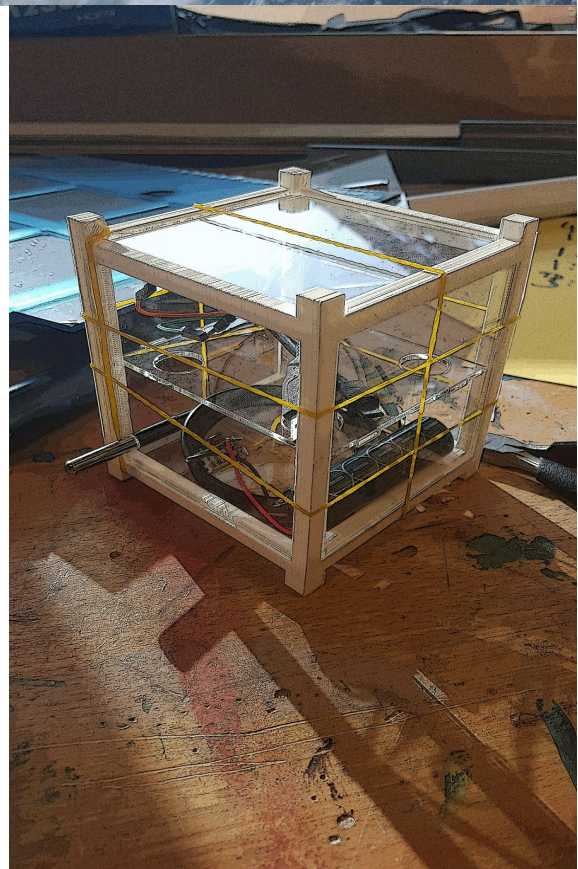
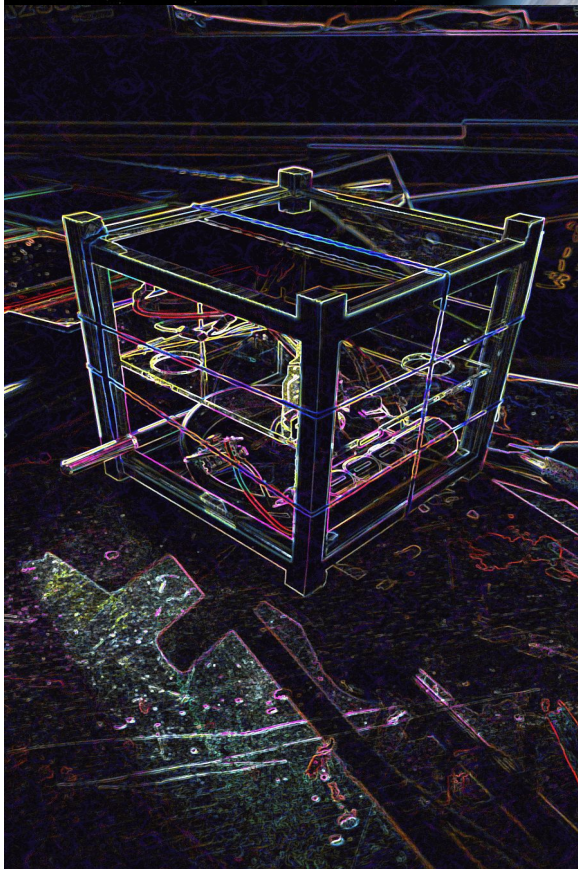
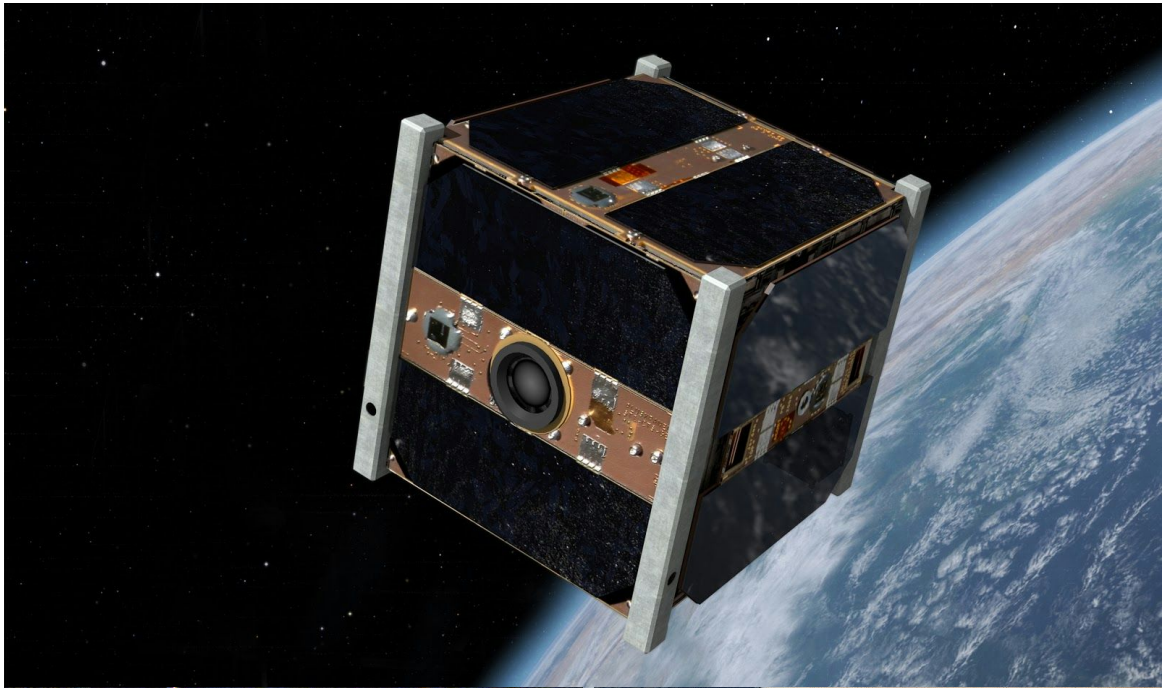


Cubesat



Yusuf Kaya
Willem Bartelsman

Jan Berendrecht
Daniel Siha
Joey Katsburg

Samenvatting

In de IT wereld is het oplossen van een probleem niet iets nieuws. Dingen moeten beter of sneller, groter of kleiner en meestal ook tegen een lagere prijs. De technische wereld gaat in korte tijd met enorme sprongen vooruit. Als voorbeeld, de mobiele telefoon: vroeger (zo'n 40-50 jaar geleden) was de telefoon een gigantisch toestel en slechts enkele mensen (met hoge functies en een goed inkomen) hadden een dergelijk toestel. De kosten waren enorm en daar kwam nog eens bij dat de kwaliteit en het aanbod aan functies, in vergelijking tot hedendaagse telefoons, vrijwel niks was. De technische wereld blijft zich echter op hoog tempo ontwikkelen, prijzen worden lager en kennis moet steeds sneller worden vergaard. De snelle ontwikkeling en grote vraag naar technologische hoogstandjes, maakt dingen mogelijk die wij een paar decennia geleden nog niet voor mogelijk hadden gehouden: zelfs kinderen hebben nu mobiele telefoons.

Hetzelfde geldt voor ons project met betrekking tot satellieten. Satellieten worden meestal gezien als reusachtige apparaten die miljoenen zouden kunnen kosten. Ook wordt er dan gedacht dat slechts gespecialiseerde instellingen of bedrijven zoals NASA of t-mobile/Vodafone daar gebruik van kunnen maken. Het zou een enorm voordeel bewerkstelligen als niet alleen bedrijven, maar ook middelbare scholen en universiteiten hun eigen satelliet kunnen bouwen voor eigen belangen en onderzoek. Het antwoord hierop is de Cubesat. De Cubesat is momenteel beschikbaar voor een hoge prijs, dit kan uiteraard goedkoper.

Net als veel complexe apparatuur bestaat de satelliet uit allerlei onderdelen, daarnaast worden in elke satelliet de duurste componenten gebruikt: het beste van het beste moet erin. Dit is te vergelijken met een computer, een computer bestaat uit bepaalde componenten; een processor, videokaart, werkgeheugen, moederbord etc. Afhankelijk van de functie van zo'n computer moet de basis van die computer ge-upgrade worden en gaat zo de prijs omhoog. Hetzelfde geldt dan ook voor onze satelliet. Het punt is dat de basis satelliet, te maken is voor een lagere prijs dan de prijs waarvoor een dergelijke satelliet nu te krijgen is. Als men eenmaal deze basis heeft, kan de persoon in kwestie zelf bepalen waarmee hij of zij deze basis uitbreidt.

Wij hebben als opdracht: het maken van een basis satelliet (Cubesat georiënteerd), bestaande uit de minimaal benodigde componenten. Daarnaast het aanleggen van een basis of start voor andere scholieren/doe-het-zelvers die geïnteresseerd zijn in het bouwen van een satelliet.

Inleiding

hoofdstuk 1. Introductie

- 1.1 Client
- 1.2 Project

hoofdstuk 2. motivatie

- 2.1 Onze situatie
 - 2.1.1 Probleemschets
 - 2.1.2 Ontmoeting met de opdrachtgever
 - 2.1.3 Hoofdvraag en deelvragen
- 2.2 Praktische gerelateerde
 - 2.2.1 Contact met TU delft

hoofdstuk 3. Theorie

- 3.1 Literatuur onderzoek satellieten
 - 3.1.1 Geschiedenis satelliet
 - 3.1.2 Ontstaan satellieten
 - 3.1.3 Werking van satelliet
 - 3.1.4 Communicatie satellieten
 - 3.1.5 Research satellieten
- 3.2 Componenten
 - 3.2.1 Componenten
 - 3.2.2 Boordcomputer

hoofdstuk 4. Doel van het project

- 4.1 Uitwerking van de deelvragen

hoofdstuk 5. werk en methode

- 5.1 Plan van aanpak

hoofdstuk 6. resultaten en conclusies

- 6.1 Stand van zaken 10 december
 - 6.1.1 Resultaten maart
- 6.2 Conclusies

hoofdstuk 7. discussie en advies

- 7.1 Leer momenten
- 7.2 Advies

hoofdstuk 8: literatuur

- 8.1 Bronnen
-

hoofdstuk 9: Logboek

- 9.1 Planning
- 9.2 Logboek
- 9.3 Bijlage

Hoofdstuk 1

1.1 Cliënt

Onze opdrachtgever is de heer Joost Oranje, Space system engineer, van het bedrijf CGI Nederland BV. Het bedrijf is werkzaam op meerdere markten en verleent meerdere diensten, dit maakt het een grootschalig en veelzijdig bedrijf. Enkele diensten zijn applicatieontwikkeling en -onderhoud, Customer experience management, elektrisch rijden, IT Asset Management en nog veel meer. Naast deze diensten houdt het CGI zich ook bezig met de ontwikkeling van beveiliging en protocols voor ruimtevaartsystemen, een mooi voorbeeld hiervan is de betrokkenheid van het CGI bij het project Galileo (De ontwikkeling van een Europees Navigatiesysteem). De grootste speler in dit project is de European Space Agency (ESA), die bevestigt dat CGI een grote rol speelt in het project wat betreft het verbeteren van het ruimtevaartstelsel en het aanbrengen van een passend en complex beveiligingssysteem.

Zoals al duidelijk is gemaakt, is het CGI een veelzijdig bedrijf met onder andere een tak in het ontwikkelen van protocollen en beveiliging voor ruimtevaartsystemen. Dit is dan ook de reden dat wij een project hebben gekregen waarbij sprake is van veel raakvlakken met de ruimtevaartbranche. Ons project bestaat uit het ontwikkelen van een versimpelde en goedkopere vorm van de bestaande CubeSat, daarbij het leveren van een handleiding om het stappenplan van het in elkaar zetten van een satelliet over te dragen aan andere scholen en/of universiteiten. Deze satellieten kunnen worden gebruikt voor educatieve doeleinden, daarbij hoeven er geen grote bedragen meer gespendeerd te worden aan eventuele apparatuur in de vorm van satellieten etc.

1.2 Project

Ons project houdt zich bezig met overdraagbaar maken van de informatie: 'hoe maak je een satelliet?'. De overdracht moet kunnen plaatsvinden via een site die beschikbaar moet worden gemaakt voor studenten/leerlingen die geïnteresseerd zijn in het maken van een satelliet voor eigen onderzoek. Dit biedt de studenten/leerlingen een betere kans tot het ontdekken van technische achtergronden van astronauten wereld.

Hoofdstuk 2

2.1 Onze situatie

Onze situatie houdt in dat we ons als het ware moeten gedragen als auteurs van een website die een wel functionerend recept voor het bouwen van een satelliet moeten verzinnen. Hierbij is het eerst zelf maken van een satelliet enorm van belang. Het opbouwen van ervaring wat betreft het bouwen van een satelliet, is de sleutel tot het overbrengen van informatie. De satelliet waar we het over hebben is de Cubesat van 1u: een klein satelliet met de inhoud van 1 liter (10 dm^3). De Cubesat moet door middel van sensoren gegevens kunnen afkomstig uit de omgeving. Temperatuur, plaats, lichtintensiteit en een draadloze verbinding (2-weg-communicatie) zijn de basis vereisten en als extra een camera. Dat de Cubesat daadwerkelijk word gelanceerd is geen vereiste.

2.1.1 Probleemschets

Construeer een stappenplan voor het bouwen van een basis satelliet (Cubesat georiënteerd), om deze informatie vervolgens over te kunnen dragen op andere scholen/instellingen via een website.

2.1.2 ontmoeting met de opdracht gever

De ontmoeting met de opdracht gever heeft plaatsgevonden op 14 oktober 2015 bij het bedrijf CGI. Er zijn toen vragen gesteld over het project waar van te voren op werd georiënteerd. Zo was de vraag naar 2-weg-communicatie besproken en is er bepaald dat de gemeten gegevens via een draadloze communicatie zullen worden doorgestuurd. Ook is er duidelijkheid gekomen over het daadwerkelijk gebruiken van de Cubesat (of deze in ruimte werd geschoten en of dat een vereiste is). Ook zijn er tips en adviezen gegeven door onze opdrachtgever wat betreft het componentenmodel van een dergelijke satelliet.

2.1.3 Hoofd en deel vragen

Hoofdvraag: Wat is het verband tussen de prijs en prestatie van een CubeSat?

Deelvragen;

- Wat zijn de functies van een CubeSat?
 - Uit welke componenten bestaat een CubeSat?
 - Welke componenten zijn essentieel voor het goed functioneren van een CubeSat?
 - Hoeveel kosten de essentiële onderdelen van een CubeSat?
 - Welke mogelijke boordcomputers zijn er?
- Hoe krijg je data uit de CubeSat op aarde?
 - Hoe werken satellieten?

Hoofdstuk 3

3.1 literatuur onderzoek satellieten

Het literatuurverslag dient als vooronderzoek op het praktijk gedeelte van dit project: het maken van de satelliet en de handleiding. Het is daarnaast een middel om ons en anderen een achtergrond te geven waarop men kan verder bouwen. Het is uiteraard makkelijker om een project uit te voeren met kennis van enige achtergrond informatie of verdieping in het onderwerp. Het theoretisch kader bestaat uit een aantal delen, dit zijn de richtlijnen voor het onderzoeken en verwerken van literatuur.

3.1.1 wat zijn satellieten

De naam satelliet wordt door mensen vaak gelijk verbonden aan het idee van een vliegende machine in staat om contact te leggen met centra op aarde, deze machine

vliegt vaak in een baan om de aarde of een ander lichaam in de ruimte. Hoewel het idee van een machine weliswaar één van de concepten van een satelliet is, zijn er nog meerdere betekenissen. Een satelliet kan namelijk ook staan voor een maan of planeet, deze moet echter wel in een baan om een planeet of staar bewegen. Aarde is een voorbeeld van een satelliet, het is een planeet die in een baan om de zon beweegt. Daarnaast is de maan ook een satelliet, deze draait namelijk om de aarde.

Naast natuurlijke satellieten zoals de aarde en de maan, zijn er ook duizenden kunstmatige (door de mens gemaakte) satellieten. Deze satellieten bewegen in een baan om de aarde. Er zijn meerdere functies die satellieten kunnen vervullen, maar ze kunnen wel degelijk allemaal terug geleid worden naar één hoofdzakelijke functie: het verzamelen van informatie. Het soort informatie die een satelliet verzameld, is afhankelijk van het soort satelliet (verder behandeld in de theorie). Satellieten zijn als aller eerste gebouwd om meer kennis te vergaren en meer begrip te krijgen over ons zonnestelsel en het universum om ons heen. In dit verslag focussen wij ons op kunstmatige satellieten, de natuurlijke satellieten laten we terzijde.

3.1.2 ontstaan satellieten

Het tijdperk satellieten werd ingeleid in het jaar 1957, het was in deze tijd dat de Sovjet Unie de wereld schokte met de aller eerste satelliet: de Sputnik. Er was in die tijd sprake van veel spanning tussen de Verenigde staten en de Sovjet Unie, mede door de tweede wereldoorlog. Deze spanning creëerden een zekere competitie tussen de twee grootmachten op verschillende technische gebieden, zo ook het gebied ruimtevaart.

De strijd tussen Amerika en de Sovjet Unie op gebied van ruimtevaart begon pas echt toen Amerika als reactie op de Sputnik ook hun eerste satelliet lanceerde: Explorer 1. Deze satelliet werd gelanceerd op 31 januari, 1958.

De start voor de lanceerprocedures en technieken van satellieten werd gegeven door Wernher von Braun, met zijn ontwerp van de V2 raket. Wernher werkte na de tweede wereldoorlog voor de Amerikaanse overheid en had een belangrijk aandeel in de Amerikaanse ruimtevaarttechniek. Onder zijn supervisie vond de ontwikkeling van de Jupiter C raket plaats, die verantwoordelijk was voor het in de ruimte brengen van de satelliet Explorer 1. In 1962 werd de eerste actieve communicatie satelliet gelanceerd, genaamd Telstar 1. Deze satelliet is in die tijd gebouwd door de bedrijven AT&T en Bell Laboratories. Tijdens de zeven maanden lange operatie, voorzag Telstar 1 de wereld van live beelden over sport, nieuws en entertainment. Telstar's technologie met betrekking tot signalen opvangen vanaf aarde en ze omzetten en uitzenden over een groot gedeelte van de wereld, zette de standaard voor vele latere satellieten.

3.1.3 werking van satelliet

Zoals als eerder vernoemd, bestaan er meerdere soorten satellieten waarmee men aan de slag kan gaan. Er zijn weliswaar twee componenten die elke satelliet gemeenschappelijk heeft: een stroomtoevoer en een communicatie component. Om uit te leggen hoe satellieten werken, laten we de verschillende soorten nog even terzijde en kijken we naar de basis van een satelliet.

Lancering en baanbeschrijving

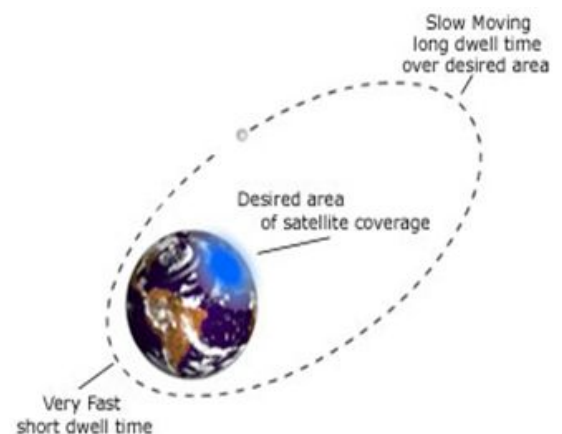
Om bruikbare informatie te kunnen verzamelen moeten satellieten eerst vanaf aarde de ruimte in worden gelanceerd. In vroegere tijden werd er gebruik gemaakt van een raket om een satelliet de lucht in te krijgen. Tegenwoordig is men overgestapt op het gebruik van herbruikbare ruimtevoertuigen, zoals de Space Shuttle. Als een satelliet eenmaal in de ruimte is aangekomen, is het natuurlijk belangrijk dat het daar blijft. Een satelliet heeft zelf over het algemeen een aandrijving, alleen is deze niet in staat om zichzelf in een baan te brengen vanaf aarde. Men maakt gebruik van de zwaartekracht als de satelliet eenmaal in de baan is gebracht. De gravitatiekracht van de aarde werkt tevens als een middelpunt zoekende kracht op de satelliet, dit zorgt onder andere voor het bewegen van de satelliet in een baan. De gravitatiekracht is weliswaar ook in staat om de satelliet op de aarde te laten crashen, er moeten dus berekeningen worden uitgevoerd voordat de satelliet in een baan kan worden gebracht. Om het voorbereiden van een lancering van een satelliet beter uit te leggen, moet men eerst kijken naar de baan waarin een satelliet terecht zou moeten komen. Hoewel veel mensen dit denken, is de baan die een satelliet beschrijft rond de aarde niet rond noch vliegt de satelliet volledig zelf in de baan.

De baan die een satelliet beschrijft is in feite een ellips, de cirkelvorm is maar een speciaal soort ellips. Daarnaast wordt de snelheid die een satelliet uiteindelijk heeft verkregen, bepaald door de middelpunt zoekende kracht/gravitatie-kracht werkend op de satelliet en de afstand tot de aarde.

Als een voorwerp eenmaal dicht bij aarde is, veroorzaakt de gravitatiekracht van de aarde dat het voorwerp naar de aarde wordt getrokken. Satellieten ondervinden ook de werking van gravitatiekracht en worden dus ook constant naar de aarde getrokken. Satellieten hebben bij het bewegen in hun baan een zekere snelheid in die baan. Deze snelheid zorgt ervoor dat de satelliet niet in een rechte lijn op aarde stort, maar er net naast valt. Het bewegen in een baan door een satelliet, is dus in feite een satelliet in vrije val die steeds net naast de aarde valt.

Ondanks het feit dat de satelliet zich in vrije val verkeert en steeds naast de aarde valt, heeft de gravitatiekracht van de aarde nog steeds werking op de satelliet. Deze kracht zorgt er namelijk voor dat, nadat de satelliet naast de aarde is gevallen, de satelliet in een baan langs de aarde beweegt en niet vrij de ruimte in wordt geschoten. In de vrije val wordt er ook snelheid opgebouwd die kan voorkomen dat, als de satelliet eenmaal na vrije val langs de aarde beweegt, de gravitatiekracht van de aarde de satelliet laat neerstorten op het aardoppervlak. De snelheid waarmee de satelliet in zijn baan beweegt en de sterkte van de gravitatiekracht (bepaald door de afstand tot aarde) moeten in overeenstemming zijn om er voor te zorgen dat een satelliet in zijn baan blijft bewegen.

In het eerste deel van de baan beschreven door de satelliet (langs de aarde), is de snelheid van de satelliet hoog en de afstand tot de aarde klein: de satelliet beschrijft op dit moment dus ook een korte baan (zoals te zien op de afbeelding rechts). Vervolgens wordt door de hoog opgebouwde snelheid, de satelliet als het ware van de aarde afgeworpen. Hierbij wordt de afstand van satelliet tot aarde groter. De door de satelliet op dit moment beschreven baan wordt dus tevens ook langer, waarbij de snelheid van de satelliet naarmate de lengte van de baan toeneemt, afneemt. De gravitatiekracht is nog steeds werkende op de satelliet en is ook de oorzaak voor het feit dat de snelheid afneemt naarmate de lengte van de baan toeneemt. De lengte van de beschreven baan zal dus toenemen, dit tot op het moment dat de gravitatiekracht de snelheid (van de satelliet) laat afnemen tot 0.

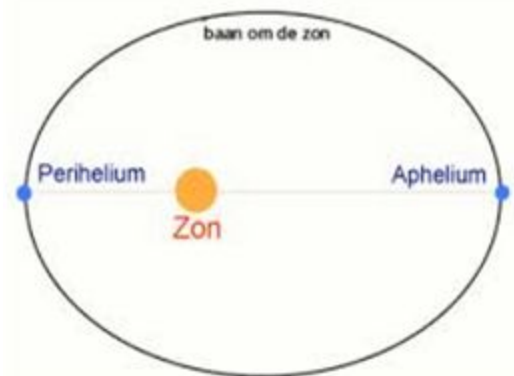


Vervolgens zal de satelliet weer naar de aarde terugvallen en begint de baanbeschrijving opnieuw.

Natuurkundig bekeken

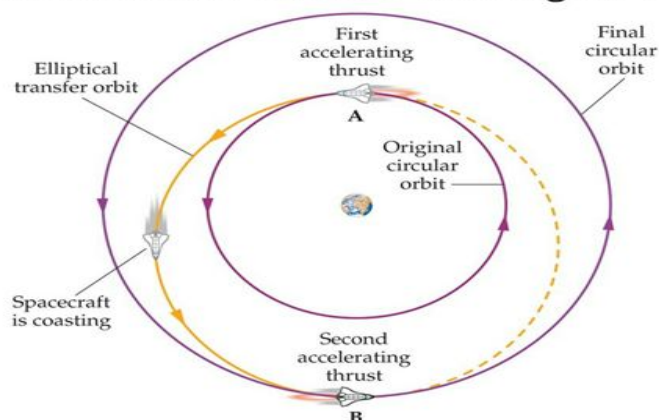
In 1925 bedacht de Duitse natuurkundige Hohmann een nauwkeurig systeem en brandstof besparend systeem voor het in banen bewegen van ruimtevaartuigen: de Hohmann-transfer. Dit systeem wordt tegenwoordig gebruikt voor alle ruimvaartuigen. De Hohmann-transfer omvat de transfer van de ene beschreven baan (orbit) naar een andere beschreven baan, dit kan namelijk niet door in een rechte lijn over te stappen op een andere baan. Om een nieuwe baan of orbit te bereiken moet men de huidige baan waarin de satelliet zich bevind aanpassen tot overeenkomst met de nieuwe baan.

Het aanpassen van de huidige baan voor de transfer naar een nieuwe baan heeft te maken met twee punten in de banen: het perihelium en het aphelium. Het perihelium is het dichtst bij de zon gelegen punt in de baan van een object, dat in een baan om de zon draait. Het aphelium is het punt in de baan van een object dat in een baan om de zon draait en het verst van de zon gelegen is. Het overstappen van een kleiner beschreven baan naar een grotere, wordt gedaan door het verlengen van de afstand waarop het aphelium ligt.



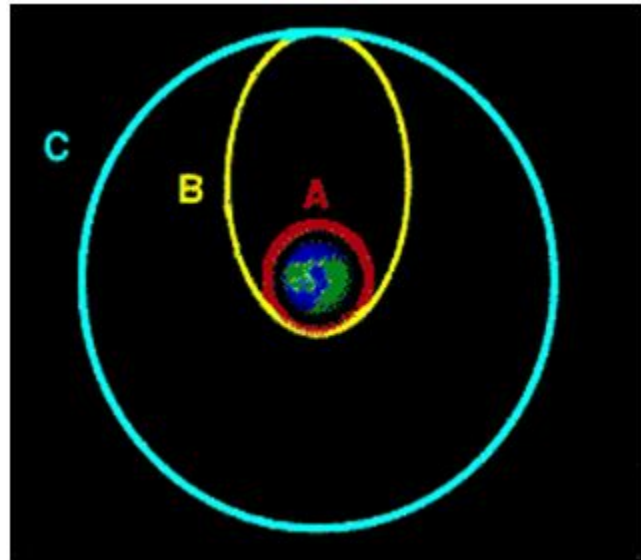
Men verlengt de afstand tot het aphelium door het object in de baan te versnellen (First accelerating thrust) op het perihelium, de versnelling wordt door middel van raketten behaald. De baan waarin het object zich bevind is momenteel een grote ellipse, maar het object zit nog steeds in dezelfde baan. Om de transfer van de ene baan naar de andere baan definitief te maken, moet het object op het aphelium nog een tweede keer versnelt worden in de richting van de x-as vanaf het aphelium. De transfer kan dus gezien worden als het eerst vergroten van de huidige baan in de positieve y-as richting van het aphelium en daarna het vergroten van de totale baan door te versnellen richting de x-as van het aphelium.

The Hohmann Transfer to a higher orbit



Hohmann-transfer uitgelegd middels een voorbeeld:

- Een communicatiesatelliet wordt gelanceerd in een baan op 300 km hoogte en moet naar een baan op 36000 km hoogte.
- De raket wordt gelanceerd in **baan A**, op 300 km hoogte en draait linksom in de baan. Door 1 minuut te versnellen met gebruik van een raket in de richting positieve x-as op het perihelium, wordt de satelliet gelanceerd uit baan A en volgt **baan B** richting het aphelium.
- De raketmotor wordt na 1 minuut stilgezet. De satelliet begint te klimmen naar het aphelium van baan B (hoogste punt) waarbij de snelheid constant afneemt, totdat deze nul is.
- Om in **baan C** te komen moet de raket op het Aphelium opnieuw versnellen richting de negatieve x-as.



Ontsnappingssnelheid

Elk hemellichaam in de ruimte heeft een eigen ontsnappingssnelheid: een minimale snelheid waarmee een niet aangedreven voorwerp (met kleinere massa dan het hemellichaam) vanaf het hemellichaam zou moeten worden weggeschoten (onder ideale omstandigheden), om zodanig weinig gravitatiekracht van het desbetreffende hemellichaam te ondervinden dat het voorwerp niet meer terugvalt naar het hemellichaam. Kortom de snelheid die nodig is om te ontsnappen aan de aantrekkingskracht van een hemellichaam.

Bij het verlaten van een hemellichaam en het vervolgens in een baan brengen van een ruimtevoertuig, is de ontsnappingssnelheid van dat hemellichaam een belangrijke factor. Planeten (hemellichamen) hebben een bolvorm, er is dus sprake van een kromming in de vorm van het hemellichaam. De kromming maakt het mogelijk om in principe 'naast de planeet te vallen', dus het in een baan bewegen om een planeet. Om een satelliet in een baan rond de aarde te brengen, moet de valboog van de satelliet ruimer zijn dan de kromming van de aardbol. Mocht dit niet het geval zijn, dan stort de satelliet op het aardoppervlak. Naast het neerstorten op aarde is er nog een andere factor die meespeelt, de snelheid mag niet te laag liggen, maar ook niet te hoog. Als de satelliet een snelheid heeft hoger dan de ontsnappingssnelheid, ontsnapt de satelliet aan de gravitatiekracht van de aarde en valt dus uiteindelijk ook niet meer terug.

De formule voor het berekenen van de ontsnappingssnelheid kan worden afgeleid uit de formules voor kinetische energie (E_k), potentiële energie/gravitatie-energie (E_{pot}) en zwaartekrachtversnelling (g) :

$$\begin{aligned}
 E_{\text{kin}} &= 1/2mv^2 & 1/2mv^2 &= -G \cdot (m_a \cdot m)/r \text{ wordt } v^2 = 2 \cdot -G \cdot \\
 & & & M_a/r \\
 E_{\text{pot}} &= -G \cdot (m_a \cdot m)/r & &= v = \sqrt{2Gm_a/r} \\
 g &= G \cdot m_a/r^2 & v &= \sqrt{2Gm_a/r} \text{ substitutie door } g \text{ wordt} \\
 & & v &= \sqrt{2gm/r}
 \end{aligned}$$

De formule voor ontsnappingssnelheid is dus $v_{\text{ontsnap}} = \sqrt{2gm/r}$ met
 v_{ontsnap} = ontsnappingssnelheid (m/s)

$$g = 6,67384 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$

r = straal planeet (m)

m = massa (kg)

Door middel van deze gegevens kan berekend worden wat de ontsnappingssnelheid is van verschillende hemellichamen, waaronder de aarde. De ontsnappingssnelheid van de aarde bedraagt ongeveer 11,2 kilometer per seconde (omgerekend ongeveer 40.000 km per uur).[1] Als de snelheid van een satelliet hoger ligt dan of gelijk is aan 11,2 kilometer per seconde, wordt deze dus de ruimte in gelanceerd en zal niet meer terugvallen naar aarde. Er is dus baat bij een formule waarmee het object niet ontsnapt uit het gravitatieveld van de aarde, maar ook niet botst op het aardoppervlak. Deze formule voor Orbital speed (in het engels) kan worden afgeleid uit twee formules: de middelpuntzoekende kracht (F_{mpz}) en de gravitatiekracht (F_g):

$$\begin{aligned}
 F_{\text{mpz}} &= mv^2/r & mv^2/r &= G \cdot m_1 \cdot m_2/r^2 \text{ wordt} \\
 F_g &= G \cdot m_1 \cdot m_2/r^2 & v &= \sqrt{Gm/r}
 \end{aligned}$$

De formules voor ontsnappingssnelheid en Orbital speed lijken heel erg op elkaar zoals te zien is[2]. De ontsnappingssnelheid is namelijk een factor groter: 1,41. Deze samenhang geldt voor de ontsnappingssnelheid en Orbital speed van elk hemellichaam: als de Orbital speed vermenigvuldigt wordt met een factor van 1,41, krijgt men de ontsnappingssnelheid van dat hemellichaam.[3] Dit is te controleren door te kijken naar de waardes uitgekomen voor de ontsnappingssnelheid en Orbital speed wat betreft planeet aarde:

Orbital speed : ongeveer 8 km/s x1,41

Ontsnappingssnelheid: 11,28 km/s

3.1.4 communicatie satellieten

Dit soort satellieten levert telefoon-, TV-, internet- en radiodiensten over lange afstanden (Intelsat, Globalstar). Alle mogelijke informatie kan worden omgezet in radiosignalen en in korte tijd worden verzonden naar vrijwel elke plek op aarde. Een dergelijke communicatie satelliet kan tienduizenden gesprekken verwerken.

De satelliet vangt signalen op en geeft ze door naar een andere plaats. Elke (aardse) vorm van communicatie volstaat door het gebruik van elektromagnetische trillingen, het soort communicatie wordt gekenmerkt door een bepaalde 'golflengte' of 'frequentie' (het aantal trillingen per seconde). Het verband daartussen wordt gegeven door de voortplantingssnelheid: ca. 300.000 km/sec. De golflengte (in meter) van een trilling is dus frequentie/300.000.000. Voorbeelden: bij de scheepsnoodlengte 600 meter hoort een frequentie van 500.000 Hz = 500 kHz (kilo Herz). De omroepgolflengte 300m = 1000 kHz en bij het FM-gebied (ca. 100 MHz = 100 miljoen Hz) is de golflengte ca. 3 meter.

Iedere trillingsbron, iedere zender, neemt een bepaalde ruimte in beslag. Een telegrafiezender (morse, telex) een paar tientallen Hz, een AM (amplitude gemoduleerde) omroepzender circa 10 tot 15 kHz, een FM-zender minstens 300 kHz (voor stereo-programma's etc.) en een normale TV zender meer dan 5 MHz (5 miljoen Hz). Aan het in beslag nemen van bepaalde ruimtes, zijn voorwaarden gesteld wat betreffende activiteiten op deze gebieden. Het middengolfgebied bijvoorbeeld (500 tot 200 meter) heeft slechts een breedte van 0,9 MHz. Daar is uitzending via een TV zender dus niet mogelijk.

Meter en centimeter golven gedragen zich, in tegenstellingen tot langere golflengten, hetzelfde als 'licht' natuurkundig gezien, ze vertonen een quasi-optisch gedrag. Zenders die bijvoorbeeld gebruik maken van golflengten in het gebied van 10 tot 50 m kunnen, onder bepaalde omstandigheden, door reflectie tegen de ionosfeer over de gehele aardbol worden ontvangen. De reikwijdte van zenders hangt ook nauw samen met de hoogte waarop deze zenders zijn opgesteld, wat dat betreft hebben ze dezelfde werking als vuurtorens: hoe hoger opgesteld, des te verder zicht- en hoorbaar. Het is daarom ook goed voor te stellen dat satellieten een hele verbetering hebben gebracht in de communicatie.

3.1.5 onderzoekssatellieten

Dit soort wordt ingezet voor verschillende wetenschappelijke of technische onderzoeken.

Afhankelijk van het doel waarmee de satelliet wordt gelanceerd in de ruimte, vliegen satellieten (gericht op het verrichten van onderzoek) in één van de volgende twee banen:

(1) een baan die zich vlak boven een pool van de aarde bevindt (near polar orbit), deze baan is vaak sun synchronous; het doorlopen van de baan om de aarde door de satelliet is zodanig ingesteld, dat de satelliet elke dag en nacht alle breedtegraden van de aarde doorloopt op dezelfde lokale (zonne)tijd.

Een geïnclineerde (hoek tussen het horizontale vlak en de richting van de krachtlijnen van het aard magnetisch veld is minder dan 70 graden) niet-polaire baan met precessie, de metingen worden verricht op verschillende tijden door de dag heen, dit is voornamelijk om de invloed te meten van per tijdseenheid variërende factoren (bijvoorbeeld wolken).

Sommige satellieten in een near polar orbit bevatten sensoren die de capaciteit bezitten om elke plek op aarde te observeren per dag, het gevolg is een uiteindelijke verzameling van data/info met een hoge tijdsresolutie. Andere satellieten bevatten sensoren niet uitgerust met deze capaciteiten, met als gevolg het observeren van elke plaats op aarde in een onregelmatig tijdsbestek, resulterend in een lage tijdsresolutie. De lage tijdsresolutie behaald door de sensoren van deze satellieten mogen misschien laag zijn in vergelijking met superieure sensoren (hoge tijdsresolutie), maar de meet precisie van deze satellieten stijgen nog altijd ver uit boven de meetcapaciteiten van sensoren op aarde of in luchttoestellen. Ook de ruimtelijke resolutie is een factor die meespeelt bij de sensoren van satellieten, voor de onderscheiding van objecten binnen de atmosfeer en op het aardoppervlak is een hoge ruimtelijke resolutie een belangrijke factor

3.2.1 componenten van een CubeSats

Satellieten heb je in verschillende soorten en maten. De taak/missie van een satelliet is belangrijk voor de uitrusting van de satelliet. Toch zijn er een boel onderdelen die de meesten satellieten onderling gemeen hebben.

Kast/platform: een auto staat op een chassis. Anders zou hij door z'n wielen zakken. En het beeldscherm van je computer zit in een kastje gebouwd. Dit allemaal voor de stevigheid. Zo heeft een satelliet ook een dragende structuur. Dit 'platform' is de kast waar alle andere onderdelen aan vast gemaakt worden. Net zoals de computer heeft de satelliet ook een case. Hierin worden alle componenten gedragen en in een gestructureerde manier geplaatst.

Isolatie systemen: het folie aan de buitenkant is een jas die alle apparatuur beschermt tegen extreme hitte en kou in de ruimte. Dit zodat de apparatuur niet beschadigd raakt onder de omstandigheden van de ruimte.

Accu: energietoevoer is van groot belang in de ruimte. Hiervoor is een accu essentieel voor de werking van de satelliet (in zijn geheel).

Zonnepanelen: zonnepanelen zijn bijna niet te missen voor een satelliet. De meeste satellieten gebruiken zonnepanelen voor de energie voorziening in de satelliet in zijn geheel. Echter de energie levering van deze panelen zijn net genoeg om een koffieapparaat te laten werken. Dit wil dus zeggen dat de instrumenten heel erg energiezuinig moeten zijn. We hebben weliswaar helaas geen zonnepanelen kunnen toevoegen, dit als gevolg van gebrek aan tijd veroorzaakt door complicaties bij het installeren van de sensoren. Dit brengt ons dan ook naar het volgende.

Instrumenten: dit is de reden waarom we satellieten lanceren, de instrumenten. Alle andere onderdelen zijn bedoeld om deze instrumenten goed te laten werken. Bij aardobservatiesatellieten zijn de instrumenten camera's of sensoren. Die kijken dag in dag uit naar de aarde. Wetenschappers krijgen de gegevens van de instrumenten op hun computer en doen er onderzoek mee.

6DoF/10DoF: staat voor six/ten degrees of freedom wat verwijst naar de vrije beweging van een lichaam in de driedimensionale ruimte. Om precies te zijn, het lichaam is vrij om positie als vooruit / achteruit veranderen, omhoog/omlaag, links/rechts vertaling in drie loodrechte assen, in combinatie met veranderingen in de oriëntatie door rotatie over drie loodrechte assen.

Thermometer: dit is ook van belang voor onderzoek naar temperatuur in de ruimte of atmosfeer, deze verandert om de zoveel tijd nog wel eens.

Lichtsensoren: om de zonnepanelen effectief hun functie uit te laten oefenen is het belangrijk dat informatie van de richting van de lichtbron belangrijk is.

3.2.2 Boordcomputers

Er zijn verschillende eisen waaraan de boordcomputer van een CubeSat moet voldoen. Een boordcomputer van een CubeSat moet aan de volgende eisen voldoen;

- Klein volume
- Goedkoop
- (Aanpasbaar)
- Dummy-geschikt

Er zijn drie verschillende boordcomputers die gebruikt zouden kunnen worden, een Arduino, een PocketLab of een Raspberry π . In de tabel hier onder.

	Arduino	PocketLab	Raspberry π
Volume	15cm ²	32,5cm ²	95,2cm ²
Prijs*	€40-€70	€110	€40-€50
Aanpasbaarheid	Aanpasbaar	Niet aanpasbaar	Aanpasbaar
dummy-geschiktheid	ongeschikt	geschikt	half-geschikt

*Prijs is inclusief meetapparatuur die standaard in een PocketLab zitten

Hoofdstuk 4

4.1 uitwerking van de deelvragen

essentiële onderdelen:

volgens ons literatuur onderzoek blijkt dat de essentiële componenten van een satelliet - wat de CubeSat ook zal hebben - bestaan uit de volgende onderdelen.

Accu: ter levering van stroom aan alle instrumenten.

zonnepanelen: creëren van energie voor het blijven regenereren van stroom.

platform: een soort geraamte waarin alle onderdelen gestructureerd geplaatst kunnen worden.

Meetinstrumenten: het verzamelen van de daadwerkelijke gegevens die men wilt onderzoeken wordt gedaan door middel van een variatie aan meetinstrumenten. Dit zijn instrumenten voor het meten van temperatuur, plaats, lichtintensiteit, druk etc.

Boordcomputer:

Uit literair onderzoek blijkt dat het gebruiken van een Raspberry Pi als boordcomputer de beste optie is, omdat het relatief goedkoper is dan een PocketLab en net zo duur als een Arduino. Dit terwijl een Raspberry pi makkelijker is om te gebruiken voor mensen die beschouwd kunnen worden als beginners wat betreft het programmeren van computers. De Raspberry pi is de bekendste (mini)computer onder de computers die zich in ons literatuur onderzoek bevinden. Dit maakt dat er al heel veel informatie over het gebruik van deze computer op het internet te vinden is. Met een goede Wiki/handleiding zou iedereen een Raspberry pi moeten kunnen omtoveren tot een boordcomputer voor een CubeSat met minimale vereisten.

Hoofdstuk 5

5.1 plan van aanpak

Het opstellen van een stappenplan is een belangrijk onderdeel voor de uitvoering van een succesvol project. Hiervoor verdelen we het project in simpele stappen. Dit om overzicht te bieden over het project in zijn geheel.

Onderzoek verrichten naar bestaande satellieten met de focus gelegd op CubeSats, de CubeSat is namelijk de simpelste vorm van een satelliet tot heden aan toe. Daarnaast is een CubeSat erg compact en daarom ook makkelijker om te lanceren en te produceren/in elkaar te zetten. Bij het onderzoek willen we letten op de besturingscomputers en programma's die een satelliet aandrijven, de verschillende soorten middelen voor het meten van omgevingsfactoren (temperatuur, richting van de zon etc.), de aanvoering van energie (batterij, accu etc.), communicatieapparatuur en protocollen die worden gebruikt voor het aansturen van een satelliet. Daarnaast is het belangrijk om te begrijpen hoe deze componenten in zijn werking gaan en wat daar voor nodig is om ze in werking te stellen. Dit wordt gedaan in de vorm van een literatuuronderzoek.

- Na het opstellen van een literatuuronderzoek voor verdieping in het onderwerp, is het een goede zet om te gaan beginnen met brainstormen. Duidelijkheid creëren tussen de teamleden met betrekking tot de perceptie van een potentiële satelliet. Daarnaast het maken van ruwe schetsen op basis van de vergaarde kennis, deze moeten een idee geven van hoe de satelliet eruit komt te zien.
- Na het brainstormen wordt er een definitief ontwerp gemaakt in de vorm van een technische tekening, gemaakt op de computer of getekend met de hand. Hierin worden de onderdelen verwerkt die een potentiële satelliet nodig heeft, waarnaar de onderdelen vervolgens worden opgezocht op het internet. De tekening moet een duidelijk idee geven van hoe de satelliet eruit komt te zien in het echt, het is hierbij handig om contact te leggen met de opdrachtgever voor een controle.
- Als er is bepaald hoe de satelliet eruit komt te zien en ook hoe hij kan worden gebouwd, is het tijd voor het inkopen van onderdelen. Daarbij wordt gelet op de kosten van de te gebruiken onderdelen en ook de kwaliteit. Een goede tip hierbij is het zoeken van legitieme websites die een goede rating hebben op het gebied van de levering van goederen en ook te kijken naar de kwaliteit van de producten die daar worden verkocht.

- Nu de hardware binnen is kan de satelliet in elkaar worden gezet, de verschillende componenten worden aan elkaar gesoldeerd en/of gelijmd. Het is belangrijk heel goed te letten op voornamelijk de elektronische componenten, als hierbij een fout wordt gemaakt kan het mogelijk veel geld kosten.
- Vervolgens wordt de software ontwikkeld en erin gezet (met software bedoelen we het totale programmeer gedeelte), een vervelende klus maar goed te doen met de informatie beschikbaar op het internet.
- Als laatste uiteraard de behuizing van de satelliet, deze wordt gemaakt met behulp van een 3D printer, beschikbaar in het technasium lokaal. De behuizing moet precies passen om de hardware en moet een compact geheel opleveren, oneffenheden dulden wij natuurlijk niet.

Hoofdstuk 6

6.1 stand van zaken 10 december

Het project de Cubesat is in twee delen te verdelen. Het eerste deel was bedoeld voor de profielwerkstukken en het tweede deel voor de masterproef. Normaliter houden alle leerlingen in Nederland zich slechts bezig met een profielwerkstuk die aansluit op een mogelijk studie keuze. Wij op het technasium doen daar een stapje bovenop. In plaats van de gebruikelijk 80 uur besteden wij per leerling in totaal (80 voor profielwerkstuk + 120 voor de masterproeven =) 200 uur. Hierdoor kunnen wij deelnemen aan grotere projecten met betere diepgang en zo ook een beter resultaat behalen.

Het projecten hebben we dan ook in twee delen verdeeld. Het eerste deel is gericht op het oriënteren van ruimtevaartuig en onderzoek doen naar de Cubesat zelf. Ook zou een verdere voortgang in het project, zoals alvast een tekening van de Cubesat niet verkeerd zijn. Uiteindelijk was het de bedoeling om op 10 december een duidelijk presentatie te geven over:

- waar we ons mee bezig hielden.
- wat de eisen zijn.
- wat onze plan van aanpak zou zijn.
- wat de verwachtingen zijn voor 17 maart.

6.1.1 resultaten maart

Het tweede gedeelte van het project hebben we gekenmerkt als het praktisch gedeelte. Hier was het vooral de bedoeling om daadwerkelijk tot een resultaat te komen om hiermee te voldoen aan de door de opdrachtgever gestelde eisen. Voor dit deel was de besteding van 120 uur aan de meesterproef bedoelt.

Aan het begin van het praktische gedeelte hadden we van te voren een lijstje gemaakt voor wat er precies af moest en hoe we dit zouden aanpakken.

Vooraf hadden we dus besloten om een lijstje te maken over wat er behaald moest worden en in welke volgorde we dit het best konden doen.

Zo was het belangrijk voor ons om:

- een handleiding te hebben waar staat hoe je een Cubesat bouwt.
- een site waar deze handleiding in terecht komt.
- een verslag waarin staat hoe het project is verlopen.
- een Cubesat die het ook daadwerkelijk doet.
- presentatie met advies voor een vervolg project.

Bestellen en levering

Het praktische gedeelte van het project begon met het bestellen van de onderdelen die als basis dienen voor elke satelliet, met daarnaast de onderdelen die deze satelliet maken tot een communicatiesatelliet.

De basisonderdelen bestaan uit een accu, een wifi adapter (dit kan ook worden vervangen door een 2 weg communicatie) en een (mini) computer.

De specifieke onderdelen bestaan uit een lichtsensoren of ook wel luxmeter, een 10 DOF sensor module en een temperatuur sensor.

Er was enige vertraging wat betreft de levering van de onderdelen, de reden hiervoor was de niet al te snelle levertijd die de door ons uitgekozen site handhaafde. Deze site hebben we gekozen in verband met het beperkte budget waar dit project mee wordt gewerkt. De in dit project gebruikte accu is in feite een door ons bewerkte draadloze smartphone oplader, de beschikbaarheid, grootte, energielevering en gebruiksgemak van deze opladers maakt het tot een goed bruikbare accu. We besloten daarnaast een wifi verbinding te gebruiken voor het doorsturen van gegevens. Dit is weliswaar niet functioneel op lange afstand (in de ruimte etc.), maar functioneert prima als verbinding voor het *proof of concept* van een zelfgemaakte satelliet. Tenslotte, hebben wij als (mini) computer een Raspberry pi gekozen. Deze keus maakten wij op basis van het gebruiksgemak en de prijs waarvoor een dergelijke Raspberry pi te krijgen was, daarnaast wegen de capaciteiten van andere (mini) computers vrijwel niet op tegen de capaciteiten van een Raspberry pi. De keuze was dus simpel.

Werkzaamheden

Er zijn 3 belangrijke hoofdzaken waar de groep aan moest werken na het binnenkrijgen van de benodigde spullen:

- De hardware en het omhulsel van de Cubesat (Willem Bartelsman en Joey Katsburg)
- Het programmeren van de software (Yusuf Kaya, Daniel Siha)
- De site en handleiding (Jan Berendrecht)

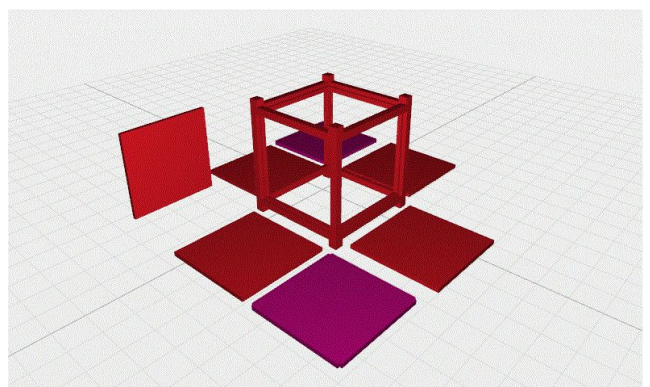
Deze werkzaamheden werden verdeeld over de groep, iedereen droeg dus zijn steentje bij aan het project.

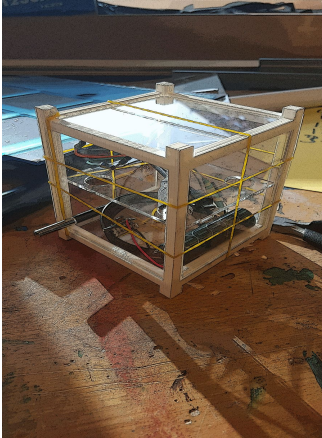
De verdeling van de werkzaamheden was uiteraard gebaseerd op de capaciteiten van onze groepsleden. Er werden bij vrijwel alle werkzaamheden tegenslagen ondervonden, sommigen complexer dan anderen.

De hardware en het omhulsel

De benodigde onderdelen waren ongeveer anderhalve week na de bestelling binnen, uiteraard waren de onderdelen toen nog niet verbonden met elkaar. De voorkeur ging uit naar het eerst ontwerpen en maken van een omhulsel voor de Cubesat (onderdelen). Het ontwerp is gemaakt in het online 3D Design programma Tinkercad, dit ontwerp was gemaakt om in een latere fase uitgeprint te worden met een 3D printer. Het ontwerp is een kubus met ribben van 100 mm. Er zitten aan de binnenkant van de kubus randen die bedoelt zijn om dergelijke vlakken/zijkanten te dragen om zo de kubus af te sluiten. Het frame bestaat uit laagjes van het materiaal PLA (Poly Lactic Acid).

Voor wie geen 3D printer tot zijn beschikking heeft zijn er steeds meer (online)opties om een eigen object te laten printen.





Na het uitprinten van het frame van de kubus, waren de vlakken aan de beurt. Met een schuifmaat opgemeten bedragen de randen aan de binnenkant van de kubus een lengte van 85,1 mm bij 86,77 mm, de vlakken zijn dus ook deze lengte. De vlakken zijn van 2 mm dik plexiglas en uitgesneden met een laser cutter. In één van de vlakken is een gat uitgesneden met een diameter van 5,8 mm, dit gat is uitgesneden voor de temperatuur sensor zodat deze de omgevingstemperatuur kan meten. Als laatste aanpassing is er een plaatje gemaakt wat precies tussen de zijvlakken binnen in de kubus past, dit plaatje creëert twee lagen in de Cubesat: aan de ene kant ligt de Raspberry pi en aan de andere kant ligt de accu en temperatuursensor.

De hardware (sensoren etc.) is na ontvangst verbonden met de Raspberry pi door de draden te strippen met een striptang en vervolgens te solderen met tin en S-39.

Het programmeren van de software

Er zijn veel besturingssystemen die geïnstalleerd konden worden op de Raspberry Pi, wij hebben ervoor gekozen om Raspbian te gebruiken. De voornaamste reden dat we voor Raspbian hebben gekozen is dat Raspbian python ondersteunt. Python is een bekende programmeertaal en zowel te gebruiken als beginnende en gevorderde programmeur. Raspbian is een besturingssysteem dat speciaal voor de Raspberry Pi is ontwikkeld. Dit en het feit dat Raspbian al een lange tijd, bijna vijf jaar, bestaat zorgt ervoor dat er nauwelijks bugs (technische oneffenheden) in het besturingssysteem zitten. Raspbian is een besturingssysteem afkomstig van Linux, Linux zelf is een verzameling aan open-source besturingssystemen. Dit betekent dat Raspbian gratis te downloaden is op het internet.

Zoals eerder aangegeven, zijn er drie sensoren die gekoppeld moesten worden aan de Raspberry pi. Dit zijn de thermometer, de luxmeter en 10 DOF. Voor alle sensoren moest er een specifieke code geschreven worden die ervoor zorgt dat de ontvangen waardes kunnen worden weergegeven in een Linux terminal.

Ten slotte moesten de gegevens van de sensoren opgeslagen worden in een netwerk, hiervoor is plot.ly gebruikt. Plot.ly is compatibel python. Dus het was ideaal voor ons om plot.ly te gebruiken. De code, met uitleg over elk commando, van de drie python bestanden is te vinden op onze wiki. De link van de wiki staat bij de bijlagen vermeld.

6.2 conclusies

Het is ons gelukt om een basis Cubesat te maken. Het resultaat is natuurlijk één ding, maar het belangrijkste deel van dit project is toch wel het proces.

Het beseffen krijgen van hoe een Cubesat te bouwen is cruciaal voor de overdracht van deze kennis en het leggen van de basis voor latere Cubesat projecten door studenten. De online handleiding op de site is het middel wat wordt gebruikt voor de overdracht van deze kennis, deze is tevens reeds afgerond.

Ten slotte de tegenslagen en meevallers van dit project beschreven in de portfolio's van de teamleden, enige mentale steun zal dit kunnen bieden voor toekomstige doe-het-zelvers. Met dit verslag waarin bijlages zitten zoals de tekening en onderdelen en programmasysteem wisten wij dit project tot een goed einde te brengen.

Hoofdstuk 7.

7.1 Leer momenten

Over de gehele spanwijdte van dit project zijn we dingen tegen gekomen die we ook bij voorgaande projecten hebben meegemaakt. Ondanks de herkenbare situaties in dit project, blijft een dergelijk project altijd een race tegen de klok. Er zijn heel wat complicaties geweest binnen dit project. Voornamelijk op gebied van software en de sensoren van de Cubesat. Deze complicaties zijn voor ons tevens leermomenten geweest, we ondervonden wat nou precies de sleutel is tot het functioneren van de Cubesat etc.

Complicaties:

- 10DoF functioneert niet naar behoren: de Raspberry pi krijgt gegevens binnen van de temperatuursensor en barometer maar niet van de gyroscoop. Dit was bij uitstek het meest hardnekkige probleem waar wij tegen aanliepen dit project.
- De temperatuursensor wordt niet gedecteerd door de Raspberry pi.
- De luxmeter wordt niet gedetecteerd door de Raspberry pi, dit was opgelost binnen een paar minuten gelukkig.
- Laser van de lasercutter is niet sterk genoeg om door het plexiglas heen te snijden. De zijkanten kunnen zo niet uitgesneden worden.
- De laser van de lasercutter is vervangen door een sterkere en de zijkanten kunnen worden uitgesneden. De lasercutter functioneert alleen niet naar behoren: het logo van het Technasium kan niet gegraveerd worden in de Cubesat.
- De 3D printer print het frame van de Cubesat niet correct uit: er zitten slordigheden in of het frame is niet compleet recht. Dit proces duurde in totaal 9 uur (het uitprinten van één frame). Daarnaast moest dit proces 4 keer opnieuw uitgevoerd worden om uiteindelijk toch een goed frame te krijgen.
- Micro SD is kapot gegaan. Blijkbaar is de kaart doorgebrand na verbinden met de Raspberry pi, dit terwijl de kaart voorheen wel prima functioneerde.
- Een nieuwe Micro SD is gevonden, helaas was de ruimte die het programma in beslag zou nemen op de kaart onderschat: er was niet genoeg geheugen beschikbaar om het programma erop te zetten.
- Tijdnood door andere vakken en projecten op school, daarnaast tentamenweken.
- Enige vertraging in het project door een latere levering van componenten, al was hier wel enigszins rekening mee gehouden.
- Elektriciteitsdraden in circuits niet goed genoeg geïsoleerd, uiteraard wel opgelost met behulp van krimpkousen of isolatietape.
- Ziek zijn of afwezig van teamleden door andere complicaties.

Dit zijn misschien wel de meest cruciale momenten in elk project, momenten die men kan meenemen naar toekomstige projecten om daar vervolgens niet dezelfde fouten meer te maken. Nog een belangrijk advies van de opdrachtgever was het eerder beginnen aan het daadwerkelijk bouwen van de Cubesat. Sommige dingen zijn nou eenmaal niet van te voren te bedenken.

Zo had het probleem met de verbinding van de Raspberry pi en de 10DOF eerder kunnen worden opgelost als we hier rekening mee hadden gehouden wat betreft tijd. Hoewel complicaties vervelend zijn, zijn ze nodig in elk project om veranderingen door te maken en jezelf en je groep te verbeteren. Trial and error heeft dus zijn voor- en nadelen.

7.2 Advies

Als advies voor de opdrachtgever voor eventuele volgende of vervolg projecten raden wij aan om daadwerkelijk de nadruk te leggen bij het eerder beginnen aan het project en niet teveel van te voren te bedenken. Dit was uiteraard gedaan, alleen in verband met de koppigheid van sommige groepen is het zeker handig om dit te benadrukken. Ook kwamen wij halverwege het project erachter dat vrijwel alles op internet staat, dit zou eventueel ook nog benadrukt kunnen worden. Zo was het bijvoorbeeld voor het programma systeem heel simpel de juiste codes te vinden en deze gebruiken. Zo hebben we bij wijze van spreken alle gegevens op internet doorzocht en het beste eruit gefilterd en gebruikt voor ons project. Tot slot is het misschien handig om in het vervolg te praten met de groepen over de complicaties die de opdrachtgever zelf ooit heeft meegemaakt bij dergelijk vergelijkbare projecten. Het is uiteraard niet de bedoeling dat de opdrachtgever alles voorkauwt, maar inzicht geven in het wat voor complicaties de groep te wachten zou kunnen staan is zeer zeker een handig handvat voor de groep zelf.

hoofdstuk 8

8.1 Bronnen

- <http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html>
- https://www.nasa.gov/mission_pages/explorer/explorer-overview.html
- <http://www.explainthatstuff.com/satellites.html>
- <http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-orbit-58.html>
- <http://www.project-apollo.info/hohmann.htm>
- <https://solarsystem.nasa.gov/basics/bsf4-1.php>
- http://www.polaris.iastate.edu/EveningStar/Unit6/unit6_sub2.htm
- http://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_Escape_Velocity.html
- <http://www.dummies.com/how-to/content/how-to-calculate-a-satellites-speed-around-the-earth.html>
- <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensingAtmosphere/>
- <http://www.spaceoffice.nl/nl/Satelliettoepassingen/Technologie/Satellietbaan/Lage-baan-Low-Earth-Orbits/>
- <http://repairfaq.cis.upenn.edu/sam/icets/satellite.htm>
- <http://www.space.com/24839-satellites.html>
- <http://www.britannica.com/technology/satellite-communication>
- <http://www.thepocketlab.com/>
- <https://www.raspberrypi.org/>
- <https://www.arduino.cc/>

hoofdstuk 9

9.1 Planning

9.2 Logboek

9.3 Bijlage

- site: Cubesat.wikia.com
- Link .stl-filecubesat:
<https://drive.google.com/file/d/0B6y9soQMAF5JckhwSzNRTzQ5eGs/view?usp=sharing>
- code (Yusuf)
- product-links onderdelen:

Raspberry pi: <https://www.kiwi-electronics.nl/raspberry-pi/board-and-kits?sort=p.price&order=ASC>

Lichtsensoren: <http://www.vanalleenmeer.nl/Lichtsensoren-luxmeter-BH1750FVI-I2c>

10 DOF sensor: <http://www.vanalleenmeer.nl/10DOF-Sensor-module>

Thermosensor: <http://www.vanalleenmeer.nl/Temperatuur-1-Wire-Waterdicht-DS18B20>