit, wat zijn de belangrijkste componenten hiervan en hoe wordt dit gemeten?'
- Onze tweede en deelvraag is de vraag: 'Welke sensoren zijn het meest geschikt voor het gebruik in een CanSat?'
- Ook is het belangrijk dat de CanSat zonder te veel schade weer op de grond terecht komt, daarom hebben we als tweede deelvraag de vraag: 'Wat is de beste manier om te zorgen dat de CanSat veilig op de grond land?'
- Het is belangrijk dat na de landing de CanSat ook weer terug gevonden wordt. Daarom gaat onze vierde deelvraag over de vindbaarheid van onze CanSat. Onze vierde deelvraag luidt: 'Wat zijn de beste methodes om de vindbaarheid van de CanSat te vergroten?'
- Ook moet er worden gedacht over welke materialen het best gebruikt kunnen worden voor de Cansat, Daarom is de vijfde deelvraag: 'Welke materialen zijn het meest geschikt voor het bouwen van een CanSat?'
- Onze laatste deelvraag gaat over de berekeningen waarmee de hoogte van de CanSat kan worden berekend. Deze deelvraag is: 'Welke berekeningen kunnen gebruikt worden om de gegevens van de CanSat om te kunnen rekenen naar de hoogte waarop hij zich bevindt?'

Hoofdstuk 1: Wat is een CanSat?

Ons onderzoek voeren we uit in de CanSat competitie. De Cansat competitie is een wedstrijd waarbij verschillende teams een satelliet ontwerpen ter grootte van een blikje, vandaar de naam 'CanSat', die op een hoogte van 1000 meter data kan verzamelen en terugsturen. De CanSat is dus een meetstation dat data verzamelt, in dit vooronderzoek zullen de woorden CanSat en meetstation allebei worden gebruikt omdat we een CanSat bouwen, maar de CanSat is een meetstation. De data van de CanSat kunnen vervolgens worden geanalyseerd en worden gebruikt om een rapport te schrijven. De teams in de wedstrijd bouwen en bedenken hun eigen meetstation en testen deze op de testdag. Er doen maximaal 40 teams van 4 tot 6 personen mee aan de wedstrijd, op 3 maart 2023 worden de top 10 teams gekozen naar aanleiding van de resultaten op de testdag en de kwaliteit van het final design report. De top 10 teams mogen hun CanSat laten lanceren door een modelraket. De modelraket wordt geleverd door het DARE raket-team van de TU Delft. De raket gaat tot een hoogte van 1.000 meter waarna de CanSat wordt losgekoppeld en naar beneden valt. De CanSat meet de de ons gekozen stoffen en grootheden die bij onze missie passen. Onze CanSat zal de luchtkwaliteit meten door middel van gas sensoren die de hoeveelheid schadelijke stoffen in de lucht bepalen.

§1.1 Eisen

Bij het ontwerpen van de CanSat zal er rekening gehouden worden met verschillende eisen. Deze eisen zijn opgesteld in verband met de CanSat competitie, de limitaties van de DARE raket en algemene veiligheid. Alle eisen waar het meetstation aan voldoen staan hieronder opgesteld:

- **Grootte en gewicht**
 - Alle onderdelen van de CanSat moeten in een cilinder met hoogte van 115 mm en een diameter van 66 mm passen. Een uitzondering hierop zijn de parachute en antennes. Hiervoor is een extra 45mm aan hoogte in de verticale dimensie aanwezig.
 - De onderdelen van de CanSat, inclusief antennes en parachute, mogen zich niet buiten de diameter van de CanSat bevinden voordat de CanSat de zich buiten de raket bevindt.
 - De massa van de CanSat moet minder dan 350g zijn en meer dan 300 gram. Als het gewicht van de CanSat minder dan 300g is, moet hierbij extra gewicht toegevoegd worden tot de 300 gram bereikt is.
- **Parachute en Landing**
 - De parachute die in de CanSat aanwezig is moet een minimale kracht van 200N aankunnen.
 - De CanSat moet versnellingen tot 20G aankunnen.
 - De CanSat moet binnen 't Harde landen.
 - De gebruikte parachute moet aan de CanSat ingeklapt blijven, tot het moment dat deze wordt gebruikt. Dit moet op het gebied van hardware en software geregeld worden.
 - De CanSat moet een systeem hebben om veilig te kunnen landen (bijvoorbeeld een parachute)

- **Stroomvoorziening**
 - De CanSat moet van stroom worden voorzien door batterijen of zonnepanelen. Deze moeten de CanSat voor vier uur van stroom kunnen voorzien, zonder leeg te raken.
 - De batterij in de CanSat moet makkelijk toegankelijk zijn voor het geval dat deze moet worden opgeladen of vervangen.
 - De CanSat moet een makkelijk toegankelijke master power switch hebben. Deze master power switch moet de hele CanSat van stroom voorzien.
- **Traceerbaarheid**
 - De CanSat moet een traceersysteem hebben, waardoor deze terug te vinden is.
- **Financieel**
 - Het budget van de CanSat mag niet de limiet van €500,- overschrijden. De Starterkit van de CanSat neemt al €100,- in van dit budget, maar hoeven we niet zelf te betalen.
 - Onderdelen die niet door het team betaald zijn, door middel van bijvoorbeeld sponsoren, moeten in het budget opgenomen worden. (Esero, 2022)

Met deze eisen zal rekening moeten worden gehouden bij het ontwerpen van de CanSat. Onder andere bij sensor keuze zullen deze eisen een rol spelen.

Hoofdstuk 2: Wat is luchtkwaliteit?

Maar liefst 99% van alle mensen op aarde ademt lucht in die veel verontreinigende stoffen bevat en schadelijk is voor de gezondheid. Dit is het gevolg van de groeiende wereldbevolking, -industrie en -economie (ongezondelucht, 2022). Luchtvervuiling is een probleem dat voor een lange tijd onzichtbaar is geweest voor de samenleving, maar waar de laatste decennia steeds meer aandacht voor is. Stikstofdioxide, fijnstof en ozon zijn de grootste vervuilers van de luchtkwaliteit. Het verbeteren van de luchtkwaliteit door de uitstoot van stikstof, fijnstof en ozon te verminderen is van essentieel belang voor de gezondheid van de mens en het in balans houden van ecosystemen (kwf, 2021).

§2.1 Stikstof en stikstofoxide

Stikstof is essentieel voor al het leven op aarde. Ongeveer 78% van alle lucht in de atmosfeer bestaat uit stikstof (Greenpeace, 2021). Stikstof (N_2) is een reuk en kleurloos gas en is op zichzelf niet schadelijk voor het milieu, maar kan wel schadelijk worden in de vorm van NO_2 . Stikstof behoort tot de groep niet-metalen en heeft een covalentie van 3. Stikstof in de pure vorm is niet schadelijk voor het milieu, maar wanneer het zich bindt aan andere atomen kunnen verschillende chemische verbindingen ontstaan die wel degelijk schadelijk zijn voor de mens, natuur en het milieu. Onder andere ammoniak en stikstofoxiden zijn een grote vervuiler op het gebied van luchtkwaliteit.

Ammoniak komt vooral vrij vanuit de urine en mest van veedieren. Ammoniak (NH_3) is een gas dat van nature voorkomt in dierlijke mest. Ureum en organische stoffen worden door urease omgezet in ammoniak. Dat proces wordt vooral aangejaagd als de mest en de urine van veedieren wordt vermengd. De veeteelt van Nederland geldt als een van de meest intensieve van Europa. De veeteelt speelt een grote rol in de totale ammoniakuitstoot van Nederland. Mede hierdoor heeft Nederland een zeer groot aandeel in de totale Ammoniakuitstoot (clo, z.d.) (Volkskrant, 2022). De veeteelt is de voornaamste reden dat Nederland gemiddeld vier keer zo veel stikstofoxide uitstoot als andere Europese landen. De bouwstoffen stikstof en waterstof kunnen onder hoge temperatuur veranderen in Ammoniak (NH_3). Dit gebeurt onder andere in de industrie waar vaak als reactieproduct ammoniak vrijkomt (TU delft, 2018). NH_3 is een anorganische verbinding tussen stikstof en waterstof. De aanwezigheid van ammoniak in de bodem zorgt voor vermisting. Door de aanwezigheid van NH_3 wordt de grond voedselrijker. Het voedselrijker worden van de bodem is niet voor alle gewassen en planten een positieve ontwikkeling, omdat de biodiversiteit hierdoor kan afnemen: Planten die beter groeien op een voedselrijke bodem overheersen al snel. Hierdoor is er minder ruimte voor de verschillende planten die van nature minder snel groeien. Ook zijn er diverse planten die specifiek door een voedselrijke bodem juist minder goed groeien. Dit soort planten zullen dus verdwijnen uit deze omgeving. Het verdwijnen van planten heeft ook effect op andere schakels binnen het ecosysteem, waardoor het hele ecosysteem het effect kan voelen van deze vermisting (RIVM, zd) (biomaatschappij, 2021.). Ammoniak heeft ook de eigenschap om met andere stoffen in de lucht te reageren, waardoor andere schadelijke stoffen, zoals fijnstof, kunnen ontstaan.

Stikstofdioxide (NO_2) is een verbindingen tussen twee atomen: een stikstof- (N) en zuurstofatoom (O). De uitstoot van stikstofdioxide (NO_2) wordt vooral veroorzaakt door de industrie, het verkeer en energiecentrales. Stikstofdioxide ontstaat bij een hoge temperatuur en komt onder andere vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen (RIVM, zd). Deze stoffen zijn vooral schadelijk voor de longen en luchtwegen van organismen. De deeltjes kunnen namelijk doordringen tot in de kleinste vertakkingen van het longstelsel en zo de longen beschadigen (GGD leefomgeving, 2020). Het reguleren van de uitstoot van stikstof is belangrijk voor de luchtkwaliteit. Om de uitstoot te verminderen worden steeds meer nieuwe technologieën en oplossingen toegepast.

§2.2 Fijnstof

Fijnstof is de verzamelnaam van uiteenlopende deeltjes die zich in de atmosfeer bevinden die kleiner zijn dan 10 micrometer (μm). Fijnstof bestaat uit allerlei soorten stoffen met een andere herkomst en chemische samenstelling en komt vrij bij veel verschillende processen. Antropogene fijnstof is de benaming voor deeltjes die door de mens veroorzaakt wordt (Infomil, z.d.). Het verkeer over de hele wereld stoot ongeveer 40% van de totale antropogene fijnstof uit (infomil, z.d.) (RIVM, 2010). Primair fijnstof wordt direct in de lucht uitgestoten door bronnen zoals verbranding van fossiele brandstoffen, industriële processen en landbouwactiviteiten. Het is kleiner dan 10 micrometer (of PM_{10}). (infomil, z.d.). Tijdens de verbranding van benzine of diesel komt fijnstof in de vorm van roet vrij. Roet ontstaat door onvolledige verbranding van diesel brandstof en is erg schadelijk, omdat het roet dat vrijkomt een gemiddelde grootte heeft van slechts $0,3 \mu\text{m}$. Hoe kleiner de fijnstofdeeltjes hoe schadelijker (gezondleven, z.d.).

Secundair fijnstof, ook wel aangeduid als fijnstof van tweede orde, wordt gevormd wanneer gassen en vloeistoffen in de lucht reageren met elkaar. Dit gebeurt vaak als gevolg van de aanwezigheid van primair fijnstof, zoals stikstofoxiden en zwaveldioxide. Secundair fijnstof is vaak kleiner dan $2,5 \mu\text{m}$ (of $\text{PM}_{2,5}$) (infomil, z.d.).

Fijnstofdeeltjes die een diameter hebben van $2,5 - 10,0 \mu\text{m}$ worden ook wel PM_{10} genoemd. De verwijzing PM komt uit de Engelse taal en betekent particulate matter (samenmeten, z.d.). Hoe kleiner de deeltjes zijn, hoe verder zij het lichaam van de mens kunnen en dus hoe schadelijker ze zijn. De kleinste deeltjes fijnstof kunnen zelfs via de luchtwegen in de bloedbaan terecht komen, terwijl grotere deeltjes tot de longen komen, of onderweg al eerder worden tegengehouden.

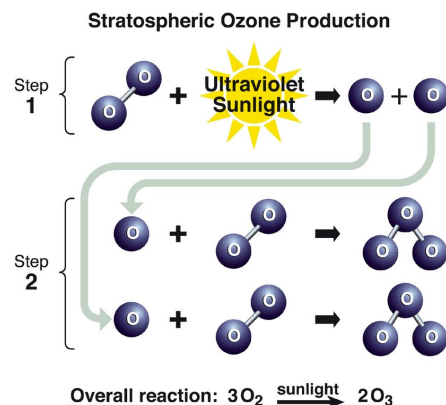
Wanneer de fijnstofdeeltjes eenmaal in een organisme zitten kunnen ze hier moeilijk weg. De deeltjes hopen op en kunnen vervolgens ontstekingen veroorzaken, die kunnen leiden tot dodelijke longziekten. Dit vergroot de kans op hart en vaatziekten en hartaanvallen (Atlasleefomgeving, z.d.) (Hartstichting, z.d.).

§2.3 Ozon

Ozon wordt gevormd gevormd in natuurlijke chemische reacties. De absorptie van zonlicht (UV-straling) is hoog genoeg om gewone zuurstofmoleculen (O_2) te splitsen in individuele zuurstofradicalen ($O\cdot$). Vrije zuurstofradicalen kunnen recombineren tot normale moleculaire zuurstof (O_2). Wanneer echter een vrij zuurstofradicaal ($O\cdot$) botst met een zuurstofmolecuul (O_2), kan er een nieuw molecuul bestaande uit 3 zuurstofatomen ontstaan. Deze stof is ozon (O_3) (zie *figuur 2.3*). Dichter Op het aardoppervlak is er een ander proces waaruit ozon ontstaat. Door middel van zonlicht wordt stikstofdioxide (NO_2) afgebroken in NO en O . Het losse zuurstof atoom kan op zijn beurt botsen met een zuurstofmolecuul (O_2). Hierdoor ontstaat er ozon. Ozonmoleculen kunnen op hun beurt worden gesplitst door UV-straling, waardoor weer gewone zuurstof (O_2) en vrije zuurstofatomen (O) ontstaan. Deze chemische reacties treden altijd op wanneer ultraviolet zonlicht aanwezig is (KNMI, z.d.) (meteo, z.d.) (gezondleven, z.d.).

Tijdens dit proces van ozonvorming en -afbraak wordt een evenwicht tot stand gebracht: er wordt evenveel ozon gemaakt, als afgebroken. Hierdoor blijft de concentratie ozon in de atmosfeer redelijk constant.

De ozonconcentratie op verschillende plaatsen in de atmosfeer en stratosfeer kan erg verschillen en staat in verband met de hoeveelheid ultraviolet licht. In de tropen waar het zonlicht het sterkst is komen de chemische processen vaker en sneller voor (New Scientist, 2022.).



Figuur 2.3: Een schematische weergave van chemische processen bij ozon. (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI], z.d.)

Wanneer ozon in kleine hoeveelheden voorkomt in de atmosfeer doet het op korte termijn niet veel met de gezondheid. Maar wanneer het ozongehalte toeneemt kan dit ernstige gezondheidsverschijnselen veroorzaken. Bij hoge concentratie is ozon namelijk giftig. De meest voorkomende gezondheidsklachten van blootstelling aan ozon zijn tranende/prikkelende ogen en hoesten. Ook kan de aanwezigheid van ozon de longfunctie veranderen en aantasten. De ozon dringt namelijk door tot in de kleinste luchtwegen en longblaasjes (rivm, 2017).

De aanwezigheid van wind kan een grote invloed hebben op de ozonconcentratie. In de hogere luchtlagen, waar ozon voornamelijk voorkomt, kan wind helpen om ozon te verplaatsen van de ene plaats naar de andere. Dit kan leiden tot lokale veranderingen in de ozonconcentratie, afhankelijk van de windrichting en -sterkte. Wind kan ook helpen om ozon te verdunnen, wat leidt tot een lagere ozonconcentratie. Dit kan gebeuren wanneer wind lucht van lagere luchtlagen naar hogere luchtlagen blaast, waardoor ozon wordt verdund over een grotere volume. Echter, kan wind ook helpen om ozon te concentreren, vooral als

het gaat om de vorming van ozon in de lagere luchtlagen. Dit kan gebeuren wanneer wind stilstaande lucht verplaatst, wat kan leiden tot de vorming van ozon hotspots in bepaalde gebieden (iplo, z.d.).

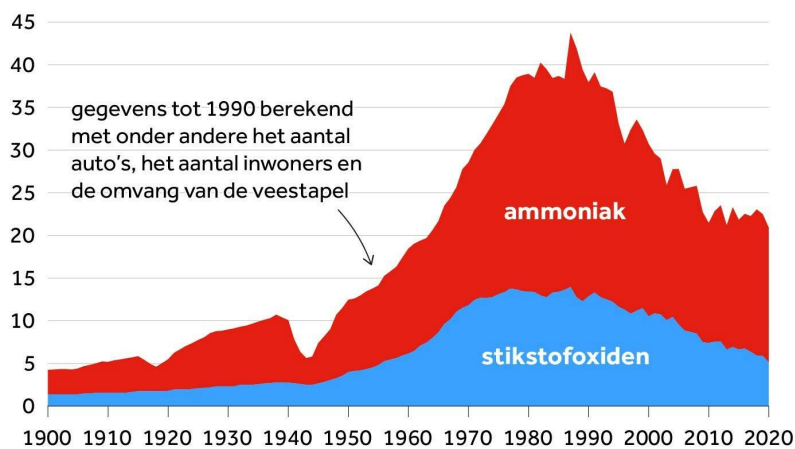
Ozon kan onder bepaalde omstandigheden (weinig tot geen wind en regen) als het ware blijven hangen in de lucht (GGD leefomgeving, 2020). De ozon verzamelt zich dicht op het aardoppervlak. Naast de hoge ozonconcentratie, die op zichzelf al schadelijk is, blijven er ook veel vervuilende deeltjes hangen in de lucht. De vervuilde smog hangt in het leefgebied van veel organismen en dit brengt gezondheidsrisico's met zich mee (RIVM, z.d.). Door smog kunnen gezondheidsklachten ontstaan zoals hart- en vaatziekten en longklachten. Ook fijnstofdeeltjes blijven in smog hangen, wat veel risico's met zich mee brengt.

§2.4 veranderingen in luchtkwaliteit

Uitvindingen als de stoomtrein, stoomboot en het vliegtuig kleurden de afgelopen eeuwen de wereld zwart. Door de industriële revolutie is de wereld steeds meer gaan draaien op het gebruik van fossiele brandstoffen die een negatief effect hebben op de luchtkwaliteit van de aarde (Scientias, 2017). Mettertijd werden de negatieve effecten op de aarde duidelijk en in 1992 werd door de Verenigde Naties het eerste klimaatverdrag ondertekend. Regeringen van landen kunnen door dit verdrag gezamenlijk acties ondernemen om uitdagingen voor het verbeteren van het klimaat aan te gaan (Rijksoverheid, 2022.). In Nederland is er sinds 1990 een sterke afname van zowel de stikstofoxide als de ammoniak en dit is een stap in de goede richting.

Sterke afname stikstof vanaf de jaren negentig

Depositie van stikstof, in kilo's per hectare



Figuur 2.4: grafiek afname stikstofoxiden en ammoniak vanaf 1900.

§2.5 verschillende nieuwe oplossingen

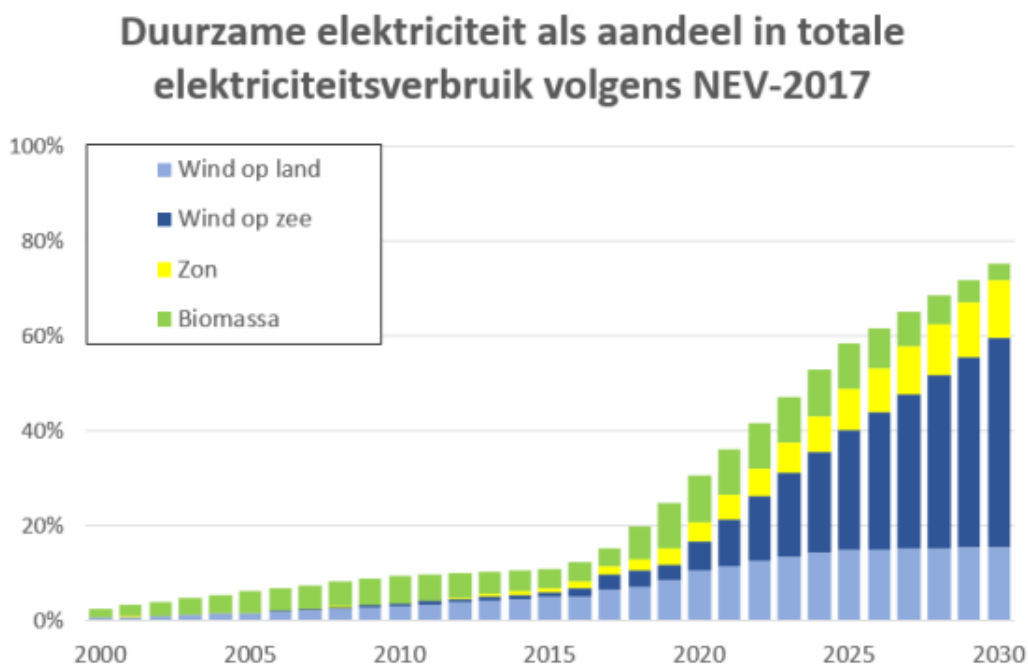
Roetfilters, ook bekend als dieselpartikelfilters (DPF's) of diesel roetfilters, zijn onderdeel van de uitlaatsysteem van veel dieselveertuigen. Ze zijn ontworpen om de uitstoot van fijnstof en roetdeeltjes te verminderen, die beide schadelijk zijn voor de luchtkwaliteit en de gezondheid van mensen.

Roetfilters werken door de uitlaatgassen te filteren voordat ze de atmosfeer bereiken. Ze gebruiken een combinatie van fysieke en chemische processen om de roetdeeltjes op te vangen (ANWB, 2022).

Het verkleinen van de veestapel kan helpen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen omdat de rundvee-industrie een belangrijke bron van deze gassen is. Rundvee produceren methaan, een krachtig broeikasgas. Door het aantal veedieren te verminderen, zal de uitstoot van deze schadelijke gassen ook afnemen (Greenpeace, 2022).

Klimaatzones in steden zijn gebieden waarbij beperkingen worden opgelegd aan het verkeer, met als doel de uitstoot van schadelijke stoffen te verminderen. Dit kan bijvoorbeeld door het verbieden van bepaalde soorten voertuigen, het invoeren van tolgelden of het beperken van het aantal ritten dat mag worden gemaakt. Door deze maatregelen kan de uitstoot van kooldioxide en andere schadelijke stoffen worden verminderd, wat kan bijdragen aan een beter milieu in steden. Bovendien kan het ook leiden tot een vermindering van het aantal files en een verbetering van de luchtkwaliteit, wat weer positief kan zijn voor de gezondheid van de bewoners van de stad (milieucentraal, z.d.) (milieudefensie, z.d.).

De afgelopen decennia wordt er steeds meer rekening gehouden met de uitstoot van vervuilende stoffen. Nieuwe technologieën en oplossingen spelen hierin een grote rol. Het dieselgebruik is in de afgelopen jaren sterk verminderd door diverse overheids campagnes en maatregelen. Nieuwe energiebronnen zoals windenergie en zonne energie nemen het stokje over (CBS, 2022.).



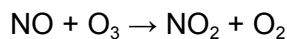
Figuur 2.4: Aandeel hernieuwbare energie in totale elektriciteitsverbruik

Hoofdstuk 3: Hoe wordt luchtkwaliteit gemeten?

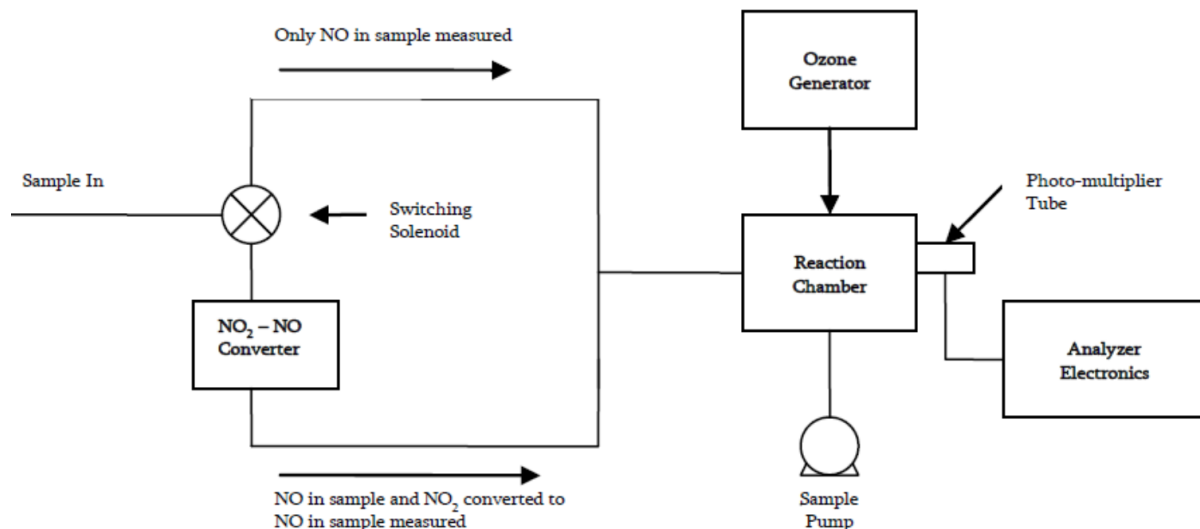
Voor het begin over de werking van sensoren die luchtkwaliteit meten, is het belangrijk om te weten dat er verschillende manieren zijn om concentraties aan te geven. Men kan bijvoorbeeld de concentratie meten in milli- of microgram per kubieke meter, deze eenheid wordt gebruikt bij het meten van de fijnstof (PM) concentratie. Daarentegen zijn de eenheden die verreweg het meest worden gebruikt in de wereld van de sensoren de eenheden ppm (parts per million) en ppb (parts per billion). Dit geeft aan hoeveel op een miljoen of een miljard deeltjes bestaat uit het deeltje dat wordt gemeten. ppb een veel nauwkeurigere maat dan ppm, want dit geeft de hoeveelheid per één miljard deeltjes aan, in plaats van per één miljoen deeltjes (NSW government, 2020).

§3.1 Stikstofdioxide sensoren (NO₂):

Bij het meten van de NO₂ concentratie in de lucht wordt er vaak gebruik gemaakt van een chemiluminescentie-analysator. Een chemiluminescentie-analysator zuigt de buitenlucht naar binnen en laat daar de stikstofmonoxide (NO) reageren met ozon (O₃) om zoutstikstofdioxide (NO₂) te vormen.



Bij deze reactie komt er energie in de vorm van licht vrij, dit licht wordt vervolgens gemeten en hiermee kan vervolgens de concentratie NO₂ worden berekend (Care4Air, z.d.).



Figuur 3.1: Een schematische tekening van de werking van een chemiluminescentie-analysator voor het bepalen van de NO₂ concentratie.

Zoals te zien in figuur 3.1 wordt de lucht aan de linkerkant de sensor ingezogen. Vervolgens wordt het luchtmonster in twee groepen verdeeld, de eerste groep wordt direct doorgevoerd naar de reactie kamer waar de NO reageert met O₃ en NO₂ wordt gevormd. De andere helft van het monster wordt eerst door een converter gehaald waarin de NO₂ wordt omgezet in NO, vervolgens wordt ook dit monster naar de reactie kamer geleid en ook hier reageert de NO met O₃ om NO₂ te vormen. Tenslotte wordt van beide monsters het vrijgekomen licht

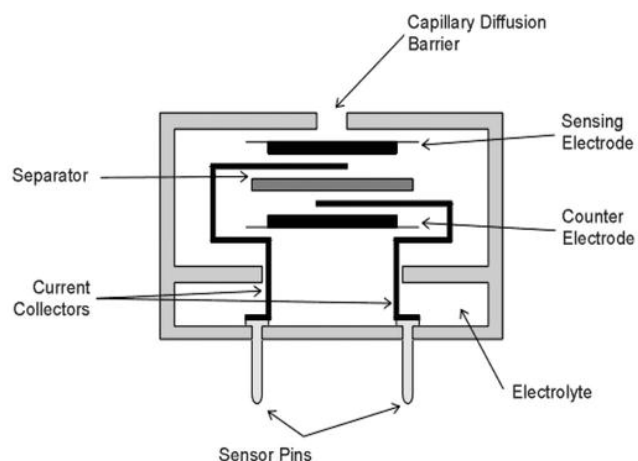
gemeten en wordt er gekeken naar het verschil in vrijgekomen licht bij beide monsters. Met dit verschil kan vervolgens bepaald worden hoeveel NO_2 er in het tweede monster is omgezet in NO en dus wat de concentratie NO_2 in de lucht is (Monitoring Solutions, 2017).

§3.1.1 Elektrochemische sensor

Een andere en veel gebruikte sensor is een elektrochemische sensor. Deze sensor bestaat uit vier belangrijke onderdelen. De werkelektrode, de tegenelektrode, het membraan en het electrolyt. De sensor werkt door de stof die je wilt meten te laten reageren waardoor er elektrische signalen vrijkomen die proportioneel zijn aan de concentratie van de stof die je wilt meten. Deze signalen worden gemeten en daarmee wordt de concentratie bepaald. Aan de bovenkant van de sensor bevindt zich een gat waardoor de lucht naar binnen kan stromen. De grootte van dit gat heeft veel invloed op de meetwaarden van de sensor. Een groot gat levert een betere resolutie en een betere gevoeligheid op, maar een kleiner gat levert een groter bereik op (How Do Electrochemical Sensors Work?, z.d.).



Figuur 3.2: Een foto van een elektrochemische sensor.



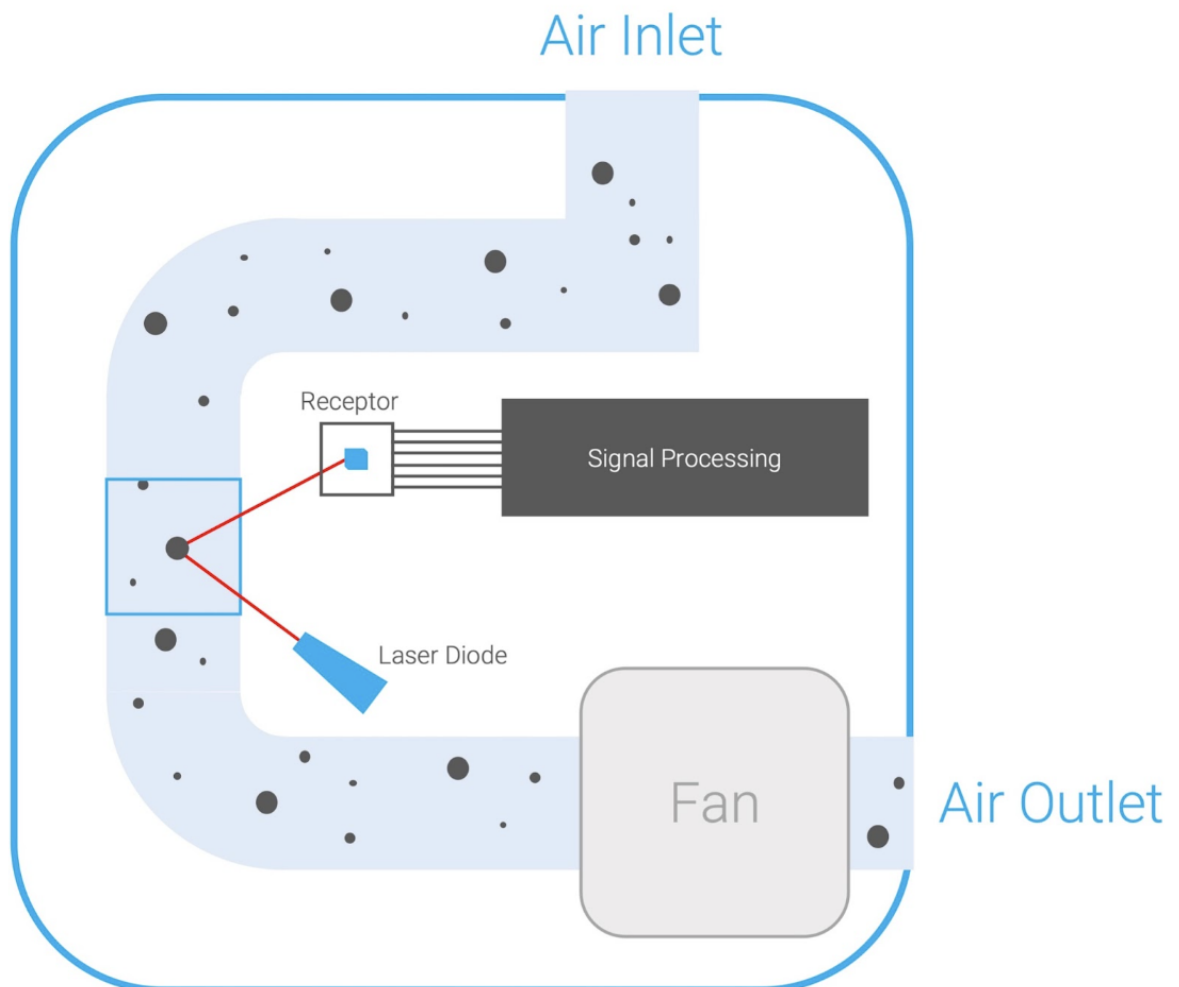
Figuur 3.2: Een schematische tekening van een elektrochemische sensor.

Zoals in de figuren 3.2 en 3.3 te zien is zit er over het gat aan de bovenkant van de sensor een membraan, dit membraan filtert de buitenlucht en zorgt er voor dat er geen ongewenste deeltjes in de sensor belanden. Eenmaal in de sensor reageren de deeltjes die je wilt meten (in dit geval NO_2) bij de werkelektrode. Bij deze reactie worden er elektronen opgenomen of afgestaan waardoor er een elektrische stroom ontstaat. Deze stroom wordt doorgegeven naar de sensor pins waar hij uitgelezen kan worden om verder verwerkt te worden (Elektrochemische Gas-Sensoren – Membrapor, z.d.).

§3.2 Fijnstofsensoren (PM):

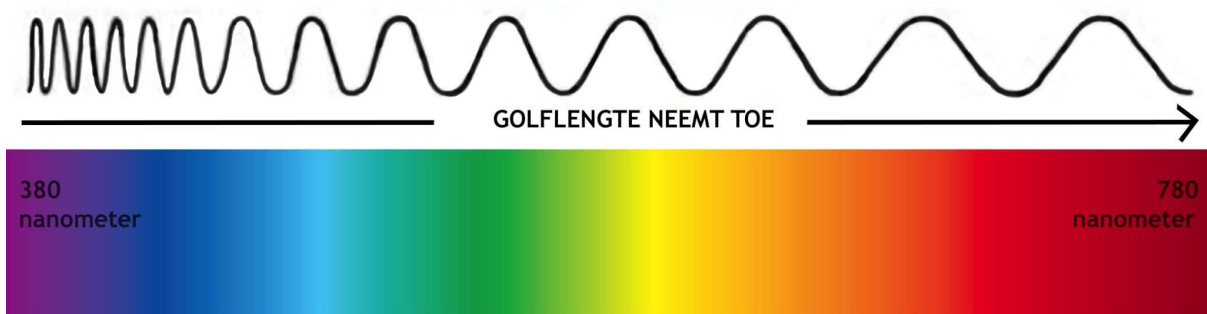
Fijnstof is niet één element maar het is een verzamelnaam voor allerlei kleine deeltjes, deze deeltjes worden aangegeven met PM wat een afkorting is voor 'particulate matter' (Engels voor fijnstof). Naast de PM staat vaak nog een subscript, dit getal geeft aan hoe groot de fijnstofdeeltjes zijn waar je het over hebt (bijvoorbeeld $PM_{2.5}$ en PM_{10}).

De twee meest voorkomende fijnstofsensoren zijn PM_{10} en $PM_{2.5}$. De PM_{10} meet deeltjes die kleiner zijn dan 10 micrometer en de $PM_{2.5}$ meet deeltjes die kleiner zijn dan 2,5 micrometer. Er zijn verschillende methodes die worden gebruikt om fijnstof te meten. Een van de meest gebruikte methodes is door middel van lichtverstrooiing, hierbij is er in de sensor een laser aanwezig die licht uitstraalt (EPA Victoria, 2019). De luchtstroom wordt door de lichtstraal van deze laser gevoerd, hierbij wordt de laser onderbroken door de fijnstof deeltjes. Vervolgens wordt het licht weer opgevangen en wordt er bepaald hoeveel en hoe groot de deeltjes in de luchtstroom waren. Om de buitenlucht in de sensor te krijgen is er systeem nodig dat de lucht naar binnen zuigt, bij de meeste fijnstofsensoren is dit een ventilator of een pomp. Ook is het belangrijk dat de weg die de lucht binnen de sensor af moet leggen niet te scherpe bochten heeft, anders kan het gebeuren dat grote fijnstof deeltjes blijven haken, zich ophopen en zo de sensor kunnen verstoppen.



Figuur 3.4: Een schematische tekening van de werking van een fijnstof (PM) sensor.

De intensiteit van het licht dat de detector opvangt staat niet in direct verband met de grootte van de fijnstofdeeltjes. Er zijn veel factoren die invloed hebben op de accurate van de fijnstofsensoren, zo heeft de golflengte van de laser een grote invloed, de hoek tussen de laser en de detector en wat voor soort fijnstofdeeltje het is. Doordat al deze factoren invloed hebben op de meting kan het voorkomen dat twee verschillende deeltjes op dezelfde manier gedetecteerd worden, om dit te voorkomen kan je gebruikmaken van meerdere lasers maar dit drijft de kosten wel op dus in goedkopere sensoren wordt vaak maar één laser gebruikt. Ook kan er gebruik worden gemaakt van spiegels om de laser te concentreren maar ook dit maakt de sensor duurder en metertijd zullen ze vies worden en moeten ze worden vervangen. Er zijn drie soorten lasers die vaak worden gebruikt in fijnstofsensoren: een rode, blauwe en witte laser. De rode laser is het goedkoopst en heeft de grootste golflengte, hierdoor kan hij minder goed kleinere deeltjes meten. De blauwe laser heeft een kleinere golflengte en is daarmee juist weer goed in kleinere deeltjes meten, maar hij is dan weer minder goed in grotere deeltjes meten. En ten slotte heb je nog de witte laser, de witte laser bestaat uit veel verschillende golflengtes en heeft dus geen problemen met grote of kleine deeltjes maar hij is wel weer een heel stuk duurder dan de andere lasers. Dat verschillende kleuren lasers verschillende grootte van deeltjes beter of slechter kunnen detecteren komt door de golflengte die wordt gebruikt.



Figuur 3.5: De relatie tussen de kleur van het licht en de golflengte.

Zoals in figuur 3.5 te zien is heeft rood dus een relatief grote golflengte waardoor als hij tegen groot deeltje aan botst zal worden weerkaatst, maar als het een klein deeltje tegenkomt zal de golf er langs gaan. Het omgekeerde geldt voor kleine golflengtes (Attune, z.d.).

§3.3 Ozon sensoren (O₃):

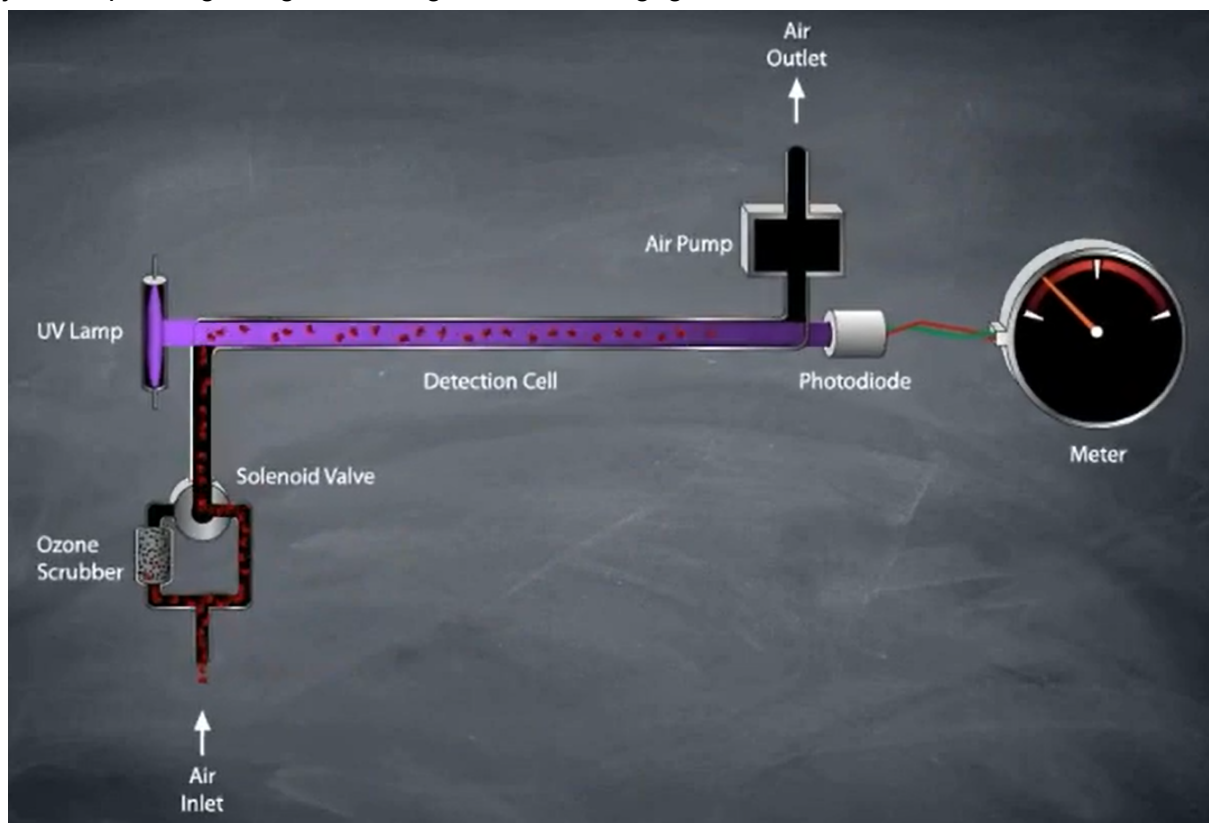
Er zijn twee meetmethodes die veel worden gebruikt in O₃ (ozon) sensoren. Dit zijn de elektrochemische sensoren en de heated metal oxide sensoren (HMOS) (aeroqual, 2016).

Elektrochemische sensoren

De elektrochemische sensor voor O₃ (ozon) werkt eigenlijk precies hetzelfde als elke andere elektrochemische sensor en hij werkt dus ook hetzelfde als de elektrochemische sensor die gebruikt wordt bij het meten van NO₂. Hoe dit precies in zijn werk gaat kan teruggelezen worden bij het stuk over de elektrochemische stikstofsensor in paragraaf 3.1.1 (How Do Electrochemical Sensors Work?, z.d., Elektrochemische Gas-Sensoren – Membrapor, z.d., Crowcon, 2022).

UV absorptie sensoren

Deze meetmethode van ozon werkt door het meten van de absorptie van UV licht door ozon (2B Technologies, 2021). Ozon is het best in het absorberen van elektromagnetische straling met een golflengte van 253,7 nm, deze golflengte valt binnen het spectrum van UV straling (Renke, 2021). Voor het meten van de concentratie ozon in de lucht met UV absorptie, heb je een opstelling nodig zoals in figuur 3.6 is weergegeven.



Figuur 3.6: Een schematische tekening van de werking van een Ozon (O₃) sensor op basis van UV absorptie.

Het centrale deel van de sensor is de detectiecel met de UV-lamp en de fotodiode. Aan het begin van de detectiecel is de UV-lamp bevestigd die parallel aan de buis straalt en aan het einde van de detectie cel is de fotodiode bevestigd die het uitgestraalde licht van de lamp opvangt en omzet in een elektrisch signaal. Aan het einde van de buis zit een ventilator bevestigd die er voor zorgt dat er constant nieuwe lucht de sensor in wordt gezogen. Bij de

kant waar de lucht de sensor in wordt gezogen is een T-splitsing bevestigd die er voor zorgt dat de lucht om de zoveel seconden via de ene kant en om de zoveel seconde via de andere kant loopt. Aan de ene kant van de splitsing loopt de lucht door een buis waar de ozonmoleculen onschadelijk worden gemaakt zodat ze niet meer gemeten kunnen worden door de sensor. Aan de andere kant van de T-splitsing wordt alle lucht gewoon doorgelaten. Vervolgens komt de lucht in de detectiecel terecht waar de lucht wordt bestraald met het UV licht met een golflengte van 253,7 nm (Renke, 2021). De gemeten absorptie van de lucht zonder de ozonmoleculen wordt gebruikt als een nulmeting. Vervolgens wordt de lucht met de ozonmoleculen door de detectie cel gevoerd, de ozonmoleculen in deze lucht zullen een deel van de UV straling absorberen waardoor de photodiode minder UV straling zal opvangen. Uit het verschil tussen de absorptie van de lucht met en de lucht zonder ozonmoleculen kan de concentratie ozon worden berekend (2B Technologies, 2021).

Hoofdstuk 4: Sensoren voor de luchtkwaliteit

Voor het bepalen van de luchtkwaliteit met behulp van het meetstation, is het essentieel dat er door middel van sensoren de concentraties van NO₂, fijnstof en O₃ worden gemeten. Voor elk van deze stoffen zijn er andere soorten sensoren toepasbaar.

§4.1 Functie en gebruik NO₂ sensor

Met behulp van een NO₂ sensor kan, zoals eerder vermeld, de concentratie van NO₂ in de omringende lucht worden bepaald. Deze concentratiebepaling kan verschillende doeleinden hebben. Het gebruik van de sensor en de doeleinden van het datagebruik dicteren over het algemeen de specificaties van de sensor.

In de industrie heeft men vaak te maken met hogere concentraties NO₂. Dit komt voornamelijk doordat hier hoge temperaturen en druk voorkomen, wat het ontstaan van stikstofoxiden in de hand speelt (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], z.d.-e). Naast deze ongepland ontstane stikstofverbindingen zijn ook opzettelijk gemaakte moleculen in groten getale aanwezig. Bij productieprocessen kan onder andere NO₂ als bijproduct of afvalstof ontstaan. Aangezien deze stof in te grote mate giftig is, is het van belang om de concentraties in de lucht goed te monitoren wanneer dit soort stoffen zich in een gesloten ruimte bevinden (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], z.d.-a). Voor de veiligheidstoepassing in de industrie is nauwkeurigheid van de sensor een lagere prioriteit. Het is immers belangrijker om te weten of er een te hoge concentratie van giftige stoffen is, dan precies te weten hoeveel er van die stof is. Een grotere nauwkeurigheid is daarentegen nog steeds gewenst, omdat de oorzaak van de te hoge concentratie dan eerder gevonden kan worden. Zo is de locatie van een leidinglek makkelijker te bepalen met meerdere nauwkeurige sensormetingen. Tot slot is het ook belangrijk dat een sensor in deze omstandigheden bestand is tegen de hoge concentraties stikstofoxiden die in de omgeving voorkomen.

Een andere toepassing van NO₂ metingen is te vinden binnen de milieuwetenschappen. Hier worden de metingen voor wetenschappelijke doeleinden gebruikt in plaats van voor veiligheidstechnische. In Nederland worden de meeste stikstofmetingen uitgevoerd door het rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu. Het RIVM monitort de concentraties van verschillende stikstofverbindingen in de lucht door middel van verschillende meetstations verspreid over Nederland (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], z.d. -d). Het is belangrijk om de hoeveelheid van de verschillende stikstofverbindingen in de lucht te weten, omdat hierdoor de gezondheid van de natuur en mensen kan worden aangetast. De stikstofconcentraties zijn in de buitenlucht aanzienlijk lager wanneer deze vergeleken worden met de hoeveelheden die te meten zijn in de industrie. Het gemiddelde van de concentratie van stikstofoxiden lag in 2022 namelijk onder de 40 µg/m³(dit komt overeen met 0,021 ppm) (Compendium voor de Leefomgeving [CLO], z.d.). Voor stikstofmetingen voor milieudoeleinden zijn dan ook sensoren nodig die met veel kleinere concentraties succesvolle metingen kunnen uitvoeren. Een andere tegenstelling met sensoren in de industrie is de vraag naar nauwkeurigheid. Zoals eerder gezegd is het in de industrie vooral belangrijk dat er een kwantitatieve meting wordt gedaan. Daarentegen is het voor

analysedoeleinden veel belangrijker dat een goede kwalitatieve meting wordt uitgevoerd. De nauwkeurigheid is in deze sensoren dus een zeer belangrijke factor. Tot slot is er veel variatie in de meetomstandigheden waarin gemeten wordt. In de industrie kunnen factoren zoals temperatuur en luchtverplaatsing relatief constant gehouden worden. In de buitenlucht is dit vrijwel niet mogelijk. Zo varieerde de temperatuur van de buitenlucht in 2021 tussen de $-16,2^{\circ}\text{C}$ en $34,0^{\circ}\text{C}$ (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI], z.d. -a). De sensor moet dus in een grotere diversiteit van omstandigheden kunnen werken.

§4.2 Uitgangspunten en eisen NO₂ sensor

De meetomstandigheden die horen bij onze meting vallen onder de milieu wetenschappelijke eisen. Het doel van het meetstation is namelijk om een kwantitatieve bepaling te maken van het stikstofdioxidegehalte in de lucht. Naast de uitgangspunten van de milieutechnische sensoren zijn er voor het ontwerp van het meetstation nog een aantal andere eisen waaraan moet worden voldaan.

Een van de voornaamste factoren die een rol speelt bij de selectie van sensoren bij het ontwerpen van dit meetstation is ruimte. Aangezien de gehele verzameling van elektronica maar beperkte ruimte mag innemen, is het belangrijk dat de sensoren zo klein mogelijk zijn. Verder is ook meetsnelheid een cruciale eis. Gezien het feit dat de vluchttijd hooguit enkele minuten is, moet de sensor binnen afzienbare tijd gegevens kunnen verzamelen. Ook zal de sensor nauwkeurig genoeg moeten zijn om metingen uit te voeren in de buitenlucht. Tot slot is er ook een budget limitatie. De prijs van een sensor zal niet erg hoog moeten zijn. Wanneer dit toch noodzakelijk is, zal er op andere vlakken bezuinigd moeten worden, zodat de totale kosten nog binnen het budget vallen.

§4.3 Keuze tussen NO₂ sensoren

Er zijn een aantal sensoren die in aanmerking komen voor gebruik binnen een meetstation. Hieronder staat elk van de mogelijke opties met een korte toelichting:

De Alphasense NO₂-B43F is een zeer compacte sensor van het merk Alphasense. Met een diameter van 32,3 en een hoogte van 13,5 mm is deze toepasbaar in onze situatie. Ook de nauwkeurigheid van deze sensor zou voldoende zijn (Alphasense, z.d.). Daarnaast wordt deze sensor ook nu experimenteel gebruikt door het RIVM en zij raadt deze sensor ook aan voor particulieren (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], z.d.-c). Daarentegen ligt de prijs van deze sensor voor dit project tamelijk hoog (+€170,-), waardoor deze sensor slecht op te nemen valt in het budget. Ook de reactietijd van deze sensor is een struikelpunt. Het kan namelijk langer dan tachtig seconden duren voordat de sensor bruikbare metingen kan maken.



Figuur 4.1: een NO₂ sensor van alphasense (Alphasense, z.d.)

Memrapor NO₂ C1

De Memrapor NO₂ C1 heeft vergelijkbare afmetingen wanneer vergeleken met de Alphasense: een diameter van 32 en een hoogte van 15,4 mm. De nauwkeurigheid is van een nog grotere orde: met concentraties onder 2 ppm heeft deze sensor een afwijking van maximaal 0,01 ppm. Ook de reactietijd van deze sensor is significant beter: binnen tien seconden zouden er succesvolle metingen gedaan kunnen worden (Memrapor, z.d.). Daarentegen is de



Figuur 4.2: NO₂ sensor van membrapor (Memrapor, 2020)

verkrijgbaarheid van deze sensor een grote tegenvaller. Deze is namelijk alleen bij specifieke bedrijven te krijgen. Hierdoor zou deze slecht bruikbaar zijn binnen ons project.

MICS-2714

De MICS-2714 sensor is een zeer klein formaat (5 x 7 x 1,55mm). Wanneer deze op een breakout board wordt geplaatst is deze uitstekend bruikbaar qua formaat in dit project. Ook de prijs, om en nabij de €25,-, valt binnen de limitaties. Deze prijs brengt daarentegen een nadeel met zich mee: de nauwkeurigheid van de sensor is flink lager vergeleken met de twee eerder genoemde sensoren (ongeveer +/- 0,5 ppm).

Hierdoor zullen de metingen minder betrouwbaar zijn, maar mogelijk nog wel bruikbaar. Naast stikstofdioxide heeft deze sensor ook de mogelijkheid om waterstof te meten. De



Figuur 4.3: MICS 2714 sensor op breakout (mouser, 2022)

grenswaarde van deze tweede gemeten stof is daarentegen zo hoog, dat hier hoogstwaarschijnlijk geen metingen mee kunnen worden uitgevoerd (SGX sensortech, z.d.).

MICS-4514

De MICS-4514 is een sensor die zeer vergelijkbaar is met de MICS-2714. Met gelijke afmetingen, prijs en nauwkeurigheid zou deze sensor dezelfde rol kunnen vervullen als de vorige. Het verschil met de vorige sensor is het soort stoffen dat deze kan meten. Deze sensor kan naast NO₂ en H₂ namelijk ook CO, ethanol, ammoniak en methaan meten. Wederom zijn de grenswaarden van deze stoffen waarschijnlijk te hoog om hier nuttige metingen uit te krijgen (SGX sensortech, z.d.-b).

MICS-6814

De MICS-6814 is net als de MICS-4514 een vergelijkbare sensor met de MICS-2714. Wederom zijn de afmetingen, prijs en nauwkeurigheid gelijk, maar deze sensor kan naast de genoemde stoffen bij de MICS-4514 ook nog propaan en isobutaan meten (SGX sensortech, z.d.-c).



Figuur 4.5: MICS 6814 op breakout (kiwi electronics, z.d.)

Eigenschappen /Sensor	Alphasense NO2-B43F	Membrapor NO2 C1	MICS-2714	MICS-4514	MICS-6814
Prijs	-	-	+	+	+
Ruimtegebruik	+	++	++	++	++
gewicht	+	+	+	+	+
Gebruiksgemak	-	--	++	++	++
bereik	++	++	+	+	+
nauwkeurigheid	+	++	-	-	-
meetsnelheid	--	++	+	+	+

Figuur 4.6: Vergelijkingstabel NO₂ sensoren

Voor gebruik binnen dit project is de MICS-6814 het meest geschikt. Door de kleine afmetingen en lage prijs is deze goed toepasbaar. Hoewel de Alphasense en Membrapor sensoren een hogere nauwkeurigheid hebben, zij deze door de verkrijgbaarheid, het gebruiksgemak en de budgetrestricties niet voldoende toepasbaar. Tot slot meet de MICS-6814 meer soorten stoffen wanneer vergeleken met de MICS-4514 en MICS-2714, zonder in te leveren op het gebied van nauwkeurigheid.

§4.4 Functie en gebruik fijnstofsensor

Fijnstofsensoren zijn sensoren die de hoeveelheid vaste deeltjes in de lucht meten. Het is in verschillende gevallen nuttig om te weten hoeveel van deze deeltjes zich in de lucht

bevinden. Fijnstofsensoren, ofwel PM sensoren, kunnen onder andere gebruikt worden voor het bepalen van de efficiëntie van machines, de hoeveelheid fijnstof die er aanwezig is in de machine, het waarborgen van veiligheid in een industriële omgeving en het monitoren van de luchtkwaliteit (Samyoung, z.d.).

PM sensoren worden tegenwoordig steeds vaker gebruikt in lucht regulerende systemen, zoals airco's en luchtfilters. In dit soort systemen is het belangrijk om te weten hoeveel fijnstof er aanwezig is, omdat hierdoor het systeem een andere werking kan aannemen. Zo kan een airco overgaan op recirculatie van de binnenlucht in een gebouw en stoppen met de buitenlucht gebruiken als er blijkt dat de deze vervuild is. Andersom zou natuurlijk ook het geval kunnen zijn: de sensor merkt dat de PM waarde buiten lager is dan binnen en voert dus buitenlucht aan. Op deze manier kunnen slimme systemen gemaakt worden die de luchtkwaliteit binnen een ruimte optimaal houden (Sensorion, z.d.).

Voor dit soort apparaten zijn er een aantal punten waarop de fijnstofsensor goed moet functioneren. De sensor moet bijvoorbeeld een tamelijk klein formaat hebben, omdat hij in een huishoudelijk apparaat moet kunnen passen. Daarnaast moet deze ook snel metingen uit kunnen voeren met een relatief klein monster. Tot slot is ook de prijs een factor, omdat de apparaten wel betaalbaar moeten blijven (Omron, 2019).

Fijnstofsensoren hebben ook veiligheids toepassingen. In de industrie wordt namelijk vaker met giftige of kleine stoffen gewerkt die in de lucht terecht kunnen komen. Wanneer deze ingeademd worden is dit zeer slecht voor de gezondheid. Het is dus belangrijk om de lucht in de omgeving van plekken waar deze stoffen ontstaan goed te monitoren. In bijvoorbeeld rookmelders wordt hetzelfde principe als de fijnstofsensor gebruikt om rook te detecteren. Voor sensoren met veiligheidsdoeleinden is vooral meetsnelheid een belangrijke factor. De snelheid waarmee een te hoge PM concentratie wordt gemeten is cruciaal voor de veiligheid. De nauwkeurigheid is voor dit type sensoren minder belangrijk, omdat het minder erg is als er incidenteel een vals alarm is, zolang er bij een daadwerkelijk te hoge waarde wel alarm wordt geslagen.



Figuur 4.7: Een optische rookmelder (*De optische rookmelder werking, types en aanschaffen*, 2018)

Verschillende organisaties gebruiken fijnstofsensoren om de luchtkwaliteit te monitoren. Een van de grootste organisaties die de luchtkwaliteit in de gaten houdt, is het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], 2011). Het RIVM gebruikt in haar meetstations ook fijnstofsensoren om hiermee het gehalte fijnstof, vooral in stedelijke gebieden en rond grote fijnstof bronnen zoals snelwegen en vliegvelden, te controleren. Het RIVM meet de hoeveelheid fijnstof omdat dit schadelijk kan zijn voor de gezondheid van mens, dier en milieu. Voor het RIVM is vooral de nauwkeurigheid van de sensoren een belangrijke factor. De meetsnelheid is hier veel minder significant.

§4.5 Uitgangspunten en eisen fijnstofsensor

Voor het gebruik in de CanSat vallen de eisen voornamelijk onder de luchtkwaliteit technische eisen. Voor het gebruik van een fijnstofsensor in de CanSat zijn er een aantal

andere eisen waarmee rekening moet worden gehouden. De voornaamste hiervan is de afmeting. De sensor moet namelijk binnen de maximale inhoud passen. Ook is het gewicht een factor die meegenomen wordt in de overweging, omdat er een maximumgewicht is opgelegd voor de CanSat. Daarnaast zijn prijs en nauwkeurigheid ook factoren, maar deze hebben een lagere prioriteit dan de afmeting en gewicht.

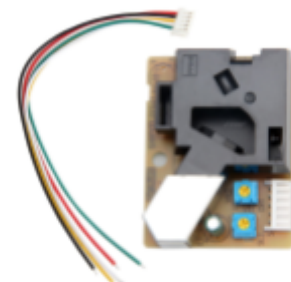
§4.6 Keuze tussen fijnstofsensoren

De Samyoung DSM501A is een optische PM sensor voor PM_1 tot $PM_{2,5}$ deeltjes. De afmetingen van deze sensor zijn 58,80 mm in lengte, 44,55 mm in breedte en 16,8 mm in hoogte. Met een prijs van €8.- is dit een zeer kostenefficiënte sensor. De sensor heeft een minimumtemperatuur van $-10^{\circ}C$ en een maximum van $65^{\circ}C$. Het gewicht van de sensor is ongeveer 25 g Ook heeft de sensor een minuut nodig om te stabiliseren (Samyoung, z.d.). De meeste eigenschappen van deze sensor zijn uitstekend voor gebruik in dit project. Door de lage prijs, het temperatuurbereik en nauwkeurigheid, zou deze sensor goed toepasbaar zijn. Daarentegen zijn de tijd die het kost om valide metingen te produceren en het formaat onaanvaardbare eigenschappen, waardoor deze sensor niet gebruikt zal worden bij dit project.



Figuur 4.8: optische fijnstofsensor van Samyoung (Tinytronics, z.d.-a)

De Shinyei PPD42NS is goed te vergelijken met de Samyoung DSM501A. De afmetingen (59 mm × 45 mm × 22 mm) en de grootte van de PM die gemeten wordt (PM_1 - $PM_{2,5}$) zijn vrijwel identiek. Het temperatuurbereik is daarentegen kleiner ($0^{\circ}C$ - $45^{\circ}C$). Het gewicht van deze sensor ligt lager: dit is 24 g. (Shinyei, 2010; Shinyei, 2013). De sensor heeft dezelfde tekortkomingen als de Samyoung DSM501A: het formaat is groot. Wanneer de afstand van hoekpunt naar hoekpunt wordt gemeten, is deze groter dan 66 mm, de diameter van de CanSat (zie §1.1). Hierdoor zal deze niet goed in de CanSat gepast kunnen worden. en deze heeft een opwarmingstijd van 1 minuut. Hierdoor is deze sensor ook niet goed bruikbaar voor dit project.



Figuur 4.9: Shinyei optische fijnstofsensor (Tinytronics, z.d.-c)

De Sharp GP2Y1014AU0F is ook een optische fijnstofsensor voor $PM_{2,5}$. Het temperatuurbereik is van $-10^{\circ}C$ tot $65^{\circ}C$. Het gewicht en de afmetingen zijn significant kleiner dan de twee sensoren die hiervoor genoemd zijn. Het gewicht is slechts 16 g en de sensor heeft een lengte van 46,0 mm, een breedte van 30,0 mm en een hoogte van 17,6 mm (Sharp, 2015). Door dit kleinere formaat en het lagere gewicht, is deze sensor veel meer geschikt voor het gebruik binnen ons project dan de andere opties.



Figuur 4.10: Sharp optische fijnstofsensor (Tinytronics, z.d.-b)

Eigenschappen/ Sensor	Samyoung DSM501A	Shinyei PPD42NS	Sharp GP2Y1014AU0F
Prijs	+	+	+
Ruimtegebruik	--	--	+
gewicht	+	+	++
Gebruiksgemak	+	+	+
bereik	+	-	+
nauwkeurigheid	+	+	+
meetsnelheid	-	-	+

Figuur 4.11: Vergelijkingstabel fijnstofsensoren

Door de significant kleinere afmetingen en het kleinere gewicht van de Sharp GP2Y1014AU0F is deze het meest geschikt voor gebruik binnen dit project, doordat deze sensor deze voordelen heeft, zonder op andere vlakken in te leveren.

§4.7 Functie en gebruik O₃ sensor

Ozonsensoren meten door middel van verschillende principes de concentratie van ozon (O₃) in de omgeving. Er zijn verschillende doeleinden waarvoor ozonmetingen verricht moeten worden. Voor elk van deze doeleinden zijn verschillende eisen voor de werking van de sensor. Ozonsensoren worden onder andere gebruikt voor het bepalen van de efficiëntie van ozongeneratoren, het waarborgen van de veiligheid rond ozongeneratoren en het monitoren van de luchtkwaliteit.

Ozongeneratoren worden steeds vaker gebruikt. Ozongeneratoren worden gebruikt om ozon te produceren vanuit lucht. Deze ozon wordt vervolgens gebruikt voor verschillende doeleinden. Zo kan ozon bijvoorbeeld gebruikt worden voor het ontsmetten en reinigen van oppervlakken en zelfs hele kamers. Dit is mogelijk, omdat ozon een relatief reactieve stof is en dus snel andere stoffen oxideert. Ozon kan door deze eigenschap ook virussen onschadelijk maken, waardoor het geschikt is om te gebruiken voor ontsmettingsdoeleinden (Lenntech, z.d.). In de omgeving van dit soort ozongeneratoren kan er dus een verhoogde concentratie ozon voorkomen. Gezien de schadelijke gezondheidseffecten hiervan is het nuttig om sensoren te gebruiken en zo de veiligheid rond deze machines te waarborgen (aeroqual, z.d.). Voor deze toepassing is het onder andere belangrijk dat de ozonsensor snel metingen uitvoert en, zeker rond de grenswaarde van 0,12 mg/m³, nauwkeurig meet (Ser, 2006). Doordat de ozongeneratoren vaak mobiel zijn en zelf niet veel ruimte innemen, is het ook nuttig als de ozonsensor een klein formaat heeft, maar dit is niet essentieel, aangezien de meeste sensoren van dit type al weinig ruimte innemen.



Figuur 4.12: Digitale ozongenerator (Ozongenerator - 10.000 mg/h - 110 Watt - digitaal, z.d.)

Naast de veiligheidstoepassing rond ozongeneratoren worden ozonsensoren ook gebruikt om de opbrengst van ozongeneratoren te bepalen. Voor het verbeteren van deze apparatuur zijn dit essentiële data. Voor deze soort toepassing zijn er andere eisen voor de sensor. Hier is de voornaamste eis dat de sensor zo nauwkeurig mogelijk meet, omdat het gewenst is dat de gegevens van de generator zo accuraat mogelijk zijn. De meetsnelheid is een veel minder belangrijke factor, omdat de te meten ozonconcentratie lang behouden kan worden. Ook de grootte van de sensor is hier veel minder belangrijk.

Tot slot worden ozonsensoren gebruikt voor milieutechnische doeleinden. Het RIVM en het KNMI doen onder andere ozonmetingen om hiermee de luchtkwaliteit te monitoren. Hiervoor maakt het RIVM gebruik van verschillende meetstations verspreid over Nederland. Sinds 2012 gebruikt het RIVM voor het analyseren van de ozonconcentratie in de lucht de Thermo 49i als sensor. Deze sensor wordt, omwille van nauwkeurigheid, elke 24 uur gekalibreerd door middel van een ozongenerator (Hafkenscheid, 2012). Deze units zijn onderdeel van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Het RIVM kan op basis van deze metingen een



Figuur 4.13: Thermo ozonalyser (Model 49i Ozone Analyzer, z.d.)

luchtkwaliteitsindex berekenen. Op basis hiervan kunnen er verschillende waarschuwingssignalen worden afgegeven aan de bevolking (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], 2017). Voor sensoren voor de metingen aan luchtkwaliteit is veruit de belangrijkste eis de nauwkeurigheid. De data van deze sensoren worden namelijk gebruikt voor natuurwetenschappelijk onderzoek, waarvoor de nauwkeurigheid een belangrijke factor is. Deze moet namelijk metingen kunnen uitvoeren rond de concentratie ozon in de lucht. Dit is ongeveer $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (dit komt overeen met 24,5 ppb) (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM], z.d.-b). De meetsnelheid en ruimtelijke inhoud zijn hier minder van belang.

§4.8 Uitgangspunten en eisen

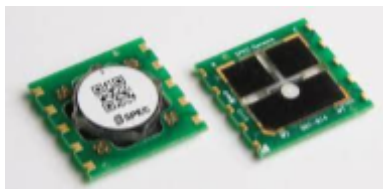
Voor gebruik in dit project zijn er andere eisen dan in de situaties die hierboven genoemd zijn. Hoewel de toepassing binnen dit project voornamelijk valt binnen milieutechnische metingen, waardoor nauwkeurigheid een belangrijke factor is, zijn ruimtegebruik, meetsnelheid en prijs grotere factoren in de sensorkeuze. Van deze factoren zijn de meetsnelheid en het ruimtegebruik de voornaamste redenen om een sensoroptie al dan niet te verwerpen.

§4.9 Keuze tussen ozon sensoren

De MQ-131 low concentration ozonsensor is een ozonsensor voor lage concentraties ozon in de lucht. De sensor heeft een hoogte van 21,5 mm en heeft een diameter van 16,0 mm. Deze sensor wordt vervolgens op een breakout board geplaatst. Met een bereik van 10-1000 ppb en een nauwkeurigheid van enkele ppb, is deze sensor goed geschikt voor het bepalen van de concentratie ozon in de buitenlucht (Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., 2014).



Figuur 4.14: lage concentratie ozon sensor (Low Concentration Ozone Gas Detection Sensor Module - MQ131, z.d.)



Figuur 4.15: 3SP_O3_20 C ozon sensor (3SP_O3_20 C Package 110-407, 2020)

De 3SP_O3_20-C is een ozonsensor voor veiligheidstoepassingen en voor het meten van luchtkwaliteit. De sensor heeft afmetingen van 20 x 20 x 3 mm, waardoor deze goed in de CanSat gebruikt zou kunnen worden. Daarentegen is de nauwkeurigheid van deze sensor een stuk minder. Verder is de sensor ook zeer gevoelig voor stikstofdioxide. Hierdoor is het moeilijker om valide metingen te maken met deze sensor (Spec Sensors, 2019).

Eigenschappen/Sensor	MQ-131 low concentration	3SP_O3_20-C
Prijs	+	+
Ruimtegebruik	-	++
gewicht	+	+
Gebruiksgemak	++	-
bereik	+	+
nauwkeurigheid	+	+

Figuur 4.16: vergelijkingstabel ozonsensoren

Binnen dit project is de MQ-131 de meest geschikte sensor, omdat de nauwkeurigheid en prijs binnen het bereik van de eisen liggen. Ook is de beschikbaarheid optimaal en vallen de afmetingen binnen de opgestelde eisen (zie §1.1).

Hoofdstuk 5: De barometer

§5.1 Introductie

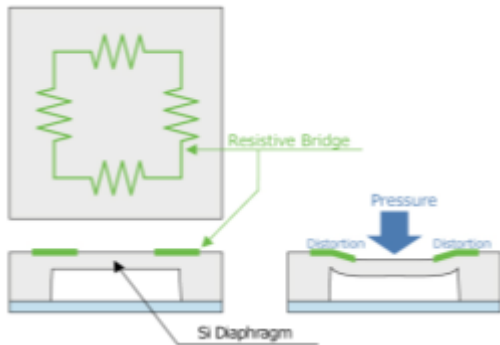
Luchtdruk is de druk die verschillende luchtlagen uitoefenen op de aarde, omdat deze lagen naar de aarde toe getrokken worden door de zwaartekracht (Britannica, 26 april 2022).

Luchtdruk wordt gemeten met behulp van een barometer, en hiervoor zijn verschillende eenheden, bijvoorbeeld:

- PSI: pounds per square inch wordt voornamelijk gebruikt in de motorsport om aan te geven hoeveel lucht er in de banden gepompt zit en in landen die het imperiaal systeem gebruiken, dit zijn:
 - De Verenigde Staten van Amerika
 - Liberia
 - Myanmar (Buchholz, 2019)
- Millimeter (of inch) kwik, wordt voornamelijk gebruikt in de medische wereld om druk aan te geven van lichaamsvloeistoffen, bijvoorbeeld bloed (Ofa-Bamberg, z.d.).
- Bar, wordt voornamelijk gebruikt in de meteorologie. 1 bar is gedefinieerd als de druk op zeeniveau. Bar wordt voornamelijk gebruikt in de weersvoorspellingen (Britannica, 2 december 2014).
- Pascal, wordt berekend als de druk die een newton aan kracht uitoefent op een vierkante meter. Dit wordt voornamelijk gebruikt om heel erg kleine verschillen in luchtdruk te meten. Voor hogere druk is een pascal te klein als maat en bestaat er de mega- en hectopascal (Awati, R. 10 mei 2022).

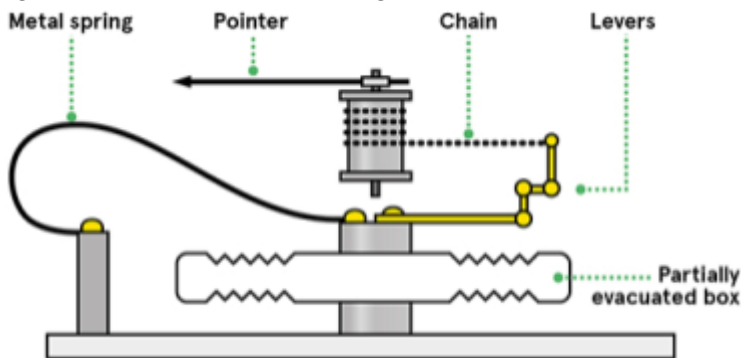
§5.2 Werking van barometers

De luchtdrukmeter meet de de druk die verschillende luchtlagen uitoefenen op de aarde door de zwaartekracht. Luchtdruk wordt bij de meeste sensoren gemeten in hectopascal (Zou, B. z.d.). Digitale barometers zijn er in veel vormen te vinden, bijvoorbeeld mechanische druk meters, keramische, Ni-Cu legering en in de Si semiconductor vorm. De meest gebruikte manier van digitaal luchtdruk meten is de Piëzo-Resistieve methode dit is onderdeel van de Si semiconductor vorm. De semiconductor is een stof die goed elektriciteit isoleert en matig geleid is. Bij de Si semiconductor vorm wordt er een siliciumkristal plaat aan de randen bewerkt zodat er een resistief circuit gevormd wordt. Deze plaat wordt, als er veel luchtdruk is, naar beneden geduwd, waardoor er een verandering van de elektrische geleidbaarheid in het resistieve circuit ontstaat. Met deze vervorming kan vervolgens zeer nauwkeurig berekend worden wat de luchtdruk is die er wordt uitgeoefend op deze sensor. Dit fenomeen waarbij de elektrische geleidbaarheid verandert, wordt het piëzo-elektrische effect genoemd. Bij veel verschillende materialen, bijvoorbeeld bij verschillende keramische stoffen en polymeren, is dit effect aanwezig. Een digitale barometer werkt het efficiëntst door silicium te gebruiken voor dit piëzo-elektrische effect.



Figuur 5.1: een visualisering van de verandering van de elektrische geleidbaarheid (Barometric pressure sensor | Electronics Basics | ROHM, z.d.)

Zie in figuur 5.1 een visualisering van de verandering van de elektrische geleidbaarheid bij een veranderende druk (Barometric pressure sensor | Electronics Basics | ROHM, z.d.). In de oudere barometers wordt de luchtdruk gemeten met behulp van kwik in een glazen buisje of met behulp van een aneroïde barometer. De luchtdruk van de buitenkant komt overeen met de luchtdruk in de buis. Als de luchtdruk dan hoog is zal het kwik omhoog worden geduwd. Een nadeel van een kwikbarometer is dat deze onbetrouwbaar is als hij niet aan het aardoppervlak is, omdat de schaalverdeling van de kwikbarometer hier niet op gebouwd is en het kwik op een gegeven moment niet meer verder kan dalen om de luchtdruk aan te geven. De aneroïde barometer werkt met behulp van een aneroïde capsule, hierin zitten verschillende veren en hefboomen die veranderen van plek als de luchtdruk verandert. Dit werkt omdat er een vacuüm heerst in de capsule en de capsule zal door de hefboomen en veren uitzetten als de luchtdruk lager wordt omdat er minder druk op de capsule staat. Zie figuur 2 voor een visualisering hiervan (Hemswell Antique Centres z.d.).



Figuur 5.2: de werking van een aneroïde barometer (Avnet: Quality Electronic Components & Services, z.d.)

§5.3 Functie en gebruik van een barometer

Een barometer heeft verschillende toepassingen die we zouden kunnen gebruiken in onze CanSat. de gemeten luchtdruk kunnen we op verschillende manieren gebruiken als we eenmaal hoog in de lucht zijn. Ten eerste kunnen we de luchtdruk gebruiken om te kijken

hoe hoog we ongeveer in de lucht zijn op dat moment, aangezien hoger in de lucht er lagere luchtdruk is, want hoe hoger je in de atmosfeer komt hoe minder lucht daar aanwezig is, omdat alles meteen naar het midden van de aarde getrokken wordt vanwege de zwaartekracht. Het nadeel hieraan is dat de metingen niet in alle gevallen even nauwkeurig zijn om accuraat de hoogte mee vaststellen. Er zijn namelijk meerdere factoren waardoor de luchtdruk op een bepaalde plaats net iets hoger of lager is, bijvoorbeeld de wind. (Pastoor, J. z.d.) Ook kan men bijvoorbeeld met de luchtdruk bepalen of het in de zeer nabije toekomst gaat regenen op de desbetreffende plek. Een lagedrukgebied houdt in dat er tekort aan lucht is op een bepaalde plek en dat er op een andere plek een overschot aan lucht is. In een lagedrukgebied stijgt zoveel mogelijk lucht op. Hierdoor ontstaat een tekort aan lucht op het aardoppervlak om dat aan te vullen wordt vanuit hogedrukgebieden extra luchtdruk aangevoerd door de wind. De lucht die opgestegen is koelt af waardoor er condensatie plaatsvindt, hierdoor zal er meer neerslag vallen op de desbetreffende plek (Hendriks, I. G. 2017, april)

§5.4 Keuze tussen verschillende barometers

Voor de missie van onze CanSat moeten wij een luchtdruksensor meenemen. Deze sensor moet voor ons voldoen aan een paar eisen, omdat de wedstrijd eisen heeft gesteld aan bijvoorbeeld de grootte en de prijs van de CanSat en we deze kunnen vertalen in de volgende eisen voor de sensoren:

- De sensor moet kunnen werken met de Arduino die de CanSat zal aansturen.
- De sensor moet stabiel kunnen werken op een hoogte van 1.000 meter.
- De sensor moet in een ruimte passen van 3x3x3 centimeter

Verder zou het ook van pas komen als:

- De sensor tot op een hoogte van 1.500 meter functioneel is.
- De sensor het meten van meerdere grootheden kan combineren.
- De prijs van de sensor onder de 20 euro ligt.

Door het stellen van deze eisen zijn de oudere barometers afgevallen aangezien beide niet met een Arduino kunnen samenwerken en de kwikbarometer veel te groot is voor de CanSat (Rose barometers z.d., Rose barometers 2017, 3 oktober). Er blijven dan nog een aantal sensoren over die gebruikt zou kunnen worden in een CanSat:

- BME680: Een digitale barometer met level converter die ook luchtvochtigheid, luchtkwaliteit en temperatuur kan meten met een prijs van €15,50 (tinytronics.nl z.d.). Het nadeel aan deze sensor is dat de luchtkwaliteitssensor niet goed genoeg is, deze geeft alleen een benadering van de luchtkwaliteit. De temperatuursensor kan ook afwijken met 1 graad Celsius, dit is dus helaas ook niet heel nauwkeurig (randomnerdtutorials.com, 2020). De sensor heeft een nauwkeurigheid van 0,6 hPa. De sensor heeft een ruimte nodig van 16,3 x 18,7 mm nodig. Deze sensor en heeft een stroomtoevoer nodig van tussen de 3,3 en 5 Volt nodig om te goed te functioneren. De sensor kan maximale waarden aan -40 to 85 graden Celsius, 0 tot 100% luchtvochtigheid, 0 tot 500 AQI, luchtkwaliteit en 300 tot 1100 hPa, luchtdruk (*BME680 Sensor Module met Level Converter - Luchtdruk - Luchtkwaliteit - Luchtvochtigheid - Temperatuur*, z.d.).
- BMP280: Een digitale barometer met temperatuursensor met een prijs van €4,00. Deze sensor zit ook in het CanSat startpakket. De sensor heeft een ruimte nodig van 15 x 11 mm nodig. Deze sensor en heeft een stroomtoevoer van 3,3 volt nodig om te

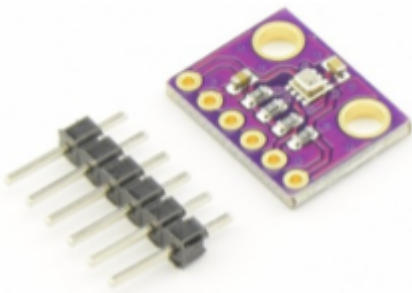
goed te functioneren. Deze sensor heeft een afwijking van 0,12 hPa. De sensor kan maximale waarden aan -40 to 85 graden Celsius en 300 tot 1100 hPa, luchtdruk (tinytronics, z.d.).

- BMP388: Een digitale barometer met level converter en temperatuursensor €7,50. De sensor heeft een ruimte nodig van 21,8 x 16,5 mm nodig. Deze sensor en heeft een stroomtoevoer nodig tussen de 3,3 en 5 Volt nodig om te goed te functioneren. Deze sensor heeft een nauwkeurigheid van 0,5 hPa. De sensor kan maximale waarden aan -40 to 85 graden Celsius en 300 tot 1250 hPa, luchtdruk (*BMP388 Sensor Module met Level Converter - Luchtdruk-Barometer - Temperatuur, z.d.*).

Eigenschappen/Sensor	BME680	BMP280	BMP388
Prijs	-	+	-
Ruimtegebruik	+	+	-
Gewicht	Onbekend	++	Onbekend
Gebruiksgemak	+	++	+
Bereik	-	-	+
Nauwkeurigheid	-	++	+

Figuur 5.3: vergelijking van luchtdruk sensoren

Voor onze CanSat zal de de BMP280 gebruikt worden aangezien we deze geleverd krijgen van de organisatie van de wedstrijd en hij even goed druk meet, met een afwijking van maximaal 1 hectopascal, als alle andere sensoren. Zie voor een verduidelijking van onze keuze tabel 5.1. Zie figuur 5.3 voor een plaatje van de sensor:



*Figuur 5.4: De BMP280 sensor.
(Bosch. januari 2021)*

Hoofdstuk 6: De temperatuursensor

§6.1 Wat is temperatuur?

Introductie temperatuur

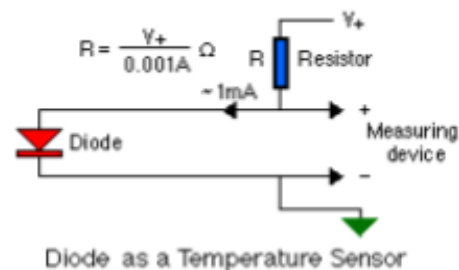
Temperatuur is de maatstaf die wordt gebruikt om de hoeveelheid warmte-energie die er aanwezig is op een bepaalde plek aan te geven (Britannica, 2022). Om temperatuur te meten zijn er verschillende eenheden ontwikkeld:

- Celsius = Een van de meeste gebruikte schalen om temperatuur mee te meten. Deze schaal is gebaseerd op het smeltpunt en het kookpunt van water, respectievelijk 0 en 100 graden Celsius. Deze schaal wordt voornamelijk gebruikt in metrieke stelsel.
- Fahrenheit = Een minder gebruikte schaal om temperatuur mee te meten, deze wordt voornamelijk gebruikt in de Verenigde Staten. Deze schaal is bedacht toen de heer Fahrenheit salmiak, ijs en water mengde en hiermee probeerde de laagst mogelijke temperatuur te verkrijgen. De temperatuur die hij meette noemde hij 0 graden Fahrenheit. 32 graden Fahrenheit is het smeltpunt van water. Deze schaal wordt voornamelijk gebruikt in het empirische stelsel (Essent, z.d.).
- Kelvin = De schaalverdeling die wordt gebruikt in de wetenschap. Deze schaal is bedacht door Lord Kelvin die als beginpunt van zijn schaalverdeling het absolute nulpunt van de temperatuur. Het smeltpunt van water is 273,15 kelvin (INask.nl, 2022).

§6.2 Werking van temperatuursensoren

De temperatuursensor meet de hoeveelheid warmte of warmte-energie die in de omgeving van de sensor aanwezig is en geeft deze meestal terug in graden Celsius. In analoge temperatuurmeters wordt aan de hand van een vloeistof afgelezen door de gebruiker. Deze vloeistof bestaat meestal voor een deel uit kwik. Deze vloeistof zet uit of krimpt duidelijk zichtbaar bij een verandering in de temperatuur. Het nadeel van analoge temperatuurmeters is dat deze vaak een stuk minder nauwkeurig zijn dan de moderne computergestuurde sensors. Ook is de manier van data aflezen een groot obstakel wanneer de meetapparatuur zich hoog in de atmosfeer bevindt (adviesjagers.nl, 2022).

Er zijn veel vormen van digitale temperatuursensoren, bijvoorbeeld: thermisch gevoelige weerstanden (HTR). Deze veranderen van vorm naarmate de temperatuur verandert, thermokoppels die meet de temperatuur door het verschil in spanning tussen twee draden te meten, NTC-thermistors met de temperatuur met behulp van de weerstand die staat op een metaal en IC-sensoren. Hier kijken we alleen naar de IC-sensoren aangezien deze het best te gebruiken zijn in de Cansat vanwege hun omvang en prijs. IC-Sensoren, ook wel op halfgeleiders gebaseerde sensoren genoemd, hebben een dubbel geïntegreerd circuit met daarin twee vergelijkbare diodes, die samen met temperatuurgevoelige spanning de temperatuur kunnen meten. Vaak is deze vorm van temperatuur meten niet heel nauwkeurig.



Figuur 6.1: (How Do Temperature Sensors Work?, 2022)

Omdat hij een constante afwijking heeft wat zorgt voor de onnauwkeurigheid, is het wel mogelijk om de verschillen tussen de temperaturen te meten. Zie figuur 6.1 voor een schematische weergave van deze sensor (5.2.6 Semiconductor temperature sensors, 2022)

§6.3 Functie en gebruik van een temperatuursensor

De gegeven waarden van de temperatuur kunnen we voor twee dingen gebruiken in de CanSat:

- Als controlefactor voor ons onderzoek naar luchtkwaliteit. Als de temperatuur hoger is tijdens de eerste test dan tijdens de tweede test, zal er bijvoorbeeld meer ozon gevormd worden bij de eerste test. Dit zal onze meetresultaten kunnen beïnvloeden aangezien ozon een luchtvervuilende stof is. Dit kan in dit geval als verklaring dienen voor de meer gemeten hoeveelheid ozon bij een tweede test. (KNMI, (z.d.))
- De hoogte bij benadering berekenen als men weet wat de temperatuur op grondniveau is. Aangezien de luchttemperatuur met ongeveer 0,6 graden daalt als men honderd meter stijgt, omdat de atmosfeer door de aarde verwarmd wordt aangezien deze zonnewarmte vasthoudt.

Het nadeel van het berekenen van de hoogte met de temperatuur is dat het nogal onnauwkeurig is, omdat er niet een enorm verschil te meten is als de sensor tien meter daalt (Hendriks, I. G., 2017).

§6.4 Keuze tussen verschillende temperatuurmeters

Voor de missie van onze CanSat moeten wij een temperatuursensor meenemen. Deze sensor moet voor ons voldoen aan een paar eisen, omdat de wedstrijd eisen heeft gesteld over bijvoorbeeld de grootte en de prijs van de CanSat en we deze kunnen vertalen in de volgende eisen voor de sensoren:

- De sensor moet kunnen werken met de Arduino die de CanSat zal aansturen.
- De sensor moet stabiel kunnen werken op een hoogte van 1.000 meter.
- De sensor moet in een ruimte passen van 3x3x3 centimeter.

Verder zou het ook van pas komen als:

- De sensor tot op een hoogte van 1.500 meter functioneel is.
- De sensor het meten van meerdere grootheden kan combineren.
- De prijs van de sensor onder de 20 euro ligt.
- De sensor een ingebouwde level converter heeft die de energietoevoer kan omvormen.

Met het invoeren van deze eisen zijn de vloeistof temperatuursensoren afgevallen, aangezien deze niet kunnen samenwerken met de arduino. Hierdoor blijven alleen de digitale temperatuur sensoren over om te kunnen gebruiken in de CanSat:

- ASAIR AHT25: Een temperatuursensor, met een nauwkeurigheid van 0,3 °C, die ook de luchtvochtigheid kan meten met een ingebouwde level converter, met een prijs van €4,00. De sensor heeft 17.7 x 5.0 mm en heeft een stroomtoevoer van 2.2 - 5.5 V nodig om goed te kunnen functioneren. Hij kan werken in een temperatuur van -40 tot 80 graden Celsius.
- BMP280: Een temperatuursensor, met een nauwkeurigheid van 1 °C, met een geïntegreerde barometer, maar zonder een level converter, met een prijs van €4,00.

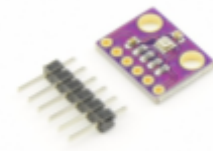
Deze sensor is ook aanwezig in het CanSat startpakket. De sensor heeft een ruimte nodig van 15 x 11 mm nodig. De sensor heeft een stroomtoevoer van 3.3 V nodig om goed te kunnen functioneren. Hij kan werken in een temperatuur van -40 tot 80 graden Celsius.

- BME680: Een temperatuursensor, met een nauwkeurigheid van 1 .C, met level converter die ook luchtvochtigheid, luchtkwaliteit en luchtdruk kan meten met een prijs van €15,50. De sensor heeft 16.3 x 18.7 mm en heeft een stroomtoevoer van 3.3 - 5 V nodig om goed te kunnen functioneren. Hij kan werken in een temperatuur van -40 tot 80 graden Celsius (tinytronics.nl z.d.). Het nadeel aan deze sensor is dat de luchtkwaliteitssensor niet goed genoeg is, deze geeft alleen een benadering van de luchtkwaliteit. De temperatuursensor kan ook afwijken met 1 graden celsius dit is dus helaas ook niet heel nauwkeurig (randomnerdtutorials.com, 2020).

Eigenschappen/Sensor	ASAIR ATH25	BMP280	BME680
Prijs	+	+	-
Ruimtegebruik	-	+	-
Gewicht	Onbekend	++	Onbekend
Gebruiksgemak	-	++	+
Bereik	+	+	+
Nauwkeurigheid	++	-	-

Figuur 6.2: Vergelijking temperatuursensoren

De ASAIR ATH25 is beter voor het nauwkeurig meten van de temperatuur, alleen zijn de afmetingen helaas te groot om goed in de CanSat te kunnen stoppen. Hierdoor gaan wij de BMP280 gebruiken om de temperatuur te kunnen meten. Zie voor een verduidelijking van onze keuze figuur 6.2. Zie figuur 6.3 voor een plaatje van de sensor:



Figuur 6.3: De BMP280 (Bosch. januari 2021)

Hoofdstuk 7: Radio-gebruik en andere vormen van communicatie

§7.1 Wat is telecommunicatie en hoe werkt het?

Communicatie, met name telecommunicatie, is het verzenden en ontvangen van gegevens met behulp van elektromagnetische hulpmiddelen (Stark, 2022). In het dagelijkse leven zie je veel verschillende vormen van telecommunicatie, zoals radio, WiFi en televisie, maar bijvoorbeeld ook in de vorm van radar en sonar (What are the uses of telecommunication in daily life?, z.d.). Satellieten maken ook gebruik van telecommunicatie om data te versturen. Denk hierbij aan bijvoorbeeld de foto's die gemaakt worden door satellieten in de ruimte, maar ook alle zoekopdrachten die worden gedaan via het starlink internet (Starlink, z.d.). Er zijn veel verschillende vormen van telecommunicatie:

- Bedraad: Bij deze vorm van communicatie is er sprake van een verbinding tussen de verzender en ontvanger van de gegevens. De gegevens worden overgebracht tussen de verzender en ontvanger door middel van elektrische signalen die door een draad heen lopen. Deze vorm van telecommunicatie wordt onder andere gebruikt in het internet of telefoonkabels.
- Radio: Bij deze vorm van communicatie is er geen sprake van een fysieke verbinding tussen de verzender en ontvanger. De gegevens worden overgebracht door een antenne die elektrische pulsen omzet in elektromagnetisch veld of elektromagnetische golf, deze straling kan een eind verder worden opgevangen door een antenne die het elektromagnetische veld of de elektromagnetische golf weer omzet in elektrische pulsen. Deze vorm van communicatie wordt het meeste gebruikt door satellieten of in radio's (Hero, 2022).
- Optisch: Bij deze vorm van communicatie is er sprake van een verbinding tussen de verzender en ontvanger. De gegevens worden overgebracht door een bundel van gemoduleerd monochromatisch licht. Deze bundel van lichtstralen wordt verzonden door een laser die elektrische pulsen omzet in het versturen van kleine hoeveelheden licht in glas. Het licht zal in het glas blijven aangezien het materiaal wat om het glas heen zit niet lichtbrekend is. Dit kan voor ongeveer honderd kilometer doorgaan maar dan zal het versterkt moeten worden in een versterker. Hierna zullen de lichtstralen weer worden omgezet in de gegevens voor de ontvanger. Deze vorm van communicatie is wereldwijd de meest gebruikte manier van telecommunicatie (Lesics, 2019).

§7.2 functie en gebruik van telecommunicatie

In de CanSat kan telecommunicatie gebruikt worden om verschillende gegevens te versturen van het grondstation naar de CanSat en andersom. Hieronder vallen bijvoorbeeld de gemeten gegevens en locatie van de CanSat, maar ook de snelheid waarmee de CanSat beweegt, ofwel opwaartse beweging ofwel neerwaartse beweging. De belangrijkste gegevens die verzonden en ook weer ontvangen moeten worden met behulp van telecommunicatie zijn de gegevens die gemeten zijn door de sensoren, aangezien dat het doel is van de missie. De GPS locatie en de snelheid van de CanSat zijn ook handig om te verzenden we met deze data kunnen controleren of de CanSat geland is en waar deze

geland is. Hierdoor kunnen we de CanSat weer terugvinden, de gemeten data kunnen op een extern opslagapparaat in de CanSat worden opgeslagen, in het geval dat we het niet allemaal kunnen verzenden, zodat we die later kunnen uitlezen. De snelheid en GPS-locatie is dit geen prioriteit aangezien het er vooral om gaat dat we de gemeten data kunnen ontvangen omdat daar het onderzoek overgaat. Als we meer kunnen verzenden en ontvangen dan alleen de sensor data, zullen we natuurlijk wel de gps locatie en snelheid willen versturen ontvangen, om dan na een zachte of iets minder zachte landing de CanSat terug te vinden (Using Radio to Transmit and Receive Data - Ritron DTX, z.d.).

§7.3 keuze tussen verschillende vormen van telecommunicatie

Voor de missie met de CanSat zullen we gebruik moeten maken van een radio aangezien we willen weten waar de CanSat terecht zal gaan komen. Voor de vorm van telecommunicatie hebben we wel een paar eisen:

- De vorm van telecommunicatie moet kunnen werken met de Arduino die de CanSat zal aansturen.
- De vorm van telecommunicatie moet een draadloze verbinding kunnen hebben met de grond om alle data te kunnen doorsturen.
- De vorm van telecommunicatie moet minimaal een bereik hebben van 1000 meter in open ruimte.
- De vorm van telecommunicatie moet een stabiele verbinding kunnen garanderen met de grond.

Verder zou het ook van pas komen als:

- De vorm van telecommunicatie niet groter is dan 5x5 centimeter.
- De prijs van de vorm van telecommunicatie niet hoger is dan 50 euro.

Van de drie eerder genoemde opties is de radio als enige vorm van telecommunicatie overgebleven omdat de optische vorm van telecommunicatie en de bedrade vorm van telecommunicatie een fysieke aansluiting nodig hebben tussen de twee punten die met elkaar communiceren. Dan zijn er vier opties vormen van radio verzenders en ontvangers die we zouden kunnen gebruiken:

- Bluetooth: Wordt voornamelijk gebruikt in korte afstands verbindingen tussen apparaten, maar kan ook op grotere afstanden gebruikt worden. Hiervoor wordt bijvoorbeeld de Host XR gebruikt die met een antenne tot 30 kilometer signaal kan versturen en ontvangen. Het nadeel aan deze technologie is dat het veel te duur is voor in de CanSat (Macdonald, 2007).
- WiFi: Wordt alleen gebruikt in korte afstands verbindingen tussen apparaten. Een gemiddeld wifi signaal houdt het ongeveer negentig meter vol in de buitenlucht (What Is the Range of a Typical Wi-Fi Network?, 2020).
- FM en AM radio: Wordt gebruikt voor korte en lange afstands communicatie, afhankelijk van de module. Het nadeel aan deze technologie is dat er ruis in het signaal kan zijn waardoor het signaal niet goed verstuurt en ontvangen kan worden. Dit kan door verschillende redenen ontstaan, maar bijvoorbeeld door elektronische apparatuur (Storing en ruis FM radio ontvangst? Wij hebben verschillende oplossingen!, z.d.).
- LoRa: Dit is een relatief nieuwe manier van lange afstands communicatie. Die weinig elektriciteit nodig heeft om goed te functioneren. Het voordeel is dat deze technologie heel goedkoop is en een groot bereik heeft (Digikey, 2016).

Van de genoemde alternatieven valt Bluetooth af omdat het te duur is om binnen het budget te passen voor onze CanSat. Helaas valt ook de WiFi technologie af omdat dit op te korte afstanden gebruikt kan worden dat het niet nuttig is voor onze CanSat. Dan blijven de volgende opties over om in de CanSat te stoppen:

- FM en AM radio:
 - APC220: Deze krijgen we van de competitie, hij heeft een bereik van 1000 meter in perfecte omstandigheden. Deze module heeft afmetingen van 3,7 x 1,7 cm en een gewicht van 30 gram. Hij heeft ook een ingebouwde level converter (robotshop.com, 2008).
- LoRa:
 - Grove LoRa E5: Deze module heeft een zendbereik tot 10 kilometer in optimale omstandigheden. Deze module heeft afmetingen van 4,2 x 2,4 centimeter. Bij deze module moet er wel een extra antenne bijgevoegd worden voor het gebruik van de module. De module heeft wel een ingebouwde level converter. Deze module heeft een prijs van 24,50.

Eigenschappen/Sensor	APC220	Grove LoRa E5
Prijs	++	-
Ruimtegebruik	+	+
Gewicht	-	+
Gebruiksgemak	-	+
Bereik	-	++
Zendsnelheid	-	++

Figuur 7.1 Vergelijking telecommunicatiemiddelen

Voor onze CanSat gaan we de waarschijnlijk de LoRa module gebruiken aangezien we hiermee de data beter kunnen ontvangen aangezien deze een veel groter bereik heeft dan de APC220. Hierdoor kunnen we verzekeren dat we tijdens de gehele vlucht data van de CanSat kunnen ontvangen en opdrachten kunnen geven aan de CanSat. Zie figuur 7.1 hieronder voor een foto van de LoRa module.



Figuur 7.2: De LoRa module (Seeed Studio Grove LoRa-E5 - LoRaWAN - 868-915MHz, z.d.).

Hoofdstuk 8: De accelerometer

§8.1 Introductie accelerometer

Een accelerometer of versnellingsmeter kan meten wat de versnelling, of acceleratie, is die hij ondergaat. De versnelling is de hoeveelheid die de snelheid toeneemt per tijdseenheid. De versnelling wordt gemeten in m/s^2 of in G. Op aarde staat 1G gelijk aan gemiddeld $9,81 m/s^2$. De waarde van G hangt af van de afstand tot het zwaartepunt van een hemellichaam. Als de hoogte toeneemt, zal de waarde van G dus iets afnemen. De versnelling uitdrukken in G is dus minder nauwkeurig dan in m/s^2 , omdat de hoogte van ons meetstation variabel is. Accelerometers kunnen ook gebruikt worden om aardbevingen te meten. Dit wordt gedaan omdat een normale seismograaf vaak niet de hevige trillingen van een aardbeving kan meten (KNMI, z.d).

§8.2 De werking van de accelerometer

Accelerometers hebben verschillende manieren waarop ze kunnen werken, om deze reden wordt de accelerometer vaak gecombineerd met andere sensoren omdat die op een zelfde soort manier kunnen werken. Een voorbeeld hiervan is de IMU, die behalve een accelerometer ook een gyroscoop en een magnetometer is, deze wordt heel veel gebruikt. Er zijn twee werkingen van accelerometers die veel voorkomen.

- Versnelling meten door middel van massa
- Versnelling meten door middel van trillingen en het piëzo-elektrische effect (IEPE).

Bij het massa systeem maakt de accelerometer gebruik van massa die aan een veer hangt en een sensor die de kracht meet die de massa uitoefent op of de veer of de ondergrond. De kracht die de massa ondervindt is door de zwaartekracht altijd gelijk, maar als het voorwerp gaat versnellen neemt de kracht die de massa uitoefent toe. De accelerometer geeft dan een elektrisch signaal af afhankelijk van de kracht (sparkfun z.d). Deze vorm van de accelerometer wordt niet zo veel meer gebruikt. Dit komt voornamelijk omdat de accelerometer die werkt met trillingen veel simpeler, kleiner, nauwkeuriger en multifunctioneel is.

De tweede variant van de accelerometer werkt door middel van trillingen. De sensor meet de dynamische trillingen van het object en zet die om naar een spanning (istec z.d). Dit gebeurt door middel van het piëzo-elektrische effect. Dit effect vindt plaats wanneer een kristal onder druk komt te staan en hierdoor een elektrische spanning afgeeft. Wanneer de accelerometer gemonteerd wordt op een object zal de acceleratie van het object worden doorgegeven aan een massa die druk uitoefent op het kristal. De hoeveelheid druk is rechtevenredig met de acceleratie en de elektrische spanning die het kristal opwekt is rechtevenredig met de druk. Zo kan de acceleratie van een object heel nauwkeurig bepaald worden door middel van de trillingen en het piëzo-elektrische effect (istec z.d). Het grote voordeel van deze sensor is dat hij behalve nauwkeurigheid en compactheid ook nog eens een heel groot bereik heeft. Daardoor kan hij ook de dynamische trillingen van een aardbeving goed meten en kunnen de meeste accelerometers tot 250G (sommigen zelf tot 2000G) meten.

§8.3 Mogelijke accelerometers

Accelerometers hebben weinig stroom nodig. De stroomsterkte voor accelerometers is meestal maar een paar milliampère. De hoeveelheid spanning is meestal minder dan 5V. Ze kunnen gemiddeld tussen 1G en 250G meten.

De accelerometer moet aan de volgende eisen voldoen, deze eisen zijn belangrijk om een zo goed mogelijk meetstation te maken:

- De data van de accelerometer moet verwerkt kunnen worden in de Arduino zodat we zijn data kunnen werken..
- De accelerometer moet niet te zwaar zijn, rekening houdend met het maximale gewicht van 350 gram.
- De accelerometer moet niet teveel ruimte innemen in het meetstation.
- De prijs moet onder de 20 euro zijn, rekening houdend met het maximum budget van 500 euro.

Accelerometers die voldoen aan deze eisen:

- MPU-6050 3-assige versnellingsmeter en gyroscoop sensor (GY-521)
Deze sensor is een IMU en heeft een ingebouwde gyroscoop en heeft een prijs van tussen de 4 en de 5 euro. Meet de versnelling tot ongeveer 16g. 3V tot max. 5V nodig. 20mm * 25mm afmetingen. De accelerometer heeft ook een 'low power mode' waarin hij veel minder stroom verbruikt. Deze sensor is een van de meest gebruikte en is qua prijs-kwaliteit verhouding een van de beste opties (Invensense, 2013).
- mma8452q Versnellingssensor. Deze sensor is onder de 4 euro en meet de versnelling tot maximaal 8g. 2V tot max. 3.6V nodig. 20mm * 35mm afmetingen. Deze sensor heeft niet zo veel spanning nodig en is ook net wat goedkoper. Daar staat tegenover dat hij wel wat groter is en hij een minder grote versnelling kan meten Deze sensor heeft waarschijnlijk een te klein bereik voor ons project en valt dus af.
- AIS328DQTR MEMS Accelerometer Digital. Deze sensor is een SMD, een surface-mounted device. Dat houdt in dat de sensor erg klein is, maar niet met draden bevestigd kan worden, maar direct op het circuit board gesoldeerd moet worden. Dit is onhandig voor ons project, maar voor permanente systemen is het wel ontzettend handig. Deze sensor is maar 73 mg en is maar een paar millimeter in afmetingen. Hij heeft een minimale spanning van 2.4V en een max. van 3.6V nodig. De prijs ligt rond de 9 euro. Deze sensor is erg geschikt voor grotere projecten, waar elke milligram een rol speelt, en waarbij ruimte schaars is. Maar voor onze doeleinden is hij niet geschikt.



Figuur 8.1: De MPU-6050 (HFT Electronics, z.d.).

Eigenschappen/Sensor	MPU-6050	mma8452q	AIS328DQTR
Prijs	+	+	++
Ruimtegebruik	+	+	++
Gewicht	+	+	++
Gebruiksgemak	+	+	--
Bereik	+	-	+
Nauwkeurigheid	+	+	+

Figuur 8.2: Vergelijkingstabel accelerometers.

Voor ons project hebben wij een sensor nodig die klein, licht en nauwkeurig is, ook moet de sensor een groot bereik hebben. De sensor die het beste past bij deze eisen is de MPU-6050. Hoewel de AIS328DQTR op de meeste vlakken beter scoorde is de incompatibiliteit van een SMD een te grote factor.

Hoofdstuk 9: De camera

§9.1 Introductie camera

Een camera is een apparaat dat foto's maakt of een beeld opneemt door snel achter elkaar foto's te maken. De hoeveelheid foto's (frames) die de camera neemt wordt gemeten in frames per seconde (fps). De scherpheid van de foto's die de camera maakt wordt ook wel resolutie genoemd. De resolutie geeft aan hoeveel pixels er gebruikt worden op een beeldscherm. Een camera die een hogere resolutie heeft gebruikt dus meer pixels waardoor de details beter te zien zijn en het beeld dus scherper is.

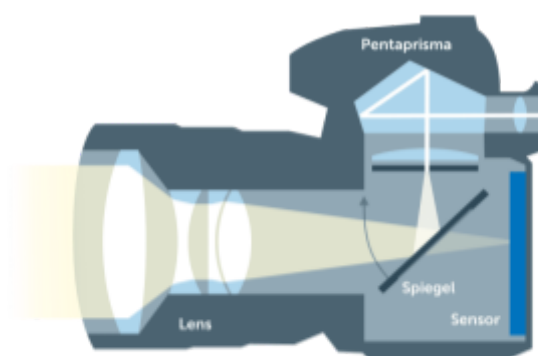
§9.2 Werking camera

Er zijn twee soorten camera's die tegenwoordig gebruikt worden, de analoge en de digitale camera.

De analoge camera maakt gebruik van een film, dat is een lang stuk flexibel plastic met lichtgevoelige chemicaliën. Als er een foto wordt gemaakt dan gaat het diafragma van de camera open waardoor er licht op de film valt en de chemicaliën die daarop zitten reageren. Omdat het licht dat wordt opgevangen veel verschillende kleuren en dus golflengten heeft reageert elk molecuul net anders en zo krijg je behoorlijk nauwkeurig een foto van het beeld dat je gemaakt hebt. Dan staat het beeld op de film, en dan moet het nog ontwikkeld worden. Omdat dit onhandig is wordt de analoge camera tegenwoordig niet zo veel meer gebruikt (TechPulse, z.d).

Een digitale camera is een stuk handiger. In een digitale camera wordt het licht ook opgevangen, maar in dit geval door een sensor die het beeld opneemt en het in de vorm van elektrische signalen verstuurd naar een AD-converter om te zorgen dat er een beeld uit komt wat uiteindelijk de foto of de film is. De sensor neemt niet constant het beeld op, alleen zodra er een foto wordt gemaakt of er gefilmd wordt. Als dat niet het geval is wordt het licht door middel van een spiegel weerkaatst naar een plek bovenin de camera die ervoor zorgt dat er een voorbeeld is van de foto (Figuur 9.1). Door de hoeken van de spiegel en de hoeken in de pentaprisma krijgt de fotograaf de foto precies te zien zoals deze gemaakt zal worden (TechPulse, z.d).

De data van de digitale camera wordt verstuurd als raw RGB data. Dit betekent dat het de data wordt verzonden als kleurdata per pixel. De data is dan in de vorm (R,G,B) verzonden waarbij de letters staan voor de intensiteit van de kleur. De intensiteit per kleur gaat van 0 tot 256. De data wordt dan ontvangen en vervolgens wordt de pixel met zijn correcte kleur juist geplaatst op het scherm.



Figuur 9.1: De werking van een digitale camera (Consumentenbond, 22 augustus 2022).

§9.3 Mogelijke cameras

De camera die wij zoeken moet aan de onderstaande eisen voldoen. Deze eisen zijn tot stand gekomen rekening houdend met de limitaties voor ons meetstation.

- De camera moet licht genoeg zijn om in het meetstation te kunnen. Ideaal zou zijn onder de 15 gram. Dit is belangrijk omdat we een maximum gewicht hebben van 350 gram.
- De camera mag niet veel ruimte innemen. Maximaal 35 mm * 35 mm. In ons meetstation is beperkte ruimte en de camera mag niet onnodig veel ruimte innemen.
- De camera mag niet te duur zijn, het liefst een van onder de 20 euro, rekening houdend met ons budget van 500 euro.
- De camera moet kunnen communiceren met de Arduino zodat we zijn data kunnen verwerken.
- Het beeld van de camera moet in kleur zijn zodat we plekken beter kunnen zien en herkennen.

Camera's die aan deze eisen voldoen:

- OV7670 CMOS Camera Module. Deze camera is een van de meeste gebruikte camera's voor een Arduino. De camera is van het merk OmniVision (OV). De afmetingen zijn 35 mm * 35 mm, met een gewicht van 12 gram. De camera geeft de data als raw RGB data. De camera heeft een prijs van 6 euro (OmniVision, 2005).
- 5MP OV5642 Mini Module Camera. Deze camera wordt minder gebruikt maar voldoet aan bijna alle eisen. Deze camera is ook van het merk OmniVision. Hij heeft afmetingen van 35 mm * 24 mm, met een gewicht van 20 gram. De camera is dus waarschijnlijk iets te zwaar. De camera geeft de data als raw RGB data. De prijs kan variëren van 20 tot 40 euro (OmniVision, 2009).



Figuur 9.2: De OV7670 Camera (TinyTronics, z.d.).

Eigenschappen/Sensor	OV7670	OV5642
Prijs	+	+
Ruimtegebruik	-	-
Gewicht	+	-
Gebruiksgemak	++	+
Nauwkeurigheid	+	+

Figuur 9.3: Vergelijkingstabel cameras

De camera die het beste past bij ons project is de OV7670. Deze camera wordt het meest gebruikt voor een Arduino en is een van de meeste gebruikte camera's in projecten die similariteiten hebben met ons project die tot een goede einde zijn gekomen. Hij is niet duur en hoewel zijn formaat niet optimaal is is het gewicht is heel laag en daarom lijkt deze ideaal voor ons project.

Hoofdstuk 10: Global Positioning System (GPS)

§10.1 Introductie GPS

GPS is een afkorting die staat voor Global Positioning System. Het is een systeem dat is ontwikkeld in de Verenigde Staten en over de hele wereld gebruikt wordt. Het GPS systeem bestaat uit 24 satellieten die in de ruimte om de aarde heen cirkelen. Door die satellieten kan je overal ter wereld heel nauwkeurig bepalen waar je bent. De GPS coördinaten worden gegeven in lengte- en breedtegraad.

§10.2 Werking GPS

Het GPS systeem maakt gebruik van satellieten die op 20.200 km hoogte om de aarde heen draaien. De satellieten hebben 6 verschillende banen die ze volgen, zie figuur 9.1, dit doen ze met een snelheid van ongeveer 14.000km/h. De GPS-satellieten sturen constant data in de vorm van radiosignalen naar de aarde. Deze data bevatten de tijd waarop het signaal verstuurd is, de exacte positie en het nummer van de satelliet. Als een GPS ontvanger dan die signalen opvangt kan hij met al die data gaan rekenen. Om een GPS systeem goed te laten functioneren zijn minimaal 3 satelliet signalen nodig. De ontvanger kan dan aan de tijd en de plek van de gestuurde signalen precies zien waar hij zich bevindt. Door de tijd van het versturen en de tijd van ontvangen kan de afstand van de persoon naar de satelliet bepaald worden. Dat afstandsverschil wordt dan vergeleken met de afstand tot de andere satellieten door middel van het maken van virtuele bollen met stralen die gelijk zijn aan de afstanden die gemeten zijn. Dan wordt het snijpunt van de bollen bepaald waarmee ze achter de locatie komen. Hiervoor geldt dat hoe meer bollen je hebt, hoe nauwkeuriger de positiebepaling is. De GPS-ontvanger moet met veel dingen rekening houden als het de locatie probeert te bepalen. Een van de factoren is bijvoorbeeld de snelheid van de radiosignalen. Die gaan even snel als het licht, maar het probleem is dat we die snelheid niet exact kunnen bepalen voor de satellieten omdat de golven niet door een perfect vacuüm gaan. De afstand kan zo dus een kleine afwijking hebben.

Obstakels kunnen ook een probleem vormen voor de ontvanger. De radiogolven moeten namelijk langs of door die obstakels, maar dat kan niet altijd. Als de ontvanger zich in een grot bevindt kunnen de radiosignalen daar heel lastig komen (GPS-wijzer, 24 maart 2022).

Een andere factor maar misschien niet zo snel aan gedacht wordt is de tijd. De GPS-satellieten draaien met een snelheid van ongeveer 3,9 km/s om de aarde heen. (zie Figuur 10.1) Volgens de algemene relativiteitstheorie van onder andere Einstein is de tijd van elk voorwerp met een snelheid anders. Dit verschijnsel heet tijdrek, waarvoor geldt hoe dichterbij de lichtsnelheid iets komt, hoe langzamer zijn tijd loopt. Uit deze theorie volgt dat een seconde voor de satelliet 1,0000065 seconden is voor ons op aarde. (Binas, 2013) Deze factor is ontzettend klein, maar omdat we met lichtsnelheid werken kan een paar milliseconden al een enorm verschil maken. De GPS-satellieten maken gebruik van atoomklokken die verder heel erg nauwkeurig zijn, ze hebben een afwijking van een seconde per 5 miljard jaar, daar wordt dus verder geen rekening mee gehouden. Een GPS ontvanger moet dus vrij geavanceerd zijn om rekening te houden met al deze factoren.



Figuur 10.1: De banen van satellieten om de aarde (GPS wijzer, z.d.).

§10.3 Mogelijke GPS modules

De GPS-module voor ons project moet aan de volgende eisen voldoen, rekening houdend met alle limiterende factoren:

- De module moet compact zijn, omdat GPS modules uit meerdere onderdelen bestaan zijn hier geen specifieke maximum waarden voor, er moet wel rekening gehouden worden met de maximale inhoud van ons meetstation, waarin de GPS niet te veel ruimte in mag nemen.
- De module mag niet te zwaar zijn, het liefst onder de 20 gram, rekening houdend met het maximumgewicht van ons meetstation van 350 gram.
- De module moet met een Arduino kunnen communiceren zodat we zijn data kunnen versturen en de locatie van het meetstation kunnen bepalen.
- De module mag niet te duur zijn, maximaal 20 euro, rekening houdend met het budget van 500 euro.

De volgende modules voldoen aan deze eisen:

- GY-NEO6MV2 GPS module. Deze module is redelijk compact met afmetingen van 35mm * 25mm + 25mm * 25mm. De prijs is rond de 15 euro. Het gewicht van de module is onbekend maar vergelijkbare modules hebben een gewicht van ongeveer 15 gram. Hij is te gebruiken in combinatie met een Arduino library. (Synacorp, z.d.)
- De GY-NEO6MV2 is de meest gebruikte module en lijkt ook de beste te zijn, er zijn veel verschillende varianten van maar die lijken allemaal erg veel op elkaar. Het enige verschil tussen de GPS modules is de ontvanger en hoe het circuit board eruit ziet. Maar omdat elke GPS module hetzelfde werkt en ook dezelfde SMD componenten heeft maakt het voor de functionaliteit niet zoveel uit welke module we kiezen, zie §8.3 voor meer uitleg over SMD.



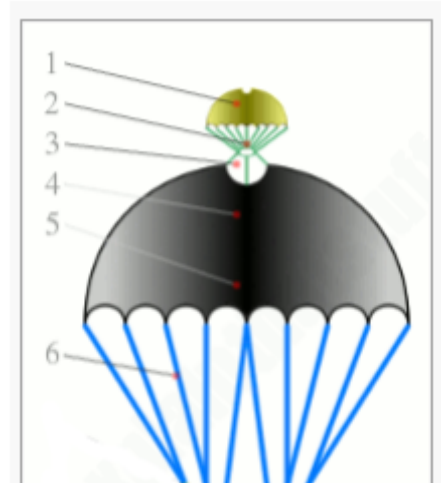
Figuur 10.2: De GY-NEO6MV2 GPS module (TinyTronics, z.d.).

Voor ons project is de GY-NEO6MV2 de beste module. De variant met kleinere ontvanger is waarschijnlijk de beste optie voor ons, rekening houdend met de limiterende factoren van het gewicht en de afmetingen.

Hoofdstuk 11: Veilig landen van de CanSat

Zoals al eerder gezegd gaat de satelliet tot een hoogte van 1000m. Om ervoor te zorgen dat, volgens de eisen, de CanSat na gebruik weer herbruikbaar is, moet de CanSat veilig kunnen dalen van 1 km hoogte en met een dusdanige lage snelheid landen, zodat het grootste deel van de satelliet weer herbruikbaar is voor een volgende lancering. Om dit voor elkaar te krijgen wordt er onder meer gebruik gemaakt van een parachute en schokdempers. Voor het model is er gekozen voor het ontwerp dat hieronder staat beschreven. Bij het ontwerp hebben de aangegeven onderdelen van de parachute allemaal een andere functie.

1. De pilot parachute. De pilot parachute wordt als eerste uitgeklaapt en als deze wordt uitgeklaapt, zorgt deze ervoor dat de grotere parachute wordt uitgeklaapt. De pilot parachute is essentieel in een parachute systeem voor het uitklappen van de grote parachute.
2. Dit zijn de touwen die de pilot parachute verbinden met de hoofdparachute.
3. Gat in de bovenkant van de parachute, zowel bij de pilot parachute als de hoofdparachute. Dit gat zorgt ervoor dat er niet teveel luchtdruk wordt opgebouwd onder de parachute door een kleine stroom lucht door te laten via het gat. Als er teveel luchtdruk ontstaat onder de parachute, gaat de luchtstroom er via de zijkanten onder de parachute uit, wat ervoor zorgt dat de parachute hevig heen en weer begint te schudden en hierbij kan de parachute schade oplopen. Het gat zorgt ervoor dat de parachute stabiel blijft.
4. De overkapping. Dit is de overkapping die lucht opvangt waardoor de luchtweerstand groter wordt. De bedoeling is dat de overkapping zo groot mogelijk is, zodat een zo groot mogelijk oppervlak luchtweerstand ervaart, waardoor de satelliet meer wordt afgeremd.
5. Het onderste deel van de overkapping, hier worden ook de touwen aan bevestigd.
6. De touwen die van de overkapping naar de satelliet leiden. Deze touwen moeten sterk zijn en een grote kracht kunnen weerstaan, want ze mogen niet breken of los gaan, want dan werkt de parachute niet meer .



Figuur 11.1: Vorm parachute die gaat worden gebruikt bij de cansat (Woodford, C. (2021, 13 mei). Parachutes design.)

§11.1 Hoe werkt een parachute

Een parachute werkt door luchtweerstand te gebruiken om de val van een voorwerp te vertragen. Wanneer een parachute wordt uitgevouwen, creëert het een grote weerstandskracht die in tegengestelde richting werkt ten opzichte van de beweging van het object. De luchtweerstand wordt veroorzaakt door de wrijving tussen het voorwerp en de

lucht. De kracht van de luchtweerstand op de parachute kan worden berekend met de volgende formule:

$$F = 1/2 * C_d * r * A * v^2$$

Waarbij:

F de kracht op de parachute is (in Newton)

C_d de weerstandscoefficiënt is (dimensioneel)

r de luchtdichtheid is (kg/m³)

A het oppervlak van de parachute is (m²)

v de snelheid van het object is (m/s)

De weerstandscoefficiënt is die aangeeft hoeveel weerstand de parachute kan genereren en hangt onder andere af van de vorm van de parachute.

Om te bepalen welke snelheid het object met de parachute krijgt gebruik je ook de formule voor de zwaartekracht. Deze formule is:

$$F_z = m * g$$

waarbij:

F_z de zwaartekracht op het object is (in newton)

m de massa van het object is (in kg)

g de valversnelling op aarde is. (In Nederland is deze waarde 9,81 m/s²)

Om te berekenen welke snelheid een vallend object met een parachute heeft tel je de krachten bij elkaar op met behulp van de vector richting. Omdat de kracht van de luchtweerstand op de parachute precies in de tegengestelde richting staat als de zwaartekracht, kun je de 2 krachten van elkaar aftrekken om op de kracht en de richting van het object te komen (Binas, 2016).

Voor de CanSat is het nuttig om te weten hoe groot de gebruikte parachute zal moeten zijn. Op de lanceerdag zal de CanSat namelijk met een minimale gemiddelde snelheid van 13 m/s moeten vallen. Hij zal namelijk vanaf 1000m hoogte in ongeveer 77s weer op de grond moeten zijn. Hierom is er een berekening uitgevoerd om een startpunt voor de grootte van de parachute te bepalen. Later zal deze grootte door middel van metingen beter worden bepaald.

In het grootste gedeelte van de afdaling is er een evenwicht tussen de zwaartekracht en de luchtweerstand van de CanSat. Er geldt dus:

$$F_z = F_{lw}, \text{ dus } m * g = 1/2 * C_d * r * A * V^2$$

hierin is:

- **m** de massa van de CanSat (350g)
- **g** de valversnelling in Nederland (9,81m/s²)

- C_d de weerstandsconstante van de parachute (voor een bolvormige parachute is dit 1,5)
- ρ de dichtheid van de lucht. (dit is op grondniveau aan de lage kant $1,18 \text{ kg/m}^3$)
- A de oppervlakte van de parachute in m^2
- v de snelheid van het vallende object in m/s

wanneer de formule wordt omgeschreven om A te berekenen zal deze er als volgt uitzien:

$$A = (m \cdot g) / (0,5 \cdot C_d \cdot \rho \cdot v^2)$$

Wanneer de gegevens van de eerder genoemde eenheden worden ingevuld, volgt de volgende berekening:

$$A = 3,4335 / (0,5 \cdot 1,5 \cdot 1,18 \cdot 13^2) = 0,02296 \text{ m}^2 = 229,6 \text{ cm}^2$$

Rekening houdend met het feit dat de vorm van de parachute een cirkel is, zal deze een straal hebben van:

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{A/\pi}$$

$$r = \sqrt{(229,6/3,141...)} = 8,55 \text{ cm}$$

§11.2 Materiaal parachute

Het materiaal waar de overkapping van de parachute van wordt gemaakt moet zorgvuldig worden uitgekozen. Je wilt namelijk een materiaal dat sterk genoeg is om niet te breken bij de kracht die een parachute ondervindt, terwijl hij ook zo licht als mogelijk moet zijn zodat je minder snel valt. Bijna alle parachutes worden tegenwoordig gemaakt van kunststof, wat tegelijkertijd zeer sterk en super licht is. De meest gebruikte kunststof voor een parachute is nylon ("Parachute - Wikikids", z.d.). Daarnaast is Nylon niet te duur om buiten ons budget te vallen dus het is het beste materiaal voor onze parachute (kunststofshop.nl, 2018).

§11.3 Alternative landingsmethoden

Natuurlijk is het gebruiken van een parachute niet de enige manier om de valsnelheid van de CanSat te verminderen of de impact van de klap als de CanSat de grond raakt te verkleinen. Hieronder zijn een paar van deze manieren uitgelegd.

§11.3.1 Parafoil

De parafoil is een andere soort parachute dan de vorm die net hierboven is uitgelegd. De parafoil is een soort parachute waarbij er cellen in de overkapping zijn gemaakt die worden gevuld door lucht. Hierdoor krijgt de parafoil zijn vorm en kan hij gebruikt worden als een parachute. Hier rechts is er een foto van een parafoil. De parafoil is makkelijker te besturen en is iets stabielere dan een normale parachute. Er is wel een groot nadeel: de parafoil heeft een kleinere oppervlakte die lucht kan opvangen en daardoor de valsnelheid van de satelliet te verminderen ("Handbook for parachutes", 2007). Omdat de satelliet geen verbeterde besturing nodig heeft en er al aanpassingen worden gemaakt om ervoor te zorgen dat de parachute stabielere is, is ervoor gekozen om de paraplu-achtige vorm parachute te gaan gebruiken bij de satelliet.



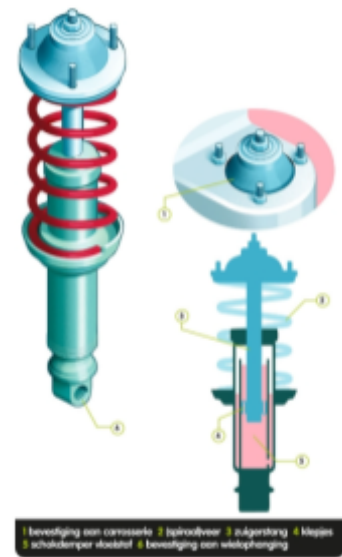
Figuur 11.2: voorbeeld van een parafoil parachute (NASA, Guided Parafoil High Altitude Research II. (n.d.)).

§11.3.2 Airbag

Een hele bekende en veelgebruikte techniek om een object met een hoge snelheid af te remmen is een airbag. Airbags worden vooral gebruikt in auto's, maar kunnen ook gebruikt worden bij onze satelliet. Het probleem is alleen dat een airbag veel ruimte inneemt, en onze satelliet maar de grootte is van een colablikje. Voor een airbag heb je een mechanische en elektrische sensor nodig die detecteren wanneer er een impact plaatsvindt, waardoor er een kussen wordt gevuld met gas (ANWB, 2022). Omdat deze onderdelen bij elkaar te groot zijn om te kunnen gebruiken bij een CanSat, zullen we deze niet gebruiken in onze satelliet.

§11.3.3 Schokdempers

Om de kracht van de impact op de satelliet en de meetinstrumenten in de satelliet te verminderen kunnen we gebruik maken van schokdempers. Hier rechts is een schokdemper afgebeeld. Schokdempers absorberen een gedeelte van de impact met vering en kunnen er zo voor zorgen dat de meetinstrumenten in de satelliet minder beschadigd raken. Een nadeel van schokdempers is dat ze best veel ruimte innemen. Een goede schokdemper heeft genoeg ruimte nodig om te klap te kunnen absorberen en in een satelliet ter grootte van een colablikje wordt het moeilijk een schokdemper te passen die een klap van een vallende satelliet goed genoeg kan opvangen (ANWB, 2022).



Figuur 11.3: Illustratie van een schokdemper gezien vanaf de binnen- en buitenkant (ANWB, 2022).

§11.3.4 Conclusie

Voor de CanSat gaan we dus een paraplu-vormige parachute gebruiken, omdat deze vorm de valsnelheid van de CanSat het meeste kan verminderen en er al andere aanpassingen worden gedaan voor betere stabiliteit en besturing. Een airbag en schokdempers zijn allebei goede andere methoden om de kracht van de klap die de CanSat ervaart als deze op de grond neerkomt te verminderen. Daarentegen is de CanSat erg klein, en zowel schokdempers als een airbag zijn te klein om te passen in de CanSat waarbij de kracht van de klap wel nog significant wordt verkleind. Wel kunnen we gebruik maken van schokdempend materiaal bij het bouwen van de CanSat, zoals schuimplaten. Deze nemen dan geen extra ruimte in en werken wel als schokdempers.

Hoofdstuk 12: De CanSat terugvinden

De CanSats van de afgelopen jaren werden op de lanceerdag afgeschoten door het ministerie van Defensie in 't Harde, dit is een plaats in Gelderland waar zich een militair trainingsgebied bevindt. Nadat de CanSat is afgeschoten en weer is geland, moet hij ook weer teruggevonden worden en aangezien het om een militair trainingsgebied gaat wordt dat gedaan door de mensen van het ministerie van Defensie. Daarom is het belangrijk dat de CanSat goed terug te vinden is, ook door mensen buiten onze groep.

§12.1 Geluid

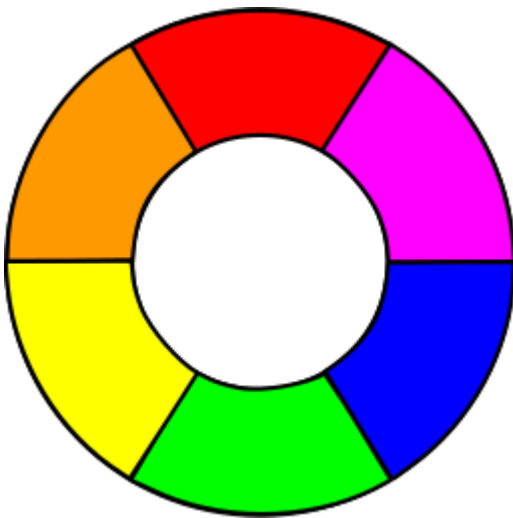
Door de CanSat een makkelijk herkenbaar geluid te laten maken, kan ervoor worden gezorgd dat hij makkelijk op verschillende plaatsen terug te vinden is. Het probleem met geluiden is wel dat er rekening moet worden gehouden met hoe hard het geluid is. Het moet niet te zacht zijn, want anders is het geluid niet hoorbaar en heb je er dus niets aan. Maar een te hard geluid is ook niet goed, want dat kan schadelijk zijn voor het gehoor en overlast veroorzaken. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat een luidspreker extra stroom en ruimte kost die ook voor andere sensoren in de CanSat gebruiken kan worden. Het grote voordeel van een geluid is dat je hem niet hoeft te kunnen zien om hem te kunnen horen, het nadeel is echter wel dat de afstand waarop je het geluid kan horen gelimiteerd is, maar voor een globale positiebepaling gaan we waarschijnlijk iets anders gebruiken.

§12.2 GPS

Er kan ook gebruik worden gemaakt van een GPS. Door een GPS aan de CanSat toe te voegen kan de CanSat makkelijk teruggevonden worden. Het grote probleem met de GPS is echter wel dat hij niet op de meter nauwkeurig zal zijn. Hierdoor kan het probleem ontstaan dat je een gebied moet doorzoeken in plaats van dat er gewoon gelijk te zien is waar de CanSat zich precies bevindt. Dit probleem kan (deels) verholpen worden door andere methodes te combineren met de GPS waardoor je als je eenmaal binnen het gebied bent waar de GPS onnauwkeurig begint te worden, toch makkelijk de CanSat kan vinden zonder er onnodig veel tijd mee kwijt te zijn. Het grote voordeel van het gebruiken van een GPS is dat hij ook op grotere afstanden, als de CanSat bijvoorbeeld te ver afdrijft door een harde wind, kan worden bijgehouden waar deze is geland. Verder moet er wel rekening worden gehouden met het feit dat ook de GPS ruimte inneemt in de CanSat die voor andere sensoren gebruikt zou kunnen worden.

§12.3 Kleur

De kleur van de CanSat is misschien wel de eenvoudigste en meest effectieve manier om de CanSat terug te vinden. Er kan gebruik worden gemaakt van GPS of geluid, maar als de kleur van de CanSat helemaal wegvalt in het landschap wordt het toch nog lastig om hem op te sporen. Daarom is er eigenlijk een kleur nodig die niet wegvalt in het landschap. Kleuren als groen en geel vallen dus eigenlijk al gelijk af, want zowel de testdag als de lanceerdag zelf zullen in de buitenlucht plaatsvinden en hier zullen de kleuren groen en geel lastig te vinden zijn. Ook is het niet handig om te donkere kleuren te gebruiken zoals bruin, zwart of paars omdat ook deze er voor zullen zorgen dat de CanSat alleen nog maar moeilijker te zien zal zijn. Het best kunnen er felle kleuren gebruikt worden die ver van de omgevingskleuren afstaan. Verder is blauw ook niet de beste kandidaat want als het onbewolkt is zal een blauwe CanSat al snel verdwijnen in de lucht waardoor het moeilijk wordt om te volgen waar hij gaat landen.



Figuur 12.1: Kleurenspectrum

Als al deze dingen meegenomen worden in de keuze voor de kleur van de CanSat kom je uit op de keuze tussen fel rood/oranje en fel roze. Deze kleuren voldoen aan alle eisen, maar er moet wel opgepast worden dat de kleur niet te donker of te licht wordt, want dan ontstaan er weer problemen met het terugvinden van de CanSat. Bovendien zijn beide kleuren makkelijk te onderscheiden van de grond en de lucht. Er zou nu één van deze kleuren gekozen kunnen worden maar er zou ook gekozen kunnen worden om ze te combineren door bijvoorbeeld de CanSat de ene kleur te maken en de parachute de andere kleur te geven. Het grote voordeel van de kleur van de CanSat gebruiken om hem makkelijker terug te vinden is dat het in tegenstelling tot veel andere oplossingen geen extra ruimte of stroom kost wat betekent dat het eigenlijk geen negatief effect kan hebben op de CanSat. Wel is het zo dat de kleur alleen van pas komt als hij binnen je zicht ligt, dus de kleur heeft geen effect als hij te ver weg of beschut landt.

§12.4 Licht

Ook kan de CanSat zichtbaarder worden gemaakt door een lampje of reflectiemateriaal toe te voegen aan de buitenkant van de CanSat. Als hij dan op een plek belandt waar het donker is kan een lampje er voor zorgen dat hij toch goed zichtbaar is. Het voordeel aan reflectiemateriaal aan de buitenkant van de CanSat is dat het in tegenstelling tot het lampje is dat het geen extra stroom of ruimte in de CanSat kost maar dat de CanSat als hij beschenen wordt door een lamp van buitenaf toch licht weerkaatst. Wel moet er rekening gehouden worden met het feit dat het lampje of het reflectiemateriaal aan alle kanten van de CanSat goed te zien moet zijn. Dit voorkomt het probleem dat de CanSat op het lampje landt, waardoor het niet meer zichtbaar is. Ook moet er bij een lampje rekening mee worden gehouden dat het extra stroom en ruimte kost die je ook voor andere sensoren in de CanSat nodig hebt. Dit probleem heb je niet met reflectiemateriaal aan de buitenkant van de CanSat, maar dat gaat dan weer ten koste van het effect van de kleur van de CanSat.

§12.5 Conclusie

Al deze systemen hebben hun eigen voor- en nadelen, maar de meeste van deze nadelen kunnen worden voorkomen door meerdere van deze ideeën samen te voegen. Er zou bijvoorbeeld gekozen kunnen worden om het probleem van de nauwkeurigheid van de GPS op te lossen door ook nog een geluid toe te voegen, zodat binnen het gebied komt waar de GPS onnauwkeurig wordt de CanSat gehoord kan worden. Dit voorkomt ook gelijk het probleem van alleen geluid, dat het alleen werkt binnen een bepaalde afstand waarin het geluid hoorbaar is. Al met al is het waarschijnlijk het best om de GPS te combineren met een opvallende kleur aangezien zowel de GPS als het geluid als het lampje veel plaats en stroom gebruiken die ook voor andere apparatuur gebruikt zou kunnen worden, daarom is het handig om je te beperken tot één van deze opties tenzij er ruimte over blijft. De kleur van de CanSat veranderen heeft eigenlijk geen nadelige effecten en zou daarom hoe dan ook gebruikt kunnen worden. Daarom is het aan te raden om van de drie andere opties voor de GPS te gaan, aangezien er samen met het kiezen van de juiste kleur eigenlijk geen nadelen over blijven. Wel zou er nog gekozen kunnen worden voor het toevoegen van geluid als er daarmee geen stroom- of ruimtetechische problemen ontstaan, aangezien het enige probleem wat overblijft bij de GPS-kleurcombinatie is dat hij ergens landt waar het heel erg beschermd is en dat je niets aan de kleur hebt. In deze situatie kan een geluid net zijn wat nodig is om de CanSat terug te vinden.

Hoofdstuk 13: Materialen

Het kiezen van de geschikte materialen voor het bouwen van het meetstation is van groot belang. De materialen moeten aan veel verschillende eisen voldoen, zodat de kwaliteit en werking van het meetstation wordt bevorderd en gewaarborgd.

Voor satellieten worden erg veel isolatiematerialen gebruikt die ervoor zorgen dat de satelliet beschermd is tegen extreme temperaturen. Het meetstation dat met behulp van dit vooronderzoek wordt ontworpen en ontwikkeld wordt gelanceerd tot een hoogte van 1000m. Hier bestaat er geen dusdanig extreem temperatuurverschil dat ervoor kan zorgen dat het meetstation beschadigd raakt.

§13.1 Bewerkbare materialen

In het meetstation worden veel verschillende sensoren geplaatst. Om de sensoren zo goed mogelijk te kunnen beschermen is het van belang dat het materiaal van de buitenste laag zo gemakkelijk mogelijk aanpasbaar is. Bij het ontwerpen van dit meetstation moet je er namelijk altijd rekening mee houden dat verschillende apparatuur andere behoeftes heeft. Zo moeten de sensoren die de luchtkwaliteit meten toegang hebben tot de atmosfeer. Diverse materialen, zoals hout en kunststof zijn niet gemakkelijk vervormbaar. Wel zijn deze materialen makkelijk bewerkbaar. De bewerkbaarheid van materialen door middel van de apparatuur waar wij over beschikken is erg doorslaggevend voor de keuze van het materiaal. Wanneer een materiaal makkelijk bewerkbaar is, is dit makkelijker aan te passen naar wens en maakt dit het ontwerpproces makkelijker.

§13.2 Impact bestendig

Het meetstation wordt gelanceerd tot een hoogte van 1000m. Het is de bedoeling dat het meetstation op een gecontroleerde en op een veilige manier land, door middel van een parachute. Toch zou het zo kunnen zijn dat de impact op de grond harder is dan verwacht. De functie van de buitenste laag van het meetstation is het beschermen en op zijn plek houden van de sensoren en apparatuur die in het meetstation zit. De sensoren zijn namelijk erg kwetsbaar en kunnen gemakkelijk beschadigen. Het materiaal waaruit de buitenste laag van het meetstation bestaat moet stevig en impactbestendig zijn.

§13.3 Gewicht van de materialen

Het gewicht van de gekozen materialen voor de buitenkant van het meetstation is erg belangrijk. Hoe zwaarder het meetstation is, hoe lastiger het is om ervoor te zorgen dat het lang genoeg op de hoogte blijft, waardoor de sensoren de luchtkwaliteit kunnen meten. Het meetstation dat wordt ontwikkeld als deelname voor de CanSat-competitie moet tussen de 300 - 350 gram wegen. Met deze eis moet rekening worden gehouden tijdens het kiezen van het materiaal van de buitenste laag van het meetstation. Hoe lichter de materialen zijn die gebruikt worden voor het geraamte en de buitenste laag, hoe meer gewicht we over hebben voor sensoren en andere apparatuur.

§13.4 Kostenefficiënt

Gedurende het bouwproces wordt er een constante kosten-baten afweging gemaakt. Bij elke uitgave wordt er gekeken naar de efficiënte in verhouding tot de kosten. Ook voor de afwegingen bij de keuze van de juiste materialen gedurende het bouwen van de buitenste laag van het meetstation wordt de kostenefficiënte afweging telkens toegepast. Waardoor er zo veel mogelijk budget overblijft voor de sensoren en andere apparatuur.

De toegankelijkheid van de verschillende materialen is ook van groot belang. Voor het bouwen van het meetstation hebben we een budget en een deadline. Wanneer we materialen willen gebruiken die erg moeilijk te krijgen zijn, kan dit is onze bouw vertragen.

§13.5 3D printen

Als team hebben wij een 3D-printer tot onze beschikking. Hiermee kunnen we gedetailleerd de buitenste laag van het meetstation printen. De 3D- printer print met PLA (Polylactic Acid), maar er zijn meerdere materialen ter beschikking. Het 3D-printen van de buitenste laag van het meetstation heeft diverse voordelen. Zo kunnen we de buitenste laag telkens opnieuw printen, totdat hij perfect is voor het meetstation. Dit komt ook erg van pas wanneer het omhulsel beschadigd is. Ook is het gebruiken van de 3D-printer kostenefficiënt, toegankelijk en erg licht. De buitenste laag van het meetstation wordt tijdens het 3D-printen laagje voor laagje opgebouwd. Dit houdt in dat de door de 3D-printer geprinte laag niet een geheel is. Een van de nadelen van 3D printen is het feit dat het materiaal uit laagjes bestaat en daardoor makkelijker uit elkaar zou kunnen vallen. De buitenste laag van het meetstation beschermt dure sensoren en apparatuur en het scheuren van de beschermlaag zorgt ervoor dat de sensoren worden blootgesteld en makkelijker kapot kunnen (123-3D.nl, z.d.). In de praktijk is dit daarentegen geen groot probleem, wanneer de printer juist is ingesteld en de print op kwaliteit wordt gecontroleerd.

§13.6 Aluminium

Voor het geraamte van het meetstation is aluminium ook een erg goede optie. Aluminium is erg toegankelijk en relatief goedkoop. Het heeft een lange levensduur, want aluminium wordt niet aangetast door verschillende abiotische factoren zoals water en UV-straling. Aluminium roest niet, is vochtbestendig en behoorlijk sterk. Helaas is aluminium lastig bewerkbaar, vervormbaar en erg zwaar. Hierdoor kunnen we aluminium niet gebruiken voor het gehele geraamte van het meetstation. Wel kan het gebruik van aluminium zeker van pas komen voor bepaalde delen in het geraamte die bijvoorbeeld meer stevigheid moeten bieden.

§13.7 Overige materialen

Wij hebben natuurlijk ook nog andere materialen tot onze beschikking. Deze materialen zullen we niet als hoofdmateriaal gebruiken maar kunnen wel op bepaalde plekken gebruikt worden vanwege hun lage gewicht en makkelijke bewerkbaarheid. Voorbeelden hiervoor zijn plexiglas of hout. Deze materialen kunnen we makkelijk bewerken met de lasercutter die we tot onze beschikking hebben en zo kunnen we erg precies onderdelen toevoegen die niet per se heel sterk hoeven te zijn.

§13.8 Conclusie

Voor het bouwen van het geraamte en de buitenste laag van het meetstation kunnen diverse materialen worden gebruikt. Elk materiaal heeft natuurlijk verschillende voor/nadelen. 3D geprint materiaal voor het geraamte en de buitenste laag van het meetstation voldoet aan de meeste eisen. Voor het ontwerpen en bouwen van het geraamte en de buitenste laag van het meetstation wordt dus een 3D printer gebruikt. Voor 3D printen zijn er talloze technieken en materialen die toepasbaar zijn. Tijdens het bouwproces van het meetstation is het de bedoeling dat er telkens een ontwerpcyclus wordt doorlopen om tot het beste 3D-printmateriaal voor het meetstation te komen.

Hoofdstuk 14: Berekening van de hoogte

Hoogte is een van de belangrijkste grootheden die bepaald moet worden in elk systeem in de lucht. Over het algemeen wordt dit berekend in plaats van direct gemeten, omdat afstanden op grote hoogte vaak onnauwkeurig of lastig te meten zijn.

Deze hoogte wordt ondermeer gebruikt voor navigatie in vliegtuigen en ruimtevaartuigen. Hierbij is het essentieel om te weten wat de hoogte ten opzichte van de grond is, omdat hiermee de navigatie ten opzichte van andere vliegtuigen soepel kan verlopen. Ook is de hoogte belangrijk bij het landen en opstijgen. Binnen de raketindustrie worden hoogtemetingen onder andere gebruikt om verticale snelheid, en daarmee verticale versnelling, te meten. Ook worden hoogtemetingen gebruikt voor het activeren van systemen die nodig zijn voor een veilige landing, zoals streamers en parachutes. Binnen dit hoofdstuk zullen alleen hoogtebepalingen gebruikt worden die op grote hoogte werken.

§14.1 Wat is “hoogte”?

Er zijn verschillende soorten hoogte die verschillende toepassingen hebben binnen de altimetrie. Een aantal soorten hoogte zijn:

- Echte afstand (true altitude: H_{mn}) is de afstand tussen het meetpunt en zeeniveau.
- Relatieve hoogte (relative altitude: H_r) is de hoogte ten opzichte van een bepaald punt. Vaak wordt dit gebruikt op vliegvelden waar de hoogte ten opzichte van het vliegveld wordt aangegeven, om land en opstijg manoeuvres te bevorderen.
- Hoogte ten opzichte van de grond (absolute altitude: H_a) is de directe afstand tot de grond. Dit is dus eigenlijk een relatieve hoogte waarbij het referentiepunt altijd de grond is.
- Barometrische hoogte (barometric altitude: H_b) is de hoogte bepaald door luchtdruk. Hier wordt de hoogte berekend met de omrekenfactor voor lucht en hoogte. De referentiedruk die hier wordt gebruikt is over het algemeen de ISA (de gemiddelde luchtdruk op zeeniveau). Deze bedraagt 1013,25 hPa.
- Dichtheid hoogte (density altitude: H_d) is ongeveer hetzelfde als de barometrische hoogte. De dichtheid hoogte is daarentegen gecorrigeerd voor factoren als temperatuur en weer.
- De aangegeven hoogte (indicated altitude: H) is de hoogte die de display of meter laat zien. Deze waarde kan dus verschillen van de echte hoogte (Grigorie et al., 2010).

§14.2 Methoden voor het bepalen van hoogte

Elke van deze soorten hoogte kan op een andere manier gemeten en berekend worden. zo kan de absolute hoogte gemeten worden door een radar altimeter. Dit wordt onder andere gebruikt in vliegtuigen om te assisteren bij het landen en voor het geven van waarschuwingen wanneer het vliegtuig te dicht bij de grond komt. De radar altimeter werkt vanaf een afstand van ongeveer 762 m (aero, z.d.). Een radar altimeter meet de hoogte door middel van het uitzenden van radiogolven. Wanneer deze weerkaatsen op een oppervlak, in dit geval de grond, kaatsen ze terug. Door de tijd tussen het versturen en ontvangen van deze radiogolven te meten, kan de afstand bepaald worden tot de grond.

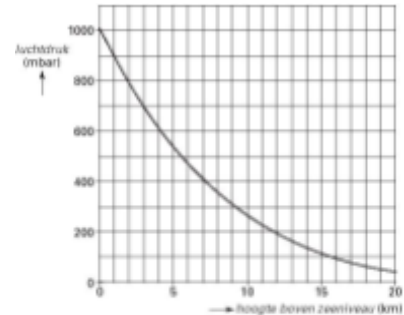
Een andere veelgebruikte methode voor het meten van hoogte is het gebruik van een barometer. De barometer meet de luchtdruk, waarmee de hoogte berekend kan worden. De hoogte die hier gemeten wordt is dus gebaseerd op barometrische druk of dichtheid. Vanuit de luchtdruk kan de barometrische hoogte met behulp van de ISA berekend worden met de volgende formule:

$$P(h) = P(0) * e^{-M * G * H / (R * T)}$$

hierin is:

- P(h) de druk op hoogte h
- P(0) de druk op hoogte 0
- M de molaire massa van de lucht (deze bedraagt 0,0288 kg/mol)
- g is de valversnelling op aarde (deze bedraagt 9,81 m/s²)
- h is de hoogte in m
- R is de gasconstante van een ideaal gas (deze bedraagt 8,3144621 J K⁻¹ mol⁻¹)
- T is de temperatuur in K

(De luchtdruk bepalen met de barometrische hoogteformule, z.d.)



Figuur 14.1: verband tussen hoogte en luchtdruk (Opbouw van de luchtdruk, 2006)

Hoogte kan naast deze eerste twee methodes ook gemeten worden met behulp van GPS (national geographic, z.d.). Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende satellieten die, door informatie te verschaffen over hun eigen positie en verzendtijd, het mogelijk maken om de positie van een object te bepalen in de ruimte. Een uitgebreidere versie van de uitleg over GPS is te vinden in paragraaf 10.2.

Verder kan de hoogte ook berekend worden door middel van een temperatuurverschil. Bij een stijging van 100 m daalt de temperatuur ongeveer 1°C (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI], z.d. -b). Door een verschil in temperatuur te meten, kan er op deze manier ook een relatieve hoogte worden berekend. Deze methode is daarentegen zeer onbetrouwbaar, omdat er veel verschillende factoren zijn die het temperatuurverloop kunnen beïnvloeden en de nauwkeurigheid van temperatuursensoren niet altijd toereikend is.

§14.3 Bepaling van de hoogte voor het meetstation

Voor gebruik binnen dit project zal voornamelijk de relatieve hoogte ten opzichte van de grond nuttig zijn. Gezien de onnauwkeurigheid van de meetmethode gebruikmakend van temperatuur, zal de hoogte waarschijnlijk worden bepaald door middel van drukmetingen of GPS.

Hoofdstuk 15: Conclusie

In dit vooronderzoek hebben we de volgende onderzoeksvraag behandeld: “Hoe bouw je een CanSat die tot 1000 meter hoogte de luchtkwaliteit kan meten, deze data kan verzenden naar een station op de grond en herbruikbaar is?” Wij hebben deze vraag onderzocht door middel van literatuuronderzoek. Uit het onderzoek is het volgende gebleken.

§15.1 Conclusie sensoren

Onze CanSat heeft sensoren nodig om onze primary en secondary mission tot een goed einde te laten komen. Uit het sensoronderzoek is het volgende gebleken voor wat betreft elk type sensor.

- Luchtkwaliteit sensoren

- Stikstofdioxide sensor: De sensor die het meest geschikt is voor ons doeleinde is de MICS-6814. Het ruimtegebruik en de nauwkeurigheid van deze sensor maken dat deze sensor onze voorkeur heeft.
- Fijnstofsensoren: De sensor die het meest geschikt is voor ons doeleinde is de GP2Y1014AU0F. De nauwkeurigheid en het bereik van alle fijnstofsensoren is bij de meest gebruikte sensoren ongeveer gelijk en in elk geval geen limiterende factor. Wij hebben voor deze gekozen omdat het ruimtegebruik zo klein mogelijk is en dat waarschijnlijk wel een belangrijke factor gaat worden.
- Ozon sensor: De sensor die gebruikt zal worden voor dit project is de MQ-131. Deze sensor heeft de grootste nauwkeurigheid en het minste ruimtegebruik. Daarom is deze het beste toepasbaar binnen dit project.

- Sensoren primary mission

- Barometer: De sensor die het meest geschikt is voor ons project is de BMP280. Deze sensor is meegeleverd bij het project en scoort op alle vlakken even goed als andere sensoren.
- Temperatuursensor: De sensor die we gaan gebruiken is de BMP280. De sensor is een combinatie tussen een barometer en een temperatuursensor en omdat we deze ook als barometer gaan gebruiken zorgt dit ervoor dat de schaarse ruimte niet onnodig gebruikt wordt. Hoewel de ASAIR AHT25 nauwkeuriger is, is het ruimteverbruik een te belangrijke factor om van deze sensor gebruik te maken.
- Radiocommunicatie: De module die we gaan gebruiken is de Grove LoRa E5 module. Deze module heeft het grootste bereik en neemt weinig ruimte in, daarom is hij ideaal voor dit project.

- Overige sensoren

- Accelerometer: De accelerometer die het beste past bij ons project is de MPU-6050. Deze sensor heeft een ingebouwde gyroscoop en zijn ruimtegebruik is erg klein, waardoor hij de beste is voor ons project.
- Camera: De camera die het beste is voor ons project is de OV7670. Deze camera wordt veel gebruikt en heeft een erg klein ruimteverbruik voor een camera.

- GPS: De GPS module die het beste is voor ons project is de GY-NEO6MV2. Deze module wordt heel veel gebruikt en heeft een klein ruimteverbruik. Omdat GPS altijd hetzelfde werkt (zie §10.2 voor verdere toelichting).

§15.2 Conclusie landing

Nadat de CanSat uit de raket gelanceerd is willen we zorgen dat hij zo veilig mogelijk landt. Dit gaan we doen door middel van een parachute van nylon. Nylon is de beste optie vanwege de stevigheid, de lage prijs en de lage massa. De andere opties zoals parafoil, airbag en schokdempers nemen allemaal te veel ruimte in zijn te zwaar voor ons project. Om de CanSat later terug te vinden gaan we gebruik maken van een GPS module. Ook gaan we proberen de CanSat een opvallende kleur te geven zodat we hem makkelijker kunnen terugvinden als we eenmaal de globale positie hebben bepaald door middel van onze GPS. We kunnen ook nog besluiten een buzzer toe te voegen aan onze CanSat, als onze restricties dat toelaten, zodat hij geluid kan maken waardoor het terugvinden een stuk gemakkelijker zal verlopen.

§15.3 Conclusie materialen

We kunnen onze CanSat het best maken van 3D print materiaal. De meest voor de hand liggende optie hiervoor is PLA. Dit wordt het meest gebruikt en is relatief goedkoop en makkelijk mee te werken. Mogelijk zijn er nog meer 3D print materialen die voor ons geschikt zijn, maar wegens gebrek aan ervaring daarmee zullen we deze waarschijnlijk niet gebruiken. Als er op een bepaalde plek in de CanSat behoefte is aan stevigere materiaal zullen we daar aluminium voor gebruiken.

Hoofdstuk 16: Discussie

In de Discussie wordt er beschreven hoe het onderzoek is verlopen en hoe de resultaten van ons onderzoek verbeterd hadden kunnen worden.

§16.1 Testen

Bij het schrijven van dit PWS hebben we onder andere veel onderzoek gedaan naar de werking en de voor- en nadelen van verschillende sensoren. Hierbij hebben we het onderzoek beperkt tot het bestuderen van literatuur, maar als we de sensoren eerder hadden besteld en hadden binnen gekregen hadden we ze ook in de praktijk kunnen testen om zo een beter beeld te krijgen van welke sensoren voor dit project goed toepasbaar zijn. Naast sensoren hebben we ook materialen niet in de praktijk kunnen testen voor dit onderzoek. Hierdoor is de keuze van materialen nog niet definitief.

Het testen en mogelijk veranderen van onze voorkeur voor bepaalde sensoren of materialen zal volgen in de meesterproef: het ontwerpproces waarvoor dit PWS een vooronderzoek vormt.

§16.2 NO₂ sensor

De NO₂ sensor die momenteel in gebruik zal worden genomen heeft een aantal nadelen. Voornamelijk wat betreft de nauwkeurigheid van deze sensor is deze niet volledig toereikend voor het doel waar wij hem voor willen gebruiken. Omdat andere opties slecht verkrijgbaar of buiten ons budget vielen, hebben wij er toch voor gekozen deze op te nemen in onze keuze aan sensoren. Mocht er later binnen het ontwerpproces een betere sensor worden gevonden, dan zal deze uiteraard in gebruik genomen worden voor dit project.

§16.3 Fijnstofsensor

Ook bij de fijnstofsensor hadden we extra tijd kunnen gebruiken voor het testen van de sensor in de praktijk, want de sensor is relatief groot in vergelijking met de andere sensoren in de CanSat. Met meer tijd hadden we een eerste versie van onze CanSat kunnen maken en kunnen kijken of de sensor te groot is of dat hij net past.

§16.4 Datasheets

Bij het beoordelen van sensoren is zeer veel gebruik gemaakt van datasheets die geleverd zijn door de producenten van de sensoren. Hoewel deze datasheets nauwkeurig zijn bestudeerd, is er de mogelijkheid dat op sommige punten niet alle data uit de datasheets voldoende is meegenomen in de overweging voor de sensorkeuze

Hoofdstuk 17: Reflectie

In de reflectie wordt er gekeken naar hoe wij als team hebben gewerkt. Er wordt gekeken naar de dingen die goed zijn gegaan maar er wordt ook gekeken naar de dingen die minder goed zijn gegaan en die de volgende keer beter zouden kunnen.

§17.1 Taakverdeling

Voor dit PWS hebben we een team gevormd van drie leden die een volledige meesterproef moeten doen en drie leden die alleen maar een PWS moeten maken. Dit levert moeilijkheden op bij het verdelen van de taken aangezien de helft van het team minimaal 80 uur in het project moet steken en het andere deel van het team moet er per persoon minimaal 200 uur in steken. We probeerden hier rekening mee te houden bij het verdelen van de taken maar uiteindelijk was het verschil tussen beiden delen van het team toch kleiner dan bedoeld.

§17.2 Samenwerking

De samenwerking tussen de groepsleden tijdens het maken van dit PWS was erg goed. Iedereen wist wat hij moest doen en als iemand ergens hulp bij nodig had was er altijd wel iemand die bereid was om even te helpen. Ook werd er continu feedback gegeven op stukken door andere teamleden om zo de kwaliteit hoog te houden en te verbeteren.

§17.3 Planning

Voordat we begonnen met het schrijven van dit PWS hebben we een planning gemaakt. Volgens deze planning hebben we iets te lang genomen voor het schrijven van dit PWS waardoor we nu iets achterlopen met onze meesterproef, maar het is niet te veel tijd om bij te kunnen werken.

§17.4 Communicatie

Onze communicatie naar onze expert en begeleidende docent was naar ons gevoel erg goed. We hebben tijdens de O&O lessen regelmatig met de begeleidende docent besproken hoe we ervoor stonden en waar we tegenaan liepen. Ook de communicatie met onze expert was erg goed, zo hebben we bijvoorbeeld met de hele groep een bezoek gebracht aan onze expert aan de universiteit Utrecht om het te hebben over onze opdracht. Verder hebben we ook feedback gevraagd en ontvangen van onze expert over de voor hem relevante stukken.

Hoofdstuk 18: bijlagen

§18.1 literatuurlijst

Hoofdstuk 1: Wat is een CanSat

Esero. (c. 2022). CanSat Competition Guidelines 2022-2023 [Internet]. In Dutch CanSat competition 22-23 (22ste–23ste editie).
https://e01bcc0b8bce475c872e77ccce39cbe1.objectstore.eu/esero_nl/production/uploads/pdf/file/267/aedd7951-4cfb-4c19-bb31-02c24cf83b82_1630417634.pdf

Hoofdstuk 2: Wat is luchtkwaliteit

Roetfilter. (2022, 8 juni).

<https://www.anwb.nl/auto/onderhoud-en-reparatie/auto-onderdelen/roetfilter>

Fijnstof. (z.d.). Atlas Leefomgeving.

<https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/schone-lucht/fijnstof>

Vries, W. de & Erisman, J. W. (2021, 21 januari). Ammoniak schadelijker voor natuur, stikstofoxiden voor de gezondheid. Biowetenschappen & Maatschappij.

<https://www.biomaatschappij.nl/artikel/ammoniak-schadelijker-voor-natuur-stikstofoxiden-voor-de-gezondheid/>

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2022, 29 juni). Aandeel hernieuwbare energie daalt ondanks stijging zon- en windenergie.

<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/26/aandeel-hernieuwbare-energie-daalt-ondanks-stijging-zon-en-windenergie>

Segaar, E. (2022, 29 juni). Mest zonder ammoniak: is dit de oplossing voor de stikstofcrisis? Change Inc.

<https://www.change.inc/agri-food/deze-machine-haalt-stikstof-direct-uit-mest-oplossing-voor-de-stikstofcrisis-boeren-38531>

Ammoniakemissie door de land- en tuinbouw, 1990-2020 | Compendium voor de Leefomgeving. (n.d.).

<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0101-ammoniakemissie-door-de-land--en-tuinbouw?ond=20885>

Roet | Gezond Leven. (z.d.-b).

<https://www.gezondleven.be/themas/gezondheid-en-milieu/gezond-buiten/roet>

Stikstofoxiden | Gezond Leven. (n.d.).

<https://www.gezondleven.be/themas/gezondheid-en-milieu/gezond-buiten/stikstofoxiden>

GGD Leefomgeving. (2020, 23 november). Wat zijn de gezondheidsrisico's van luchtvervuiling?

<https://ggdleefomgeving.nl/lucht/luchtvervuiling/luchtvervuiling-en-gezondheid/>

Borghardt, R. (2021, 24 juni). Stikstof: wat is het, wat zijn de gevolgen en wie is er verantwoordelijk? Greenpeace Nederland.

https://www.greenpeace.org/nl/natuur/46684/stikstof-wat-is-het-wat-zijn-de-gevolgen-en-wie-is-er-verantwoordelijk/?gclid=CjwKCAiAmuKbBhA2EiwAxQnt7_PjWccVFnmCNL-uNTueDuK3QbzMdFX-hiif15FjfRzy7tduP9A8BoChQAQAvD_BwE

Vries, H. A. de. (2022, 4 mei). De échte oplossing voor de stikstofcrisis? Minder vee. Greenpeace Nederland.

<https://www.greenpeace.org/nl/natuur/322/veestapel-moet-krimpen-met-beleid/>

<https://www.hartstichting.nl/oorzaken/fijnstof>

Fijnstof. (n.d.). Kenniscentrum InfoMil. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/stof/handreiking-fijn-1/sitemap/fijn-stof/>

Invloed omgeving op luchtkwaliteit. (n.d.). Informatiepunt Leefomgeving. <https://iplo.nl/thema/lucht/vaststellen-luchtkwaliteit/achtergrond/invloed-omgeving-luchtkwaliteit/>

KNMI - Veelgestelde vragen over de ozonlaag. (z.d.). <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/twintig-vragen-en-antwoorden-over-de-ozonlaag>

KWF Kankerbestrijding. (2021, 7 oktober). Luchtverontreiniging. KWF. <https://www.kwf.nl/standpunten/luchtverontreiniging>

KMI - Ozon. (z.d.). KMI. <https://www.meteo.be/nl/info/weerwoorden/ozon>

Milieu Centraal. (z.d.-b). Welke klapper maak jij voor het klimaat? <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/klimaatklappers/>

Verkeer verziekt klimaat meer dan gedacht. (z.d.). Milieudefensie. <https://milieudefensie.nl/actueel/verkeer-verziekt-klimaat-meer-dan-gedacht>

Ozon in de atmosfeer neemt toe – en dat is een probleem. (2022, 12 december). New Scientist. <https://www.newscientist.nl/nieuws/ozon-in-de-atmosfeer-neemt-toe-en-dat-is-een-probleem/>

Louter, A. (z.d.). * Links naar andere websites. <http://www.ongezondelucht.nl/index.php/links-naar-andere-websites?view=article>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022, 1 augustus). Klimaatbeleid. Klimaatverandering | Rijksoverheid.nl. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>

Smog door ozon. (z.d.). RIVM. <https://www.rivm.nl/smog/smog-door-ozon>

Stikstof - Ammoniak (NH₃). (z.d.). RIVM. <https://www.rivm.nl/stikstof/ammoniak>

Fijn stof (PM_{2,5}/PM₁₀). (z.d.). Samen meten aan luchtkwaliteit. <https://samenmeten.nl/fijn-stof-pm25pm10>

Roode, M. de. (2017, 22 augustus). De Industriële Revolutie: werd het leven beter? Scientias.nl. <https://scientias.nl/de-industriële-revolutie-werd-het-leven-beter/>

Zo maak je vloeibare elektriciteit. (z.d.). TU Delft. <https://www.tudelft.nl/delft-integraal/articles/zo-maak-je-vloeibare-elektriciteit>

Hofstede, S. (2022b, juni 22). Nederlandse landbouw een van de intensiefste van Europa, mede door grote veestapel. de Volkskrant. <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/nederlandse-landbouw-een-van-de-intensiefste-van-europa-mede-door-grote-veestapel~b19ed95a/>

Hoofdstuk 3: Hoe wordt luchtkwaliteit gemeten

What's best for measuring ozone, electrochemical sensors or HMOS? (2016, 8 september). Aeroqual. <https://www.aeroqual.com/blog/electrochemical-sensors-hmos>

Stamatakis, J. (z.d.). What You Need to Know About Particulate Matter Sensors. <https://blog.attuniot.com:443/particulate-matter-sensors>

Care4Air | Measuring Air Pollutants. (z.d.). Care4Air. <https://www.care4air.org/air-pollutants/measuring-air-pollutants/>

Hoe werken elektrochemische sensoren? (2022, 14 april). Crowcon Detection Instruments Ltd. <https://www.crowcon.com/nl/blog/how-do-electrochemical-sensors-work/>

NSW government. (2020, 6 november). Air pollutant units and conversion factors. NSW Environment and Heritage.

<https://www.environment.nsw.gov.au/topics/air/understanding-air-quality-data/units-and-conversion-factors>

EPA Victoria. (2019, april). Fact sheet: Particle sensors.

<https://www.epa.vic.gov.au/-/media/epa/files/publications/1745.pdf>

Elektrochemische Gas-Sensoren – Membrapor. (z.d.).

<https://www.membrapor.ch/elektrochemische-gas-sensoren/>

Monitoring Solutions 2022. (2017, 17 oktober). Continuous Emissions Monitoring Systems (CEMS) From A-Z: A Multi-Part Series - NOx Analyzer (Part 6). Monitoring Solutions.

<https://monsol.com/news/post/continuous-emissions-monitoring-systems-cems-from-a-z-a-multi-part-series-nox-analyzer-part-6>

How Do Electrochemical Sensors Work? (z.d.).

<https://www.processsensing.com/en-us/blog/how-do-electrochemical-sensors-work.htm>

How Does An Ozone Sensor Work? - Renke. (2021, 7 juni).

<https://www.renkeer.com/ozone-sensor-work-principle/>

2B Technologies. (2021, 9 december). How a UV Absorbance Ozone Monitor Works.

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VXghNaf672E>

Hoofdstuk 4 Sensoren voor de luchtkwaliteit

aeroqual. (z.d.). industrial ozone monitoring.

<https://www.aeroqual.com/sectors/industrial-ozone-monitoring>

Alphasense. (z.d.). NO2-B43F Nitrogen Dioxide Sensor

4-Electrode. alphasense.

<https://www.alphasense.com/wp-content/uploads/2019/09/NO2-B43F.pdf>

Compendium voor de Leefomgeving [CLO]. (z.d.). Stikstofdioxide in lucht, 1992-2020. clo.nl.

<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0231-stikstofdioxide>

Sharp. (2015, 6 februari). Sharp-Microelectronics-GP2Y1014AU0F. lcsc.

https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1905131608_Sharp-Microelectronics-GP2Y1014AU0F_C390729.pdf

national geographic. (z.d.). Altimeter | National Geographic Society.

<https://education.nationalgeographic.org/resource/altimeter/>

Samyoung. (z.d.). Particle / Dust Sensor Module DSM 501

Series. elektronik.ropla.

<https://www.elektronik.ropla.eu/pdf/stock/smy/dsm501.pdf>

Shinyei. (2010, maart). Particle Sensor Model PPD42NS.

seedstudio.

https://files.seedstudio.com/wiki/Grove_Dust_Sensor/resource/Grove_-_Dust_sensor.pdf

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI]. (z.d. -a). KNMI - Jaar 2021.

<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2021/>

Lenntech. (z.d.). Ozon inleiding - Lenntech. lentech.

<https://www.lenntech.nl/bibliotheek/ozon/ozon-inleiding.htm>

membrapor. (z.d.). Nitric Oxide Gas Sensor NO/C-1.

<https://www.membrapor.ch/sheet/Nitric-Oxide-Gas-Sensor-NO-C-1.pdf>

SGX sensortech. (z.d.-a). MiCS-2714 1107 rev 6. mouser.

https://www.mouser.com/datasheet/2/18/1107_Datasheet-MiCS-2714-1144844.pdf

Omron. (2019, 13 december). Development of air quality sensor for air purifier.
<https://www.omron.com/global/en/technology/omrontechnics/vol50/011.html>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (2011, 11 mei). Meten. RIVM.
<https://www.rivm.nl/fijn-stof/meten>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (z.d.-a). Luchtkwaliteit - stikstofdioxide. RIVM.
<https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/>

Hafkenscheid, Th. L. (2012). Vernieuwing meetopstellingen ozon in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit: Vergelijking van oude en nieuwe meetopstellingen. In openrepository (Nr. 680708012). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
<https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/255614/680708012.pdf?sequence=3>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (2017, 12 april). Waarschuwingsgrenzen en luchtkwaliteitsindex. RIVM.
<https://www.rivm.nl/smog/waarschuwingsgrenzen-en-luchtkwaliteitsindex>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (z.d.-d). Stikstof - Meten. RIVM. <https://www.rivm.nl/stikstof/meetnetten>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (z.d.-e). Stikstofoxiden (NO_x). RIVM. <https://www.rivm.nl/stikstof/stikstofoxiden-nox>

Sensorion. (z.d.). Particulate matter sensing for air quality measurements. sensorion.com
gezondheidseffecten-luchtverontreiniging/luchtkwaliteit-stikstofdioxide

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (z.d.-b). Ozon (O₃). Samen meten aan luchtkwaliteit. <https://samenmeten.nl/ozon-o3>

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu [RIVM]. (z.d.-c). Sensoren voor NO₂. Samen meten aan luchtkwaliteit. <https://samenmeten.nl/sensoren-voor-no2>

ensing-for-air-quality-measurements/
<https://sensirion.com/products/product-insights/specialist-articles/particulate-matter-sensing-for-air-quality-measurements/>

Ser. (2006, 28 december). Grenswaarden Ozon. ser. <https://www.ser.nl/nl/thema/arbeidsomstandigheden/Grenswaarden-gevaarlijke-stoffe>

SGX sensortech. (z.d.-b). MiCS-4514 0278 rev 15. sgxsensortech.
https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2014/08/0278_Datasheet-MiCS-4514.pdf

SGX sensortech. (z.d.-c). MiCS-6814 1143 rev 8. sgxsensortech.
https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2015/02/1143_Datasheet-MiCS-6814-rev-8.pdf

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co. (2014, 1 mei). Ozone Gas

Sensor(Model: MQ131 Low Concentration) . sparkfun.
<https://cdn.sparkfun.com/assets/9/9/6/e/4/mq131-datasheet-low.pdf>

hinyei_PPD42NJ_Spec_Sheet.pdf

Spec Sensors. (2019, maart). 3SP_O3_20 C Package 110-407. spec sensors.

https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2020/03/3SP_O3_20-C-Package-110-407.pdf

Particle Sensor Model PPD42NS

Shinyei. (2013, 13 maart). Shinyei PPD42NJ Spec Sheet. Tinytronics.

https://www.tinytronics.nl/shop/index.php?route=product/product/get_file&file=1060/

De luchtdruk bepalen met de barometrische hoogteformule. (z.d.). InfoNu.

<https://wetenschap.infonu.nl/weer/184498-de-luchtdruk-bepalen-met-de-barometrische-hoogteformule.html>

Hoofdstuk 5: Barometer

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998, 20 juli). Atmospheric pressure | Definition & Variation. Encyclopedia Britannica.

<https://www.britannica.com/science/atmospheric-pressure>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998b, juli 20). Atmospheric pressure | Definition & Variation. Encyclopedia Britannica.


<https://www.britannica.com/science/atmospheric-pressure>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998c, juli 20). millibar | measurement.

Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/millibar>

What you need to know before you buy a barometer. (z.d.). Hemswell Antique Centres.

<https://www.hemswell-antiques.com/blog/2021/3/5/what-you-need-to-know-before-you-buy-a-barometer>

Pastoor, J. (z.d.).  luchtdruk meten.

<https://inask.nl/index.php/13-Onderwerpen/Materialen/86-luchtdruk-meten>

Den, mmHg or kPa? | Knowledge. (z.d.). Ofa Bamberg.

<https://www.ofa-bamberg.com/en/knowledge/faqs/den-mmhg-or-kpa/>

Hendriks, I. G. (2017). De Geo - Aarde Systeem aarde Studieboek vwo: aardrijkskunde voor de bovenbouw havo en vwo (5de editie). ThiemeMeulenhoff bv.

<https://randomnerdtutorials.com/author/sara-santos/#author>. (2020, 25 juli). Guide for BME680 Sensor with Arduino (Gas, Temperature, Humidity, Pressure). Random Nerd Tutorials.

<https://randomnerdtutorials.com/bme680-sensor-arduino-gas-temperature-humidity-pressure/>

Barometric pressure sensor | Electronics Basics | ROHM. (z.d.).

<https://www.rohm.com/electronics-basics/sensor/barometric-pressure-sensor>

Aneroide barometer Nederlands. (2017, 3 oktober). Rose barometers.

<https://www.rosebarometers.nl/aneroide-barometer-nederlands>

Kwikbarometer Archieven. (1AD). Rosebarometers. Geraadpleegd op 13 december 2022, van <https://www.rosebarometers.nl/category/antiek-2/kwikbarometers/>

Buchholz, K. (2019, 6 juni). Only Three Countries in the World (Officially) Still Use the Imperial System. Statista Infographics.

<https://www.statista.com/chart/18300/countries-using-the-metric-or-the-imperial-system/>
The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998a, juli 20). Atmospheric pressure | Definition & Variation. Encyclopedia Britannica.

Zuo, B. (z.d.). Seed Barometer Sensor Selection Guide - Seed Wiki.

<https://wiki.seedstudio.com/Barometer-Selection-Guide/>

Awati, R. (2022, 10 mei). pascal. WhatIs.com.

<https://www.techtarget.com/whatis/definition/pascal-unit-of-pressure-or-stress>

Druk. (z.d.). TinyTronics. <https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/druk>

BMP388 Sensor Module met Level Converter - Luchtdruk-Barometer - Temperatuur. (z.d.). TinyTronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/druk/bmp388-sensor-module-met-level-converter-luchtdruk-barometer-temperatuur>

BME680 Sensor Module met Level Converter - Luchtdruk - Luchtkwaliteit - Luchtvochtigheid - Temperatuur. (z.d.). TinyTronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/druk/bme680-sensor-module-met-level-converter-luchtdruk-luchtkwaliteit-luchtvochtigheid-temperatuur>

Aneriod barometer movement. (2012, 28 april). wetenschapsforum.nl. Geraadpleegd op 13 december 2022, van <https://www.wetenschapsforum.nl/viewtopic.php?t=173109>

Hoofdstuk 6: Temperatuursensor

Beste Analoge thermometer: Winkelgids en Aanbevelingen ([kb_sdate]). (2022, 11 april).

ADVIESJAGERS. Geraadpleegd op 2 november 2022, van

<https://www.adviesjagers.nl/beste-analoge-thermometer/>

Hendriks, I. G. (2017). De geo Aarde, systeem aarde Leeropdrachtenboek VWO: aardrijkskunde voor de bovenbouw havo en vwo (5de editie). ThiemeMeulenhoff bv.

How Do Temperature Sensors Work? (2022, 4 november). Atlas Scientific.

<https://atlas-scientific.com/blog/how-do-temperature-sensors-work/>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2022, 24 augustus). temperature | Definition, Scales, Units & Facts. Encyclopedia Britannica. Geraadpleegd op 2 november 2022, van

<https://www.britannica.com/science/temperature>

5.2.6 Semiconductor temperature sensors. (2022, 17 mei). DSPE.

<https://www.dspe.nl/knowledge/thermomechanics/chapter-5-measurement/5-2-contact-sensors/5-2-6-semiconductor-temperature-sensors/>

Fahrenheit een andere warmte-eenheid | Essent. (z.d.). Geraadpleegd op 2 november 2022, van <https://www.essent.nl/kennisbank/stroom-en-gas/energiebegrippen/fahrenheit>

KNMI - Luchtkwaliteit in een warmer klimaat. (z.d.). Geraadpleegd op 6 november 2022, van <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/luchtkwaliteit-in-een-warmer-klimaat>

Absolute temperatuur. (2022). inask.nl. Geraadpleegd op 2 november 2022, van

<https://inask.nl/index.php/13-Onderwerpen/Materialen/93-absolute-temperatuur>

Temperatuur. (z.d.). TinyTronics. Geraadpleegd op 6 november 2022, van

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/temperatuur>

Hoofdstuk 7: Radio gebruik en andere vormen van communicatie

Storing en ruis FM radio ontvangst? Wij hebben verschillende oplossingen! (z.d.).

<https://www.arobantennebouw.nl/blog/storing-en-ruis-fm-radio-ontvangst/>

Stark, W. E. (2022, 30 september). telecommunication | Technology, Examples, Devices & Facts. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/technology/telecommunication>

Hero, A. O. (2022, 17 augustus). telecommunications media | Definition, Types, Examples, Technology & Facts. Encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/topic/telecommunications-media>

Digikey. (2016, 8 oktober). Inleiding tot LoRa-technologie. digikey.nl. Geraadpleegd op 13 november 2022, van <https://www.digikey.nl/nl/maker/blogs/introduction-to-lora-technology>

What Is the Range of a Typical Wi-Fi Network? (2020, 6 november). Lifewire.
<https://www.lifewire.com/range-of-typical-wifi-network-816564>

Macdonald, D. (2007, 14 juni). The AIRcable Host XR: The only long-range (10 km-class) Bluetooth® USB dongle, with range up to 30km. PR Leap.
<https://www.prleap.com/pr/81440/the-aircable-host-xr-the-only-long-range-10-km>

What are the uses of telecommunication in daily life? (z.d.). Quora.
<https://www.quora.com/What-are-the-uses-of-telecommunication-in-daily-life>

Using Radio to Transmit and Receive Data - Ritron DTX. (z.d.).
<https://www.ritron.com/using-radio-to-transmit-and-receive-data-ritron-data-telemetry-transceiver>

robotshop.com. (2008, 22 augustus). APC220 Radio Data Module. Geraadpleegd op 13 november 2022, van <https://www.robotshop.com/media/files/PDF/dfrobot-apc220-manual.pdf>

Starlink. (z.d.). HET MEEST GEAVANCEERDE BREEDBAND SATELLIETINTERNET TER WERELD. starlink.com. Geraadpleegd op 9 november 2022, van <https://www.starlink.com/technology>

Seed Studio Grove LoRa-E5 - LoRaWAN - 868-915MHz. (z.d.). TinyTronics.
<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/communicatie-en-signalen/draadloos/lora/modules/seed-studio-grove-lora-e5-lorawan-868-915mhz>

Lesics. (2019, 12 februari). Optical fiber cables, how do they work? | ICT #3 [Video]. YouTube. Geraadpleegd op 9 november 2022, van <https://www.youtube.com/watch?v=jZOg39v73c4>

Hoofdstuk 8: De accelerometer

Freescale Semiconductor (2010, maart). MMA8450Q Datasheet. Alldatasheets
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/332720/FREESCALE/MMA8450Q.html>

ST. (2012, April). AIS328DQTR datasheet. Alldatasheets
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/555619/STMICROELECTRONICS/AIS328DQTR.html>

Invensense. (2013, 13 augustus). MPU-6000 Datasheet. Geraadpleegd op 4 december 2022, van <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>

KNMI. (z.d.). KNMI - Meteorologische meetinstrumenten. Geraadpleegd op 2 November 2022. <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/meteorologische-meetinstrumenten>

SparkFun. (z.d.). Accelerometer Basics - SparkFun Learn. Geraadpleegd op 2 november 2022.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics/all>

Hoofdstuk 9: De Camera

Lodewijks, B. (2020, 2 november). De werking van digitale camera's. TechPulse.
<https://techpulse.be/premium/610/de-werking-van-digitale-cameras-2/>

OmniVision (2009, 8 Januari). OV5642 Datasheet. Uctronics.
https://www.uctronics.com/download/cam_module/OV5642DS.pdf
OmniVision. (2005, 8 juli). OV7670 Datasheet. Voti.
<http://www.voti.nl/docs/OV7670.pdf>

Hoofdstuk 10: GPS

Synacorp (z.d.). GY-NEO6MV2 Datasheet. van Epitran
<https://www.epitran.it/ebayDrive/datasheet/NEO6MV2.pdf>
N. N. (2022, 24 maart). Hoe werkt gps en wat is gps? GPS Wijzer. Geraadpleegd op 9 november 2022, van
<https://www.gps-wijzer.nl/gps-informatie-garmin/wat-is-gps-en-hoe-werkt-gps/>
Universiteit Hasselt (z.d.). GPS. Universiteit Hasselt.
Geraadpleegd op 9 november 2022, van
https://www.uhasselt.be/media/stoj1tn4/gps_cursustekst.pdf

Hoofdstuk 11: Veilig landen van de CanSat

Airbag. (2022, 5 augustus). Geraadpleegd op 20 november 2022, van
<https://www.anwb.nl/auto/onderhoud-en-reparatie/auto-onderdelen/airbag>
Woodford, C. (2021, 13 mei). Parachutes design. Geraadpleegd op 18 november 2022, van
<https://www.explainthatstuff.com/how-parachutes-work.html>
Schokdempers. (2021, 29 juni). Geraadpleegd op 23 november 2022, van
<https://www.anwb.nl/auto/onderhoud-en-reparatie/auto-onderdelen/schokdempers>
https://www.researchgate.net/profile/Tayfun-Tezduyar/publication/3422563_Computational_methods_for_modeling_parachute_systems/links/5747a0a708aef66a78b07ef6/Computational-methods-for-modeling-parachute-systems.pdf
Nylon kosten. (2018 april). Geraadpleegd op 23 november 2022, van
<https://www.kunststofshop.nl/nylon-pa6/nylon-plaat/g-10000081>
Handbook for parachutes. (2007). Geraadpleegd op 23 november 2022, van
https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/media/powered_parachute_handbook.pdf

Hoofdstuk 13: Welke materialen zijn geschikt voor het bouwen van de CanSat?

123-3D.nl. (z.d.). 123-3D.nl - 3D-printers | kits | parts | filament
<https://www.123-3d.nl/page/laagscheiding-splitsing-3d-print.html>

Hoofdstuk 14: Berekening van de hoogte

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI]. (z.d.-b). KNMI - Temperatuur.
knmi.
<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/temperatuur>
aero. (z.d.). Use of Radio Altimeter | SKYbrary Aviation Safety.
<https://www.skybrary.aero/articles/use-radio-altimeter>
Grigorie, T. L., Dinca, L., Corcau, J. I. & Grigorie, O. (2010, juli). Aircrafts' Altitude Measurement Using Pressure Information: Barometric Altitude and Density Altitude.
wseas. <http://www.wseas.us/e-library/transactions/circuits/2010/89-895.pdf>

§18.2 figuren literatuurlijst

Figuren hoofdstuk 2: Wat is luchtkwaliteit?

§2.3

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [KNMI]. (z.d.). Stratospheric Ozone Production. KNMI.

<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/twintig-vragen-en-antwoorden-over-de-ozonlaag>

Ozone (2018). 20-questions-and-answers

<https://ozone.unep.org/20-questions-and-answers>

§2.4

Jansen, E. (2022, July 31). Bericht auteur: Erik Jansen. Polderklimaat.

<https://www.polderklimaat.nl/het-stikstofprobleem-is-echt-nederlands-of-niet-dan/>

Jasper Vis (@vision23). (2018, July 30). De helft van de elektriciteit duurzaam in 2025? En 75% in 2030? In Nederland? Hoe dan? Energieblog Van Jasper Vis.

<https://jaspervis.wordpress.com/2018/07/29/de-helft-van-de-elektriciteit-duurzaam-in-2025-en-75-in-2030-in-nederland-hoe-dan/>

Figuren hoofdstuk 3: Hoe wordt luchtkwaliteit gemeten?

§3.1

Monitoring Solutions 2022. (n.d.). Continuous Emissions Monitoring Systems (CEMS) From A-Z: A Multi-Part Series - NOx Analyzer (Part 6). Monitoring Solutions.

<https://monsol.com/news/post/continuous-emissions-monitoring-systems-cems-from-a-z-a-multi-part-series-nox-analyzer-part-6>

ME3-NO2 Gas Sensor--Winsen. (z.d.).

<https://www.winsen-sensor.com/sensors/toxic-gas-sensor/me3-no2.html>

Cretescu, I. (2017, May 31). Electrochemical Sensors for Monitoring of Indoor and Outdoor Air Pollution. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/55305>

§3.2

Stamatakis, J. (z.d.). What You Need to Know About Particulate Matter Sensors.

<https://blog.attuneiot.com:443/particulate-matter-sensors>

W, W. (2021, October 15). BLOG: De helende werking van infrarood licht. Paleo-Lifestyle.

<https://www.paleo-lifestyle.nl/blog-de-helende-werking-van-infrarood-licht/>

§3.3

2B Technologies. (2021, 9 december). How a UV Absorbance Ozone Monitor Works.

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VXghNaf672E>

Figuren hoofdstuk 4: Sensoren voor de luchtkwaliteit

3SP_O3_20 C Package 110-407. (2020, maart). spec sensors.

https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2020/03/3SP_O3_20-C-Package-110-47.pdf

Alphasense. (z.d.). Alphasense NO2-B1. alphasense.

<https://www.alphasense.com/products/nitrogen-dioxide/>

De optische rookmelder werking, types en aanschaffen. (2018, 4 januari). gezondverstandig.

<https://www.gezondverstandig.be/optische-rookmelder-werking/>

kiwi electronics. (z.d.). MICS6814 3-in-1 Gas Sensor Breakout (CO, NO2, NH3).

<https://www.kiwi-electronics.com/nl/mics6814-3-in-1-gas-sensor-breakout-co-no2-nh3-10901>

Low Concentration Ozone Gas Detection Sensor Module - MQ131. (z.d.). instock.

<https://instock.pk/low-concentration-ozone-gas-detection-sensor-module-mq131.html>

Membrapor. (2020, april). Compact gas sensors. membrapor.

<https://www.membrapor.ch/compact-gas-sensor/>

Model 49i Ozone Analyzer. (z.d.). thermo fisher.

<https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/49i>

Mouser. (z.d.). MICS-4514. mouser.

<https://nl.mouser.com/ProductDetail/Amphenol-SGX-Sensortech/MICS-4514?qs=YCa/AAy0137ZWFfytKcQ==>

mouser. (2022, 31 januari). DFRobot Fermion MEMS Gas Sensor - MiCS-2714 (Breakout).

<https://nl.mouser.com/new/dfrobot/dfrobot-fermion-mems-gas-sensor-mics-2714/>

Ozongenerator - 10.000 mg/h - 110 Watt - digitaal. (z.d.). expondo.

<https://www.expondo.nl/ulsonix-ozongenerator-10-000-mg-h-110-watt-digitaal-10050050>

Tinytronics. (z.d.-a). Samyoung Optische Stofsensoren DSM501A.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/stof/samyoung-optische-stofsensoren-dsm50>

Tinytronics. (z.d.-b). Sharp Optische Stofsensoren GP2Y1010AU0F.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/stof/sharp-optische-stofsensoren-gp2y1010au0f>

Tinytronics. (z.d.-c). Shinyei Optische Stofsensoren PPD42NS-PPD42NJ.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/stof/shinyei-optische-stofsensoren-ppd42ns>

Figuren hoofdstuk 5: Barometer

§5.1

Barometric pressure sensor | Electronics Basics | ROHM. (z.d.).

<https://www.rohm.com/electronics-basics/sensor/barometric-pressure-sensor>

§5.2

Avnet: Quality Electronic Components & Services. (z.d.).

Avnet: Quality Electronic Components & Services. (z.d.).

<https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/media-types/barometric/>

§5.3

Bosch. (z.d.). BMP280 Datasheet. In tinytronics.

BMP280 Digitale Barometer Druk Sensor Module. (z.d.). TinyTronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/druk/bmp280-digitale-barometer-druk-sensor-module>

Figuren hoofdstuk 6: Temperatuur

§6.1

(2022, 4 november). Atlas Scientific.

<https://atlas-scientific.com/blog/how-do-temperature-sensors-work/>

§6.2

Bosch. (z.d.). BMP280 Datasheet. In tinytronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/lucht/druk/bmp280-digitale-barometer-druk-sensor-module>

Figuren hoofdstuk 7: Figuren telecommunicatie

§7.1

Seeed Studio Grove LoRa-E5 - LoRaWAN - 868-915MHz. (z.d.). TinyTronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/communicatie-en-signalen/draadloos/lora/modules/seeed-studio-grove-lora-e5-lorawan-868-915mhz>

Figuren hoofdstuk 8: De accelerometer

§8.1

HTF Electronics (z.d.). MPU6050-6 As-Gyroscope Accelerometer Sensor. HTF Electronics, We Help Create Your Imagination!

<https://www.htfelectronics.nl/nl/mpu6050-6-as-gyroscope-accelerometer-sensor.html>

Figuren hoofdstuk 9: De camera:

§9.1

Zwet, A. van. (2022, 17 augustus). Spiegelreflexcamera's.

<https://www.consumentenbond.nl/fotocamera/spiegelreflexcameras>

§9.2

tinytronics. (z.d.). tinytronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/nl/sensoren/optisch/camera%27s-en-scanners/ov7670-cmos-camera-module>

Figuren hoofdstuk 10: GPS

§10.1

GPS Wijzer. (2022, 24 maart). Hoe werkt gps en wat is gps?

<https://www.gps-wijzer.nl/gps-informatie-garmin/wat-is-gps-en-hoe-werkt-gps/>

§10.2

tinytronics. (z.d.). tinytronics.

<https://www.tinytronics.nl/shop/en/communication-and-signals/wireless/gps/modules/gy-neo6mv2-gps-module>

Figuren hoofdstuk 11: Veilig landen van de CanSat

§11.1

Woodford, C. (2021, 13 mei). Parachutes design. Geraadpleegd op 18 november 2022, van

<https://www.explainthatstuff.com/how-parachutes-work.html>

§11.2

Guided Parafoil High Altitude Research II. (n.d.). Flight Opportunities.
<https://flightopportunities.ndc.nasa.gov//technologies/186/>

§11.3

Schokdempers. (2021, 29 juni). Geraadpleegd op 23 november 2022, van
<https://www.anwb.nl/auto/onderhoud-en-reparatie/auto-onderdelen/schokdempers>

Figuren hoofdstuk 12: De CanSat terugvinden

§12.3

Wikipedia-bijdragers. (2020, October 1). Kleurencirkel. Wikipedia.
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Kleurencirkel>

§18.3 logboek

Voor ons logboek kunt u op de onderstaande link klikken:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1e8PZmAWGswwQyLZQEx4uayr_xut9rVtUuNN0yI1zIwc/edit?usp=sharing