

# DE BOUW VAN EEN FUNCTIONERENDE DRONE

Door: Rutger Verstegen en Mitchell Boesveld



# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
<i>Hypothese</i>	8
<i>Relevantie onderzoek</i>	8
<b>Methode van onderzoek</b>	<b>9</b>
<b>Deelvraag 1: Wat is een drone?</b>	<b>10</b>
<i>Propellers</i>	10
<i>Framebouw</i>	11
<i>Motor plaatsing</i>	12
<i>Draairichting propellers</i>	12
<b>Deelvraag 2: Uit welke onderdelen bestaat een drone?</b>	<b>13</b>
<i>Controller board</i>	13
<i>Kk2.1.5 opties</i>	13
<i>Motoren</i>	15
<i>Electronic speed controller</i>	16
<i>Accu</i>	16
<i>BEC (Spanningsregelaar)</i>	16
<i>Frame</i>	17
<i>Ontvanger</i>	17
<b>Deelvraag 3: Hoe werkt de communicatie met een drone?</b>	<b>18</b>
<i>Frequentie</i>	18
<i>Throttle curve</i>	19
<b>Deelvraag 4: Hoe wordt een drone geconstrueerd?</b>	<b>20</b>
<i>Stroomschema</i>	22
<b>Deelvraag 5: Hoe wordt een algemene drone getest?</b>	<b>23</b>
<b>Deelvraag 6: Hoe wordt de drone uit dit onderzoek getest?</b>	<b>24</b>
<i>Eisen waaraan voldaan moet worden</i>	24
<i>Balans</i>	24
<i>Warmte</i>	24
<b>Conclusie</b>	<b>25</b>
<b>Discussie</b>	<b>26</b>
<b>Reflectie en evaluatie</b>	<b>26</b>
<b>Literatuurlijst</b>	<b>27</b>

## Voorwoord

In het begin van het kiezen van een onderwerp voor ons profielwerkstuk hadden we al gelijk het idee om iets te gaan bouwen. We wisten alleen nog niet exact wat. Het vak natuurkunde vonden we passen bij het bouwen van een bewegend apparaat. Samen zijn we erg geïnteresseerd in techniek, en een vliegend object is dan een erg hoogstaande prestatie. Hiermee begon onze tour om de zwaartekracht te trotseren.

Beide hebben we geen specifieke vooropleiding genoten met betrekking tot dit profielwerkstuk. Desalniettemin leek het ons mogelijk om met de hulp van anderen een drone te bouwen. Aangezien we veel video's kijken over technische producten, waaronder drones, hadden we voor de start van dit onderzoek al wel wat voorkennis over dit onderwerp. Samen met onze natuurkunde docente, Julija Petrosian, hebben we overlegd of het mogelijk was om een drone te bouwen voor ons profielwerkstuk. Dit bleek gelukkig het geval.

Tijdens het bouwen van onze drone hebben we beiden veel geleerd over het functioneren van radiografisch bestuurbare voertuigen. Zo weten we bijvoorbeeld veel meer af van de verschillende typen motoren, de werking van een afstandsbediening en ontvanger, ESC's (electronic speed controllers) en de communicatie tussen deze componenten. Naast het feit dat we veel geleerd hebben, vonden we het ook leuk om zelf een product te bouwen, wat natuurlijk ook erg belangrijk is.

Zonder onze begeleidster, Julija Petrosian, was dit project niet op gang gekomen. We bedanken haar voor het mogelijk maken van dit werkstuk en haar begeleiding. Wesley Loderus van het drone-bedrijf TopRC heeft ons geholpen tijdens onze oriëntatie en heeft ons veel geleerd over de verschillende typen drones en hun functie. Mitchell's buurman en frequent drone gebruiker Mike Wellink verdient een bedankje voor het meedenken over het opladen van LiPo accu's en het geven van een geschikte lader. Als laatste verdient Willem Linderijen, de TOA van Lyceum Elst, ook een bedankje voor het meedenken over de onderdelen en het budget daarvoor.

In dit profielwerkstuk zit een flinke dosis kennis, passie, doorzettingsvermogen en natuurlijk natuurkunde. Veel leesplezier!

Rutger Verstegen en Mitchell Boesveld  
24-11-2017 Arnhem

## Samenvatting

In dit profielwerkstuk wordt de volgende probleemstelling beantwoord: **“Hoe wordt een functionerende drone gebouwd?”** Ter beantwoording van deze hoofdvraag is er in dit onderzoek een drone gemaakt. De antwoorden op de deelvragen en de hoofdvraag staan hieronder kort samengevat.

### *Wat is een drone?*

Een drone is “een op afstand bestuurbaar luchtvoertuig” met gebruikelijk tussen de twee en de acht propellers. Het propelleraantal wordt vermeld in de naam van de drone, zo heeft een quadcopter vier propellers. Het frame kan gevormd zijn via de I of X bouw, wat resulteert in een andere kracht door het frame. Om ronddraaien te voorkomen in een drone zijn de wieken links en rechts symmetrisch, en draaien de motoren aan de beide zijden in tegengestelde richting.

### *Uit welke onderdelen bestaat een drone?*

In dit onderzoek is het kk2.1.5 control board gebruikt waarbij de roll (draaiing om x-as), pitch (draaiing om y-as) en yaw (draaiing om z-as) beweging aangepast kunnen worden. Een drone wordt bestuurd met een afstandsbediening met twee sticks.

Voor deze drone zijn brushless motoren gebruikt, omdat deze efficiënter zijn en bij hogere toeren meer kracht en minder weerstand hebben. Het signaal gaat van de afstandsbediening door de ontvanger en naar het control board. Vanaf hier wordt dit signaal omgezet bij de ESC's (electronic speed controllers). Iedere motor heeft een eigen ESC, aangezien iedere motor apart wordt aangestuurd. De accu gebruikt in dit onderzoek had een maximale constante ontlading van 22A. Dit bleek te weinig om onze drone bij vol gas van stroom te voorzien. Het control board en de 6-kanaals ontvanger gebruikt in dit onderzoek werken beide op 5V. Aangezien de accu 11.1V levert, is er met een LM7805 en twee condensatoren een BEC (spanningsregelaar) gemaakt.

### *Hoe werkt de communicatie met een drone?*

De afstandsbediening en ontvanger van dit onderzoek communiceren via 2,4GHz. Om interferentie met andere apparaten te voorkomen, wisselen de beide componenten gelijktijdig tussen 135 kanalen binnen een bepaalde tijdsspanne. De communicatie tussen drone en ontvanger kan worden beïnvloed door de throttle curve aan te passen, hierdoor reageert de drone anders op de gegeven hoeveelheid gas.

### *Hoe wordt een drone geconstrueerd?*

De drone is in elkaar gezet volgens een stroomschema dat voor dit onderzoek gemaakt is.

### *Hoe wordt een reguliere drone getest?*

Een drone wordt getest op signaalsterkte tussen afstandsbediening en receiver.

### *Hoe is de drone uit dit onderzoek getest?*

Onderdelen in een drone mogen niet te warm worden. Dit bleek bij de drone uit dit onderzoek geen probleem.

### *Conclusie*

Om te voldoen aan de eisen gesteld in dit werkstuk, moet de gebouwde drone 1 minuut vliegen op 1.5m hoogte. Dit is niet gelukt, aangezien de drone niet goed in balans is. Dit kan verholpen worden door het updaten van de software op het kk2.1.5 board en door een krachtigere accu in de drone te monteren.

## Inleiding

In dit onderzoek gaan we zelf uitzoeken hoe je een functionerende drone kunt bouwen. Onze onderzoeksvraag is dan ook: **“Hoe wordt een functionerende drone gebouwd?”** We zullen dus omschrijven hoe je zelf een drone kunt maken. Dit gaan we doen in dit verslag, met extra toelichting van afbeeldingen. Hiermee hopen we mensen te helpen die ook zelf een drone willen bouwen.

Drones worden in de maatschappij van tegenwoordig steeds belangrijker. Ze kunnen gebruikt worden in de videografie, defensie, transport en hulpverlening. Voor deze sectoren kan ons onderzoek van belang zijn. Bij videografie worden drones gebruikt om beelden vanuit de lucht te maken. Dit is goedkoper dan het gebruiken van een helikopter, waardoor ook amateurs de mogelijkheid hebben tot het maken van deze beelden.

Daarnaast worden drones gebruikt voor de inspectie van risicovolle gebieden door defensie. Drones hebben zo een preventieve functie, en zijn relatief veilig omdat ze onbemand zijn. Amazon experimenteert al een half jaar met het verzenden van pakketjes door drones. Zo kunnen we pakketjes efficiënter worden afgeleverd, en wordt het wegennet minder belast door bezorgdiensten. Als laatste hebben drones een functie in de hulpverlening. Ze kunnen gewonden zoeken op moeilijk bereikbare locaties, en daar medicijnen bezorgen.

In dit onderzoek zijn een aantal uitleggende afbeeldingen gebruikt voor het ondersteunen en verduidelijken van de tekst. Daarnaast zijn ook nieuws artikelen en onderzoeken gebruikt. Deze bronnen zijn terug te vinden in de literatuurlijst op pagina 27.

Dit profielwerkstuk is ingedeeld in hoofdstukken met in ieder hoofdstuk een deelvraag. Deze opzet past het beste bij dit onderzoek. De volgende deelvragen zullen worden beantwoord in dit verslag (zie pagina 2).

## Hoofdvraag: Hoe wordt een functionerende drone gebouwd?

### 1. *Wat is en drone?*

In deze deelvraag wordt uitgelegd wat de definitie van een drone is en waarom drones relevant zijn.

### 2. *Uit welke onderdelen bestaat een drone?*

Deze deelvraag kijkt naar de onderdelen die in een drone zitten. Hier staat een lijst van onze gebruikte onderdelen. Zo is dit onderzoek te reproduceren.

### 3. *Hoe werkt de communicatie met een drone?*

Deze deelvraag kijkt naar de communicatie tussen een drone en de afstandsbediening. In dit gedeelte wordt gekeken naar de oplossing voor het probleem met interferentie.

### 4. *Hoe wordt een drone geconstrueerd?*

Hier is beschreven hoe een drone in elkaar zit. Zo is hier een stroomschema en een schematische afbeelding van een drone te vinden.

### 5. *Hoe wordt een reguliere drone getest?*

Hier staat beschreven waar een reguliere drone op getest wordt.

### 6. *Hoe is de drone uit dit onderzoek getest?*

Bij de laatste deelvraag wordt gekeken naar de eisen die gesteld zijn aan de drone uit dit onderzoek.

## Hypothese

Onze verwachting is dat we aan het eind van ons profielwerkstuk een werkende drone hebben. Dit houdt in dat hij zelfstandig kan vliegen, zonder fysiek verbonden te zijn met externe apparaten. Hij kan dus niet aan een accu of kabel verbonden zijn. We hebben een aantal eisen aan onze drone; hij moet op minimaal 1,5 meter hoogte kunnen vliegen, voor minimaal 1 minuut. Bovendien moet de drone betaalbaar zijn en moet hij gemaakt zijn van zo licht mogelijke materialen. Zo kost het immers minder energie om de drone te laten vliegen. Omdat we naast het bouwen van een drone ook nog school, werk en een sociaal leven hebben, is het belangrijk dat deze drone in ongeveer 160 uur te bouwen is.

## Relevantie onderzoek

Drones spelen in de huidige maatschappij een steeds grotere rol. Zo kunnen drones in gevallen van nood medicijnen en voedingsmiddelen bezorgen op onbereikbare plekken en agrarische gebieden scannen op uitdroging. Bedrijven waaronder Amazon zijn momenteel aan het experimenteren met pakketbezorging door drones.

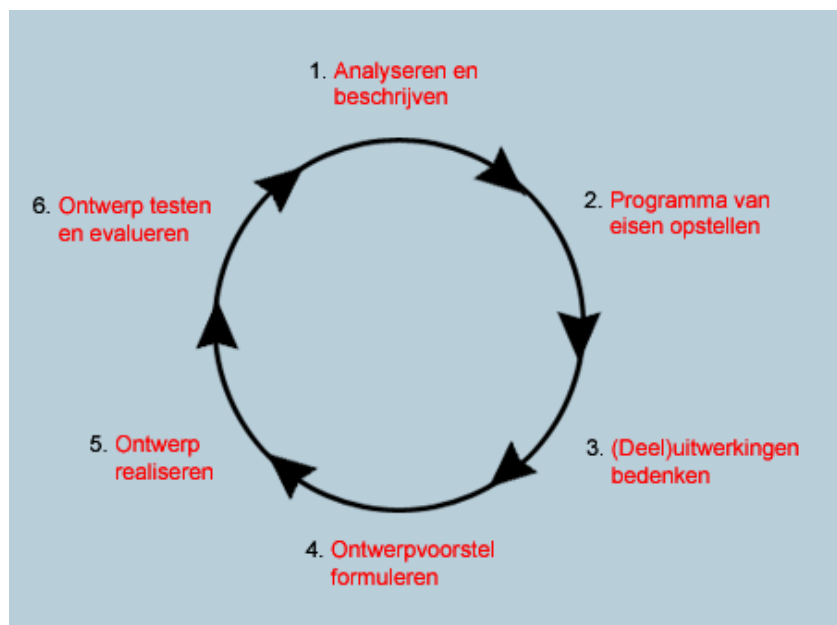
We hopen met dit onderzoek bij te dragen aan de ontwikkeling van drones, wat effect kan hebben op hiervoor genoemde sectoren. Ook kan de drone tijdens de natuurkundelessen op school gebruikt worden voor demonstraties. Op deze manier kunnen de leerlingen leren over de werking van elektrische componenten. Tevens kan de drone dienen als leermiddel tijdens de fLEx-uren. Tot slot is een drone een leuke publiekstrekker op opendagen, waarmee de mogelijkheden binnen de natuurkundesectie getoond worden.



## Methode van onderzoek

In dit onderzoek is er op meerdere manieren informatie verzameld. Zo is dit onderzoek gestart met theorie verkenning door middel van het kijken van YouTube video's en het lezen van websites over drones. Na enige voorkennis verzameld te hebben, zijn we langsgegaan bij TopRC, waar we een drone expert geïnterviewd hebben, genaamd Wesley Loderus. Van de acht dronewinkels wij benaderd hebben, was TopRC als enige bereid om te helpen bij dit werkstuk. Later in dit onderzoek heeft drone-fanaat Mike Wellink bijgedragen door te helpen met vragen over LiPo accu's. Doordat we veel verschillende en onafhankelijke bronnen gebruikt zijn in dit onderzoek, is de betrouwbaarheid van dit onderzoek goed.

Na het opdoen van kennis, zijn we begonnen met het selecteren van onderdelen en uitdenken hoe onze drone hiermee zou functioneren. Na dit proces hebben we de onderdelen besteld vanuit China. Toen de onderdelen eenmaal binnen waren, hebben we de drone gebouwd en getest. Wanneer na het testen bleek dat iets niet naar behoren functioneerde, hebben we dit aangepast en vervolgens de drone opnieuw getest.



Afbeelding A: Ontwerp cyclus van de drone uit dit onderzoek

## Deelvraag 1: Wat is een drone?

Voor de definitie van het woord drone kunnen een aantal bronnen gebruikt worden. Volgens Woorden.org is een drone een “op afstand bestuurbaar luchtvaartuig”. Veelal zijn drones onbemand, wat betekent dat het meestal kleine, behendige apparaten zijn. Volgens Wesley Loderus (bijlage 1) zijn drones “multicopters met vaak een camera aan boord” (afbeelding 1).



Afbeelding 1: Verschillende type drones

### Propellers

Het woord multicopter houdt in dat het vliegende object drie of meer propellers heeft. Verschillende types drones zijn onder andere de tricopter, quadcopter, hexacopter en de octocopter. Hierbij geeft het Romeinse telwoord de hoeveelheid propellers aan. Tricopters kunnen vaak slechts een kleine camera dragen. Dit zorgt ervoor dat een tricopter goed door nauwe ruimtes past. Quadcopters zijn de meest voorkomende drones. Door het vaak grotere formaat kan de quadcopter een betere camera dragen, die geschikt is voor FPV (first person view) (afbeelding 2). Dit houdt in dat de bestuurder in real-time mee kan kijken met de camera van de drone. Hexacopters hebben vaak een GPS (global positioning system) chip. Dit maakt stabiel vliegen mogelijk, doordat de exacte positie van de drone bekend is. De GPS maakt ook autonoom vliegen mogelijk, er kan een vooraf in geprogrammeerde route gevolgen worden. Octacopters zijn vaak groot, en zijn dus geschikt voor het dragen van zware apparatuur. Zo kunnen ze bijvoorbeeld professionele videografie apparatuur of infraroodcamera's mee de lucht in nemen. Ter verduidelijking staat hieronder een tabel (tabel 1) met de drone types en hun meest gebruikte functie.



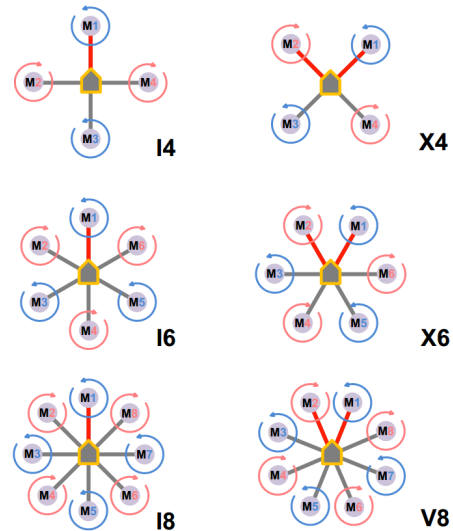
Afbeelding 2: FPV (First person view) bij het besturen van een drone

Propeller aantal	Grootte	Functie
<b>Tricopter</b>	Nano Drones	Drones met Camera
<b>Quadcopter</b>	Mini Drones	Drones met FPV
<b>Hexacopter</b>	Middelgrote Drones	Drones met GPS
<b>Octocopter</b>	Grote Drones	Drones met stabilisatoren

Tabel 1: Verschillende soorten drones en hun functie. Zoals in deze tabel te zien is, kunnen drones met meer propellers zwaardere taken uitvoeren. Een GPS zorgt ervoor dat een drone stil in de lucht kan hangen, doordat de exacte locatie van de drone bekend is.

## Framebouw

Naast een verschil in het aantal propellers, is er ook een verschil in framebouw. Zo kan de totaal naar voren gerichte kracht zich op één arm bevinden (I-serie) of tussen twee armen in (X-serie). Aangezien een tricopter slechts drie armen heeft, kan dit type drone niet voldoen aan de frametypes in afbeelding 3. Wij kiezen ervoor om een X4 drone te bouwen. Hiervoor kiezen wij omdat dit een veel voorkomend type drone is, en onderdelen dus makkelijker verkrijgbaar zijn dan van andere dronetypes.



Afbeelding 3: Verschillende types droneframes



Afbeelding 4: Stuurmotor helikopter. "yaw movement" is de Engelse term voor rotatie om de verticale as.

Een drone is een uniek vliegend object, met vele verschillen ten opzichte van andere luchtvaartuigen. Waar een helikopter bijvoorbeeld maar één propeller met een omhooggerichte resulterende kracht heeft, heeft een drone er vaak minimaal drie. Dit zorgt ervoor dat een drone wendbaarder is dan een helikopter. Dit komt door de vier krachtige motoren in een drone, die snel van draairichting kunnen veranderen. Bij een helikopter zit er slechts één stuurmotor aan de staart (afbeelding 4).

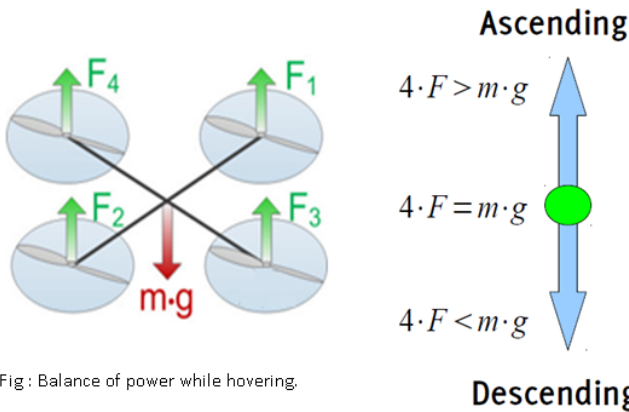


Fig : Balance of power while hovering.

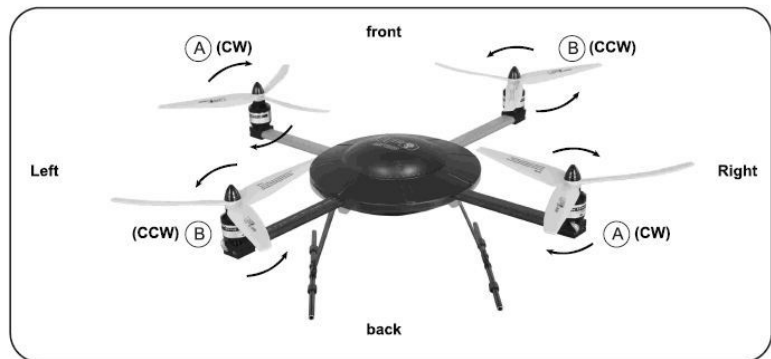
Afbeelding 5: Gecombineerde omhooggerichte krachten van vier drone motoren. Als de totale kracht van de vier motoren kleiner is dan de zwaartekracht, dan daalt de drone (descending). Als de gecombineerde motorkracht groter is, stijgt de drone (ascending). Zijn de twee krachten gelijk, dan blijft de drone stil in de lucht<sup>8</sup> hanaen, mits er aeen andere krachten werken.

### Motor plaatsing

De motoren van een drone zitten aan de uiterste zijden van het frame. Hierdoor is er een nettoresultaat nog steeds een kracht omhoog, maar heeft een drone een groter draagvlak (afbeelding 5). Dit zorgt ervoor dat de drone stabiel is als de naar beneden gerichte kracht zich niet precies in het midden bevindt. Bovendien zou één van de vier motoren dan harder kunnen draaien, waardoor de naar beneden gerichte kracht gecompenseerd wordt.

### Draairichting propellers

Doordat een drone meestal maar één draairichting per motor heeft, moet de kracht die ontstaat bij het rond laten draaien van die propeller gecompenseerd worden. Anders zou de drone in de lucht om zijn y-as gaan draaien. Om deze reden hebben helikopters twee wieken die in tegengestelde richting draaien. Bij een drone wordt een vergelijkbaar principe toegepast, maar dan op verschillende motoren. Zoals in afbeelding 6 te zien is, draaien de motoren die naast elkaar zitten in tegenovergestelde richting. Zo wordt de totale draaikracht opgeheven. Hier zijn gespiegelde propellers voor nodig, anders zouden de propellers met omgekeerde draairichting de drone omlaag duwen.

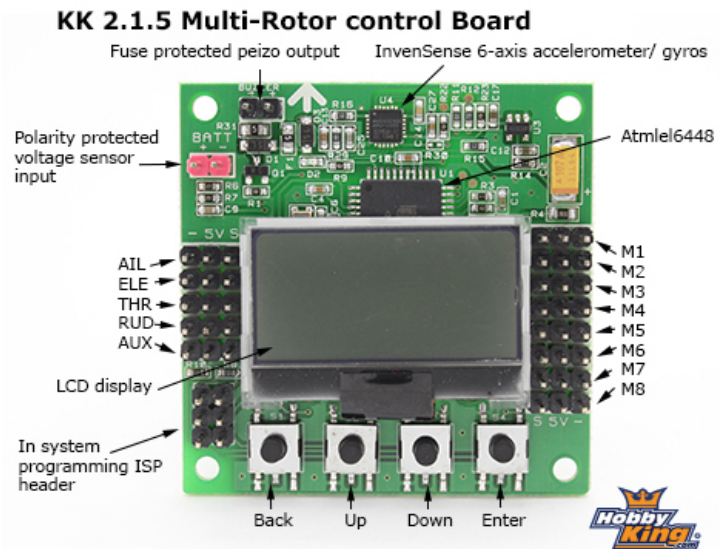


Afbeelding 6: Verschillende draairichtingen van propellers, om torsie om de x-as te voorkomen. CW staat voor met de klok mee, CCW voor tegen de klok in.

## Deelvraag 2: Uit welke onderdelen bestaat een drone?

### Controller board

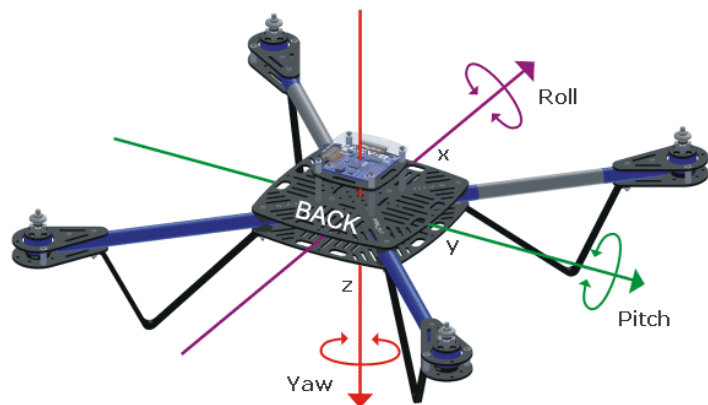
Er zijn veel verschillende mogelijkheden om een drone aan te sturen. Hiervoor worden zogenaamde “controller boards” gebruikt. Deze verwerken het signaal van de ontvanger en zetten dit om in een digitaal signaal naar de motoren. Zo wordt bepaald hoe hard iedere motor draait. Wij hebben voor het kk2.1.5 board gekozen, omdat dit een veel gebruikt onderdeel is waar veel informatie over beschikbaar is (afbeelding 7). Bovendien paste de prijs van dit board goed in het budget.



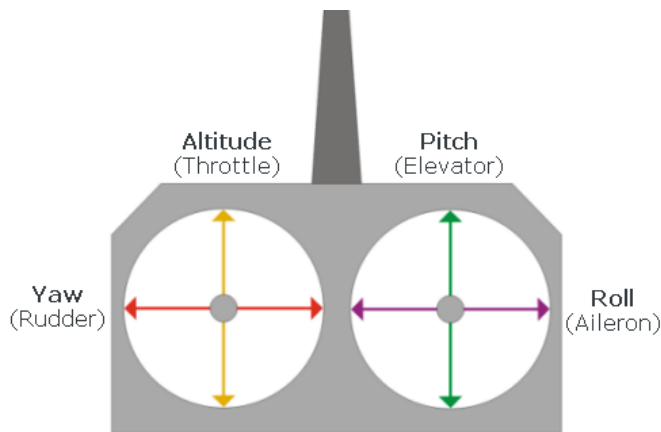
Afbeelding 7: KK2.1.5 controller board met aanwijzing onderdelen

### Kk2.1.5 opties

Hier leggen we de opties uit die relevant zijn voor dit onderzoek. De kk2.1.5 beschikt over de mogelijkheid om iedere motor los aan te sturen. Dit is niet alleen nodig om te kunnen sturen, maar ook om de drone recht te laten vliegen als hij niet symmetrisch beladen of gebouwd is. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk dat het zwaartepunt van de drone niet precies in het midden zit, waarvoor het board moet compenseren om de drone rechtuit te laten vliegen. Op de kk2.1.5 zijn de roll, de pitch en de yaw draaiingssterkte aanpasbaar. Roll (aileron) is de engelse term voor wenteling om de x-as, pitch (elevator) de term voor wenteling om de y-as, en yaw (rudder) de term voor wenteling om de z-as. Zie afbeelding 8.



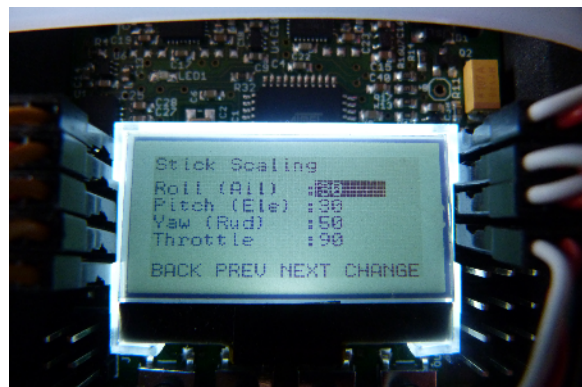
Afbeelding 8: Draaimogelijkheden drone



Afbeelding 9: Schematische afbeelding van een afstandsbediening

Onze afstandsbediening heeft twee sticks waarmee de drone bestuurd wordt. Deze sticks kunnen beide over de x-as en y-as bewegen. Er zijn dus in totaal vier richtingen in welke de sticks kunnen bewegen. Het kk2.1.5 board heeft de mogelijkheid om deze inputs per stuk te testen. Deze optie heet: "reciever test". Het display van het controller board toont dan per richting (aangegeven als gekleurde pijltjes in afbeelding 9) een getal om aan te geven hoe ver de stick bewogen is. Zo is te zien of de bediening juist geconfigureerd is.

Het kk2.1.5 board heeft de mogelijkheid om de sensitiviteit van de afstandsbedieningssticks in te stellen. Zo kan per bewegingsrichting van de sticks gekozen worden hoe sterk de drone reageert op een bepaalde afgelegde afstand van de stick. Het is dus mogelijk om de mate van versnelling aan te passen. De functie van de versnelling van de sticks is niet lineair. Dit is onderzocht door per afstand die de stick bewoog te kijken welk getal er bij de receiver test weergegeven werd (afbeelding 10). Zoals in tabel 2 te zien is, resulteert een verdubbeling van stickafstand niet in een verdubbeling van de waarde onder de receiver test optie.

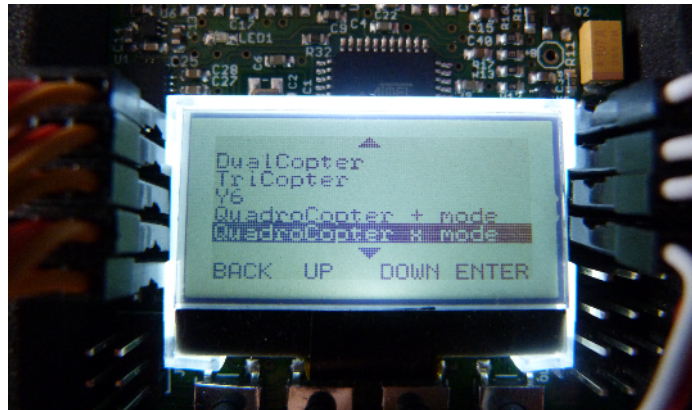


Afbeelding 10: Receiver test op kk2.1.5 controller board

Afgelegde stickafstand (streepjes op afstandsbediening)	Waarde op controller (geen eenheid)	Relatie tussen waarden (geen eenheid)
1,0	4,0	4,00
2,0	23,0	11,50
3,0	43,0	14,33
4,0	63,0	15,75
5,0	83,0	16,60
6,0	107,0	17,83

Tabel 2: Verhouding tussen stickbeweging en output

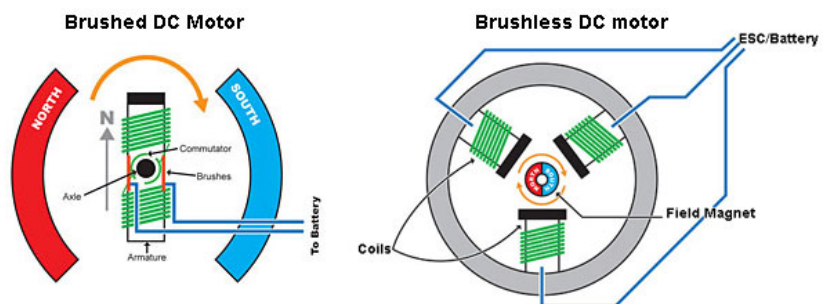
Als laatst heeft het kk2.1.5 controller board de mogelijkheid om de motor-layout te wijzigen (afbeelding 11). Dit board is namelijk geschikt voor drones tot en met 8 propellers en x of + frametypes. Aangezien er in dit onderzoek een 4x type gebouwd is, moest de motor-layout ingesteld worden op “quadcopter x mode”. De overige motor aansluitingen worden dus niet gebruikt.



Afbeelding 11: Motor-layout instellen op quadcopter x mode

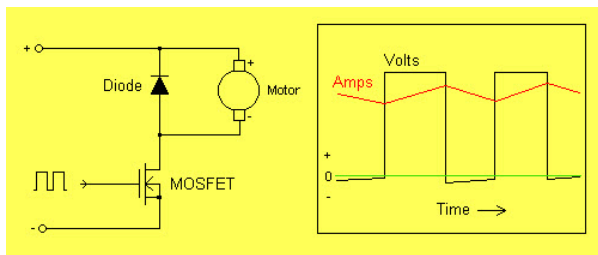
## Motoren

Er bestaan twee veelgebruikte type motoren in drones: de zogenaamde “brushed” en “brushless” motoren. Bij dit onderzoek is gekozen voor brushless motoren (linker deel afbeelding 12), omdat deze efficiënter zijn, meer kracht leveren bij hoge draaisnelheden en minder warm worden bij hoge toeren. Dit komt doordat de spoelen in de brushless motor niet tegen de magnetische kern aankomen. Bij brushed motoren is dit wel het geval, waardoor er veel wrijving ontstaat. Dit resulteert in een groter energiegebruik, meer slijtage en meer wrijvingswarmte. De gekozen motoren werken op 11.1 volt, wat een andere voltage is dan wat het controller board gebruikt (5 volt).



Afbeelding 12: Een systematische tekening van een Brushed en een Brushless motor

## Electronic speed controller



Afbeelding 13: De werking van een ESC en de verbindingen in een circuit

Om het signaal van het control board om te zetten in de draaisnelheid van de motoren wordt een ESC (electronic speed controller) gebruikt. Dit doet een ESC door middel van het aanpassen van de frequentie waarmee het voltage veranderd wordt. Dit betekent dat iedere motor een eigen ESC nodig heeft om aangestuurd te worden. Zie afbeelding 13 voor de werking en het circuit van een ESC.

## Accu

Om de drone van stroom te voorzien, gebruiken we een 11.1V 2200mAh LiPo (Lithium Polymer) accu met drie cellen. Deze accu weegt 150 gram. Door dit relatief lage gewicht is het gemakkelijk voor de drone om op te stijgen, aangezien de neerwaartse kracht van de drone klein is. Een compromis van een kleine accu is een kortere vliegtijd. Bij het kopen van een drone accu is het belangrijk om te kijken naar de Capaciteit-waarde van de accu. Met de C-waarde kun je de maximale constante ontlading in Ampère berekenen:

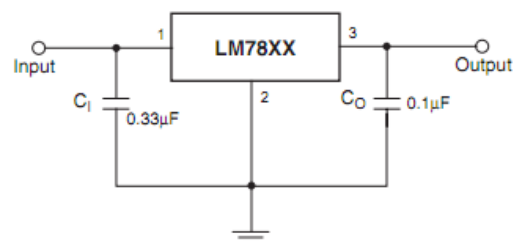
$$\text{Maximale constante ontlading (A)} = \text{Accu capaciteit (Ah)} \times \text{Capaciteitwaarde (C)}$$

De accu die is gebruikt in dit onderzoek heeft een capaciteit van 2,2Ah. De capaciteitswaarde van de accu is 10C. Dan is volgens onderstaande berekening de Maximale constante ontlading 22A.

$$\text{Maximale constante ontlading (A)} = 2,2\text{Ah} \times 10\text{C} = 22\text{Ah}$$

## BEC (Spanningsregelaar)

Voor het toevoeren van stroom naar het control board en de ontvanger is 5V nodig. Er is echter een 11.1V accu gebruikt. Om het voltage te verlagen naar 5V is er een spanningsregelaar gebruikt. Zo'n spanningsregelaar wordt ook wel een BEC (battery eliminator circuit) genoemd. Dit is in dit geval de LM7805. In combinatie met twee condensatoren wordt volgens dit stroomschema (afbeelding 14) het voltage verlaagd naar 5V.



Afbeelding 14: Spanningsregelaar circuit



## Frame

Bij het samenstellen van het frame is gekozen voor lichtgewicht materialen (plastic en carbon), aangezien het belangrijk is dat een drone zo licht mogelijk is. Het frame weegt 167 gram. Het frame is gebouwd zodat alle onderdelen stevig bevestigd kunnen worden. Het heeft twee op elkaar gelegen centrale platformen tussen de vier armen voor het control board, de ontvanger en de accu. Het frame heeft twee rode en twee witte armen, waarmee de voor- en achterkant duidelijk aangegeven worden. Dit is belangrijk, omdat een drone in alle richtingen kan vliegen. Als de bestuurder verkeerd om de drone kijkt, zou de drone bijvoorbeeld naar rechts vliegen als naar links gestuurd wordt.



Afbeelding 15: Drone frame met gekleurde armen

## Ontvanger

Er is gekozen voor een 6-kanaals ontvanger module (afbeelding 16). Het kk2.1.5 board heeft 5 input-kanalen. Het zesde kanaal op de ontvanger kan gebruikt worden als stroominput. Kanaal 1 is voor de aileron (links/rechts op rechter stick). Kanaal 2 wordt gebruikt voor de elevator (omhoog/omlaag op rechter stick). Kanaal 3 wordt bediend door de throttle (omhoog/omlaag linker stick). Als laatst wordt kanaal 4 gebruikt voor rudder (links/rechts op linker stick). In tabel 3 is de indeling van de gebruikte kanalen weergegeven.



Afbeelding 16: Ontvanger module

Kanaal 1	Kanaal 2	Kanaal 3	Kanaal 4
Aileron	Elevator	Throttle	Rudder

Tabel 3: Kanaalindeling ontvanger module

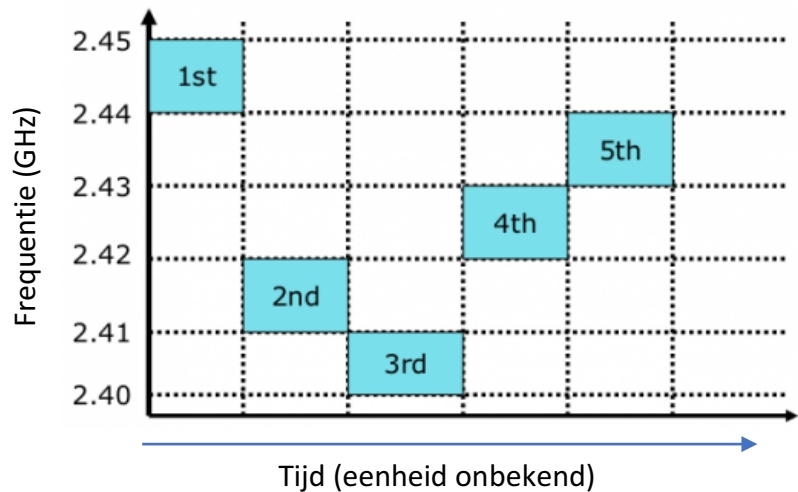
## Deelvraag 3: Hoe werkt de communicatie met een drone?

### Frequentie

De 2,4GHz frequentie wordt door veel moderne producten gebruikt. Deze frequentie wordt onder andere gebruikt in magnetrons, bluetooth en afstandsbedieningen. Dit heeft als voornaamste reden dat dit een van de weinige frequenties is waar zonder licentie op uitgezonden mag worden volgens de FCC (Federal Communications Commission).

De 2,4GHz frequentie werd ingevoerd omdat de voorgaande standaard, 900MHz, te gevoelig was voor interferentie bij veel gebruikers. Dit zou betekenen dat iemand anders met een andere 900MHz afstandsbediening gemakkelijker het signaal naar een ontvanger kan beïnvloeden. Dit geldt dus ook voor drones.

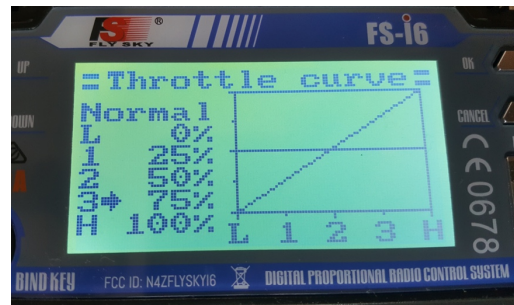
In dit onderzoek wordt de 2,4GHz frequentie gebruikt. Om interferentie op deze bandbreedte te verminderen, wordt in de FlySky FS-I6 gebruikt gemaakt van "frequency hopping spread spectrum" (afbeelding 17). Bij FHSS wordt om een bepaalde tijd de uitzend- en ontvangfrequentie veranderd. In dit onderzoek wordt de 2,4GHz band (2,408-2,475GHz) verdeeld over 135 kanalen waartussen gewisseld kan worden. Een bijkomend voordeel van deze frequentie is dat er een kleinere antenne gebruikt kan worden dan bij lagere frequenties.



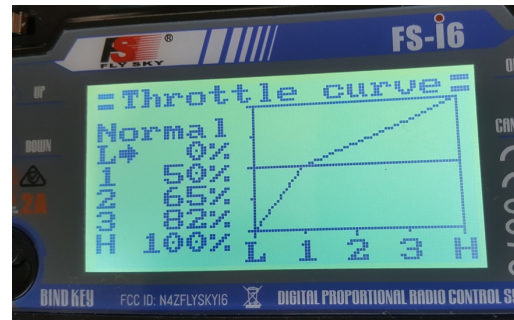
Afbeelding 17: FHSS schematische weergave

## Throttle curve

De throttle curve (draaisnelheids-kromme) kan op de FS-I6 ingesteld worden. Zo kan de reactie van de gegeven hoeveelheid gas per eenheid stickbeweging aangepast worden. In afbeelding 18 is een lineaire kromme afgebeeld. Hierin werkt bij 25% stickbeweging omhoog 25% van de stijgingskracht. Bij afbeelding 19 is de throttle-kromme aangepast. Hier staat 25% stickbeweging omhoog gelijk aan 50% stijgingskracht. Stel dat de drone begint met stijgen bij 50% stijgingskracht, dan kan de overige stijging nauwkeuriger bepaald worden met de overige 75% stick beweging. Dit maakt het makkelijker om de drone handmatig op precieze hoogtes te laten blijven vliegen. Bij race-drones wordt het tegenovergestelde ingesteld. Zo kunnen de motoren in de race-drone met weinig stickbeweging toch een grotere draaisnelheid bereiken.



Afbeelding 18: Throttle curve lineair



Afbeelding 19: Throttle curve aangepast

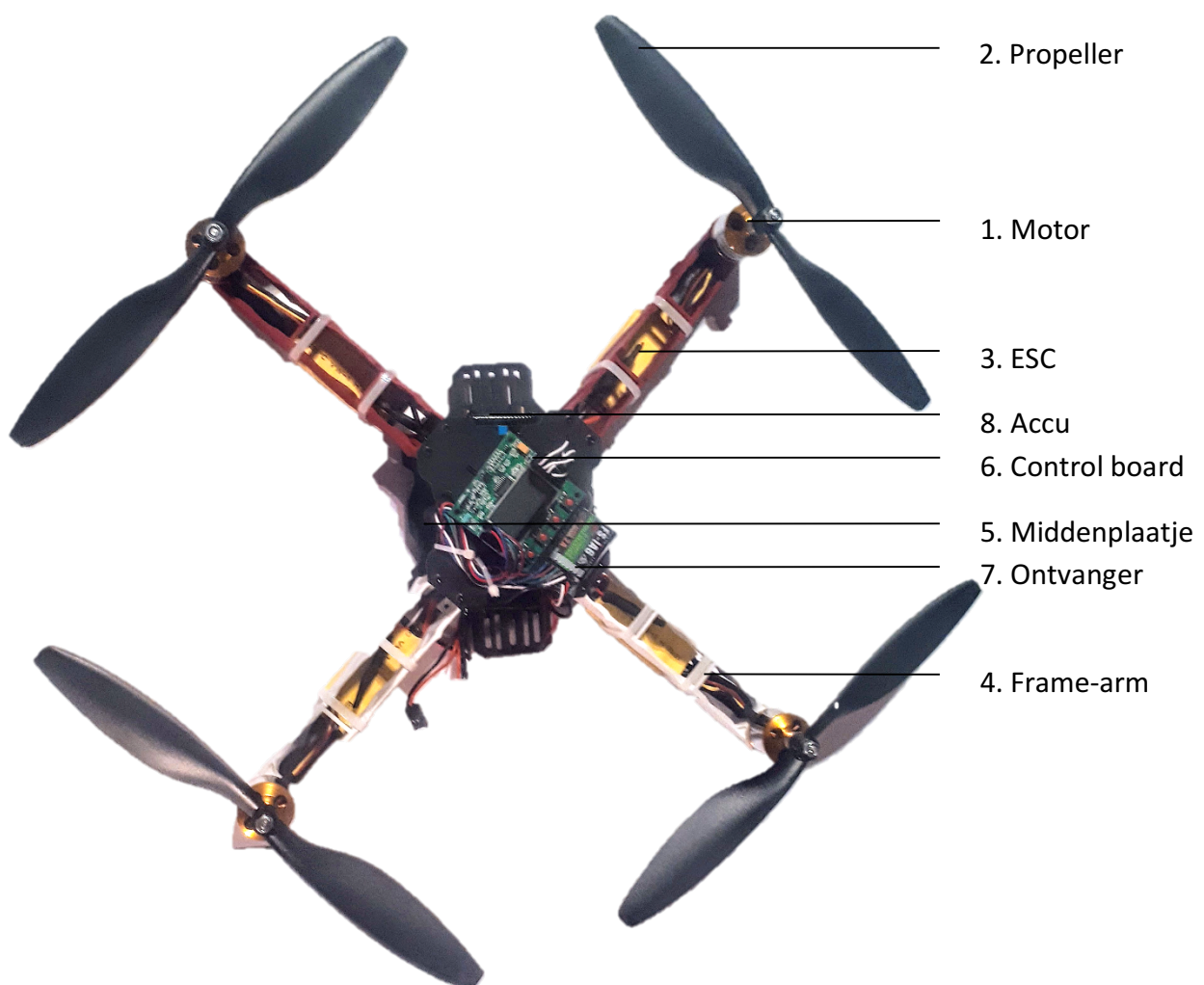
## Deelvraag 4: Hoe wordt een drone geconstrueerd?

In afbeelding 20 is te zien hoe de drone gefabriceerd is. Per onderdeel is de locatie zichtbaar. Hieronder in tabel 4 leggen we per genummerd onderdeel uit waar dit zit en waarom.

Onderdeel op nummer volgens afbeelding 20	Uitleg locatie van onderdeel
<b>1: Motoren</b>	De motoren zitten aan het uiteinde van de armen van de drone vastgeschroefd. Hier zitten ze het verst uit elkaar. Dit maakt grote propellers mogelijk, wat kan resulteren in een grotere stuwkracht. Zoals te zien is in het stroomschema (Afbeelding 21) zijn bij tegenovergestelde motoren de positieve en negatieve pool omgedraaid. Dit zorgt voor een omgekeerde draairichting. Zie deelvraag 1 voor verdere toelichting.
<b>2: Propellers</b>	De propellers zijn aan het draaiende deel van de motoren bevestigd met moertjes. Zo zijn de propellers stevig bevestigd.
<b>3: ESC's</b>	De ESC's zijn tussen de motoren en het midden van het frame gemonteerd met kabelbinders. Zo zijn de ESC's verwijderbaar mocht er één kapotgaan, maar zijn ze wel stevig gemonteerd.
<b>4: Frame-armen</b>	De frame-armen zijn aan het midden van de drone gemonteerd met 4 schroeven per arm. Dit zorgt ervoor dat de armen niet gemakkelijk los kunnen raken als er veel kracht op wordt uitgeoefend tijdens het vliegen. De armen hebben twee verschillende kleuren. Hierdoor is de oriëntatie van de drone duidelijk wanneer deze in de lucht is.
<b>5: Middenplaatjes</b>	In het midden van de drone zitten twee plaatjes boven elkaar, waarop het control board, de ontvanger, de accu en de schakelaars zitten. De armen zijn aan de vier bevestigingspunten in de middenplaatjes geschroefd.
<b>6: Control board</b>	Het control board is bevestigd op het bovenste middenplaatje met klittenband. Het control board zit in het midden van het frame, omdat deze zo een gelijke afstand heeft naar alle verbindingpunten en het gewicht hierdoor zo centraal mogelijk zit.
<b>7: Ontvanger</b>	De ontvanger zit op het bovenste middenplaatje naast het control board gemonteerd met klittenband. Doordat de beide componenten naast elkaar zitten is de bekabeling makkelijk weg te werken en is deze goed bereikbaar.

<b>8: Accu</b>	De accu zit aan de onderkant van het onderste middenplaatje bevestigd met klittenband. De stroombron wordt met connectoren in de stroomkring opgenomen. Zo is deze gemakkelijk te verwijderen om op te laden.
<b>9: BEC (battery eliminator circuit)</b>	De BEC is met klittenband aan de onderkant van het bovenste middenplaatje vastgeplakt. Door het klittenband zit de BEC niet direct op het middenplaatje, waardoor trillingen die de BEC kapot kunnen maken gedempt worden.

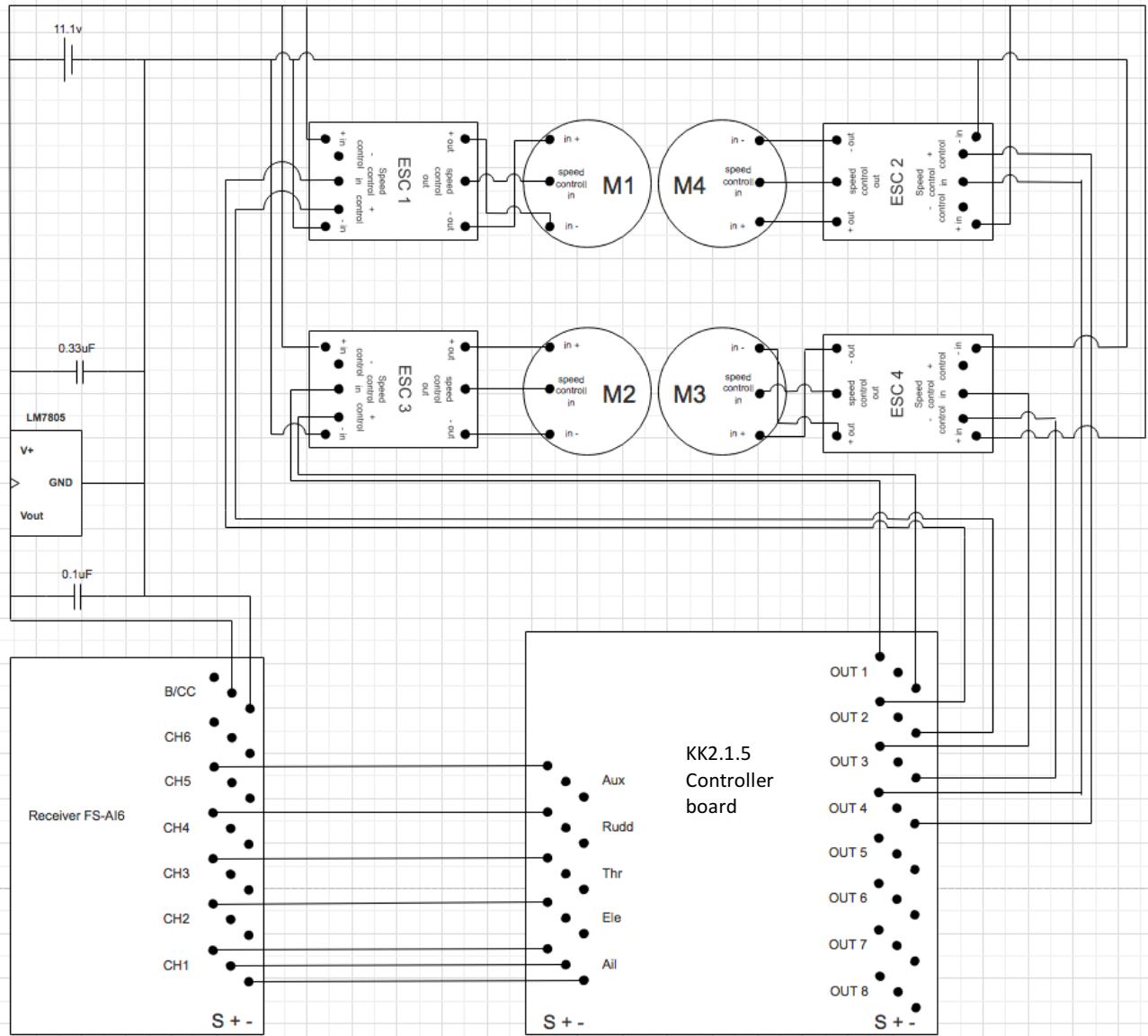
Tabel 4: Toelichting locatie drone onderdelen



Afbeelding 20: Schematische weergave van drone onderdelen gebruikt in dit onderzoek

## Stroomschema

In afbeelding 21 staat het stroomschema dat gebruikt is bij de montage van deze drone. Hierin is te zien dat de accu een voltage levert van 11.1 volt en hoe dit voltage vervolgens verlaagd wordt bij de BEC. In deze afbeelding is ook schematisch weergegeven hoe het KK2.1.5. Controllerboard aangesloten is in op de FS-AI6 receiver. Aan de Out-poorten van de KK2.1.5 worden vervolgens de ESC's en daarna de vier motoren aangesloten. Bij motor 1 en 3 zijn de positieve en negatieve pool andersom aangesloten om te zorgen voor een tegengestelde draairichting.

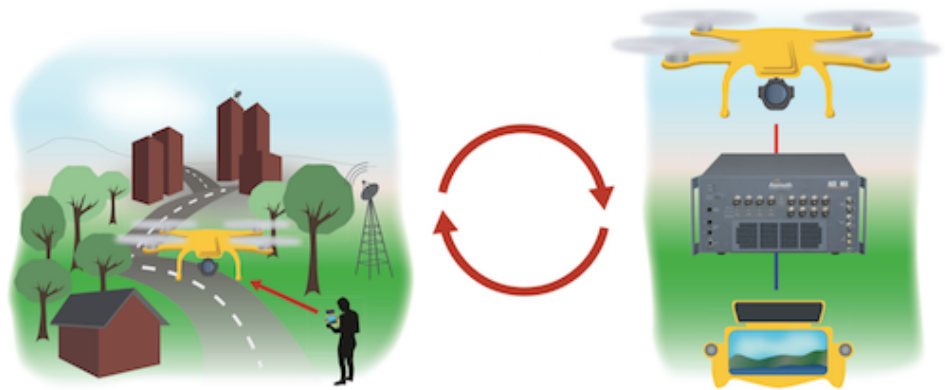


Afbeelding 21: Stroomschema van alle aangesloten onderdelen

## Deelvraag 5: Hoe wordt een algemene drone getest?

Drones kunnen in een aantal verschillende scenario's gevlogen worden. Zo kunnen ze binnen of buiten en met veel of weinig wind vliegen. Daarnaast zijn er meer variabelen die per drone type getest moeten worden. Zo hebben sommige drone bijvoorbeeld een FPV-camera, waarvan de beelden live door gegeven moeten worden. De verbinding met de camera moet dan stabiel zijn, bij signaalverlies zou de drone tijdelijk niet te besturen zijn.

Om het radiosignaal tussen de afstandsbediening en de ontvanger te testen wordt een apparaat gebruikt dat dit signaal kan testen (afbeelding 22). Zo kan het bereik, de aansturing per kanaal en de reactiesnelheid getest worden.



Afbeelding 22: Apparatuur waarmee het drone signaal getest wordt

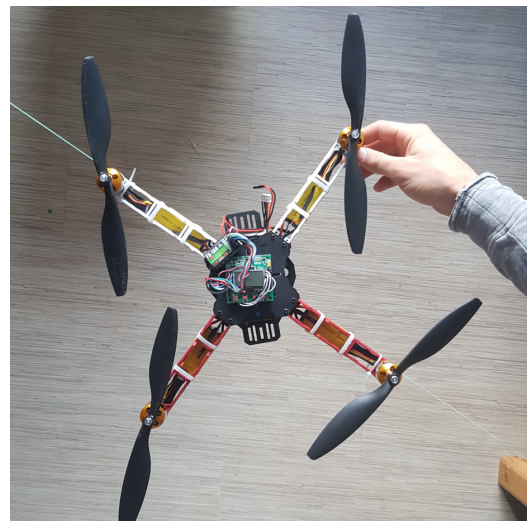
## Deelvraag 6: Hoe wordt de drone uit dit onderzoek getest?

### Eisen waaraan voldaan moet worden

In het onderzoeksplan zijn een aantal eisen gesteld waar de drone uit dit profielwerkstuk aan moet voldoen. Zo moet de drone minimaal 1 minuut, op 1,5 m hoogte kunnen vliegen. Dit moet gebeuren zonder dat de drone fysiek verbonden is met externe apparaten. De drone moet dus vrij kunnen bewegen in het luchtruim. Daarnaast moet de drone goed te besturen zijn. De drone moet tot op enige afstand, ongeveer 200 meter, verbinding hebben met de afstandsbediening. Als dit namelijk niet het geval is, kan de drone niet op hoogtes vliegen waar hij bij sommige toepassingen nodig is. De drone moet ook stabiel stil kunnen hangen, en accuraat van de ene naar de andere plek kunnen vliegen.

### Balans

Een vliegend object moet goed gebalanceerd zijn, anders kan het niet stabiel in de lucht blijven zweven. Om de drone uit dit project te balanceren, is de opzet uit afbeelding 23 gebruikt. Er wordt een touwtje tussen twee palen gebonden, waartussen de drone hangt. Zo kan de drone niet ongecontroleerd wegvliegen als hij in disbalans is. Om de beweging van links naar recht af te stellen, wordt het touwtje over arm 1 en 3 geleid. De eventuele afwijking kan nu met de trim knopjes op de afstandsbediening gecompenseerd worden. Hetzelfde wordt gedaan voor de voor- en achterwaartse beweging, maar bij deze beweging wordt het touwtje over arm 2 en 4 geleid.



Afbeelding 23: Testopzet voor het balanceren van een drone

### Warmte

In drones zijn er vele onderdelen die oververhit kunnen raken. Zeker als de onderdelen los gekocht zijn, en niet als een pakket bij elkaar horen. Hoewel het onwaarschijnlijk is dat er een onderdeel oververhit raakt, moet wel getest worden hoe warm de onderdelen worden. Hiervoor is een infrarood thermometer gebruikt. Deze merkloze thermometer kan temperaturen van -50 tot 380 graden Celsius meten met een maximale afwijking van 0,05 graden Celsius. In tabel 5 staan de gemeten temperaturen na 1 minuut vliegtijd. De kamertemperatuur is gemeten door het gemiddelde van de temperatuur van de vloer en het plafond te meten. De vloer was 19,1 °C het plafond 20,3 °C, de gemiddelde kamertemperatuur was dus 19,7 °C.

Onderdeel	Gemeten temperatuur in °C
<b>Motoren gemiddeld</b>	19,7
<b>Gem ESC's</b>	26,3
<b>Control board</b>	20,0
<b>Ontvanger</b>	22,3
<b>BEC (voltage regulator)</b>	33,6
<b>Accu</b>	30,2

Tabel 5: Gemeten temperaturen per onderdeel



## Conclusie

De hypothese die is gebruikt in dit onderzoek luidt als volgt: *Onze verwachting is dat we aan het eind van ons profielwerkstuk een werkende drone hebben. Dit houdt in dat hij zelfstandig kan vliegen, zonder fysiek verbonden te zijn met externe apparaten. Hij kan dus niet aan een accu of kabel verbonden zijn. We hebben een aantal eisen aan onze drone; hij moet op minimaal 1,5 meter hoogte kunnen vliegen, voor minimaal 1 minuut.*

Uiteindelijk is het niet gelukt om de drone uit dit onderzoek voor 1 minuut stabiel te laten vliegen. Er is dus niet voldaan aan de hypothese. Dit komt door twee oorzaken: ten eerste is ons kk2.1.5 board niet voorzien van de nieuwste software. De softwareversie die nu op het board staat, staat bekend vanwege zijn fouten met self leveling. Self leveling houdt in dat de drone zichzelf stabiel houdt door middel van zijn motoren en zijn gyroscoop. Ten tweede is onze accu maar in staat tot het leveren van 22 ampère, terwijl de ESC's en motoren gemaakt zijn voor 30 ampère. Dit heeft als resultaat dat de drone bij vol gas kan gaan stotteren, wat hem instabiel maakt.

Het zelf bouwen van een drone bleek een ambitieus plan gezien de beperkte hoeveelheid tijd voor een profielwerkstuk. Zo was er niet genoeg tijd voor het bestellen van een correcte accu of het updaten van de software. Wellicht dat leerlingen van de sectie natuurkunde onze drone af kunnen maken.

### *Hoofdvraag: Hoe wordt een functionerende drone gebouwd?*

Een functionerende drone wordt gebouwd door compatibele motoren, wieken, ESC's, een accu (eventueel een BEC) en een controller board te combineren met een geschikt frame en een samenwerkende ontvanger en receiver. Wanneer vervolgens de onderdelen correct aangesloten worden, zal de drone haar wieken kunnen draaien. Nu moet de software van de drone correct ingesteld worden en zal gezorgd moeten worden dat de drone zichzelf balanceert. Als deze stappen voltooid zijn, zal de drone 1 minuut lang kunnen vliegen op 1.5 meter hoogte zonder fysiek verbonden te zijn met een extern apparaat.

Het is dus niet gelukt om de juiste accu te kiezen voor deze drone. Daarnaast is de software voor self leveling niet goed, het updaten hiervan lukte niet in de tijd gesteld voor dit werkstuk. Toch is het grootste deel van dit onderzoek wel gelukt. Alle onderdelen op de drone functioneren en werken correct samen. De motoren zijn krachtig genoeg om de drone op te laten stijgen en de drone hoeft niet fysiek verbonden te zijn met een extern apparaat om te functioneren.

## Discussie

De resultaten van dit onderzoek voldoen niet aan onze hypothese, omdat er onvoldoende tijd was om de drone af te bouwen. Dit tijdstekort blijkt het zwaktepunt van dit onderzoek. In het totaal heeft het maken van dit profielwerkstuk meer dan 200 uur gekost. Het ambitieuze plan om een drone te maken, heeft ons veel laten leren, maar heeft ook getoond hoe complex een drone is. Zo waren wij er ons bijvoorbeeld niet bewust van hoe complex een drone accu is. In het vervolg zouden we dus meer vooronderzoek willen doen naar de onderdelen in een drone.

Een andere zwaktepunt in dit werkstuk bleek de bereidheid waarmee mensen mee willen helpen. Van de acht dronewinkels was maar één winkel bereid om ons langs te laten komen voor een interview.

Voor een vervolgonderzoek raden wij aan dat leerlingen verder gaan met deze drone, maar zelf de software schrijven en een andere accu kopen. Op deze manier besparen de leerlingen veel tijd, aangezien ze de basis van het bouwen van een drone minder te hoeven onderzoeken. Dit resulteert in een beter ingekaderd onderzoek, wat hopelijk als resultaat een functionerende drone heeft.

Zoals al verteld, is het bouwen van een drone erg ambitieus, zeker in de gestelde tijd voor een profielwerkstuk. Bovendien is het kopen van een drone goedkoper en is de kans groter dat het resultaat een functionerende drone is. Toch is het bouwen van een drone erg leerzaam en bovendien leuk. Het wordt door ons zeker aanbevolen om dit onderwerp te kiezen.

## Reflectie en evaluatie

Het bouwen van deze drone was een plezierig en leerzaam proces. Het is ons duidelijk geworden welke onderdelen in een drone zitten en hoe deze met elkaar samenwerken. Daarnaast hebben we veel geleerd over hoeveel kennis er nodig is voor de productie van een drone.

In het vervolg zouden we ons onderzoek beter inkaderen, waardoor het proces minder tijd zou kosten. Desalniettemin zijn we trots op het resultaat en hopen we een leuk, leerzaam werkstuk gemaakt te hebben.

## Literatuurlijst

- [Draairichting propellers] [Illustratie]. (z.j.). Geraadpleegd van <http://antodominic.com/beagle-copter/#/step-9>
- [FS-IA6 Ontvanger module] [Illustratie]. (z.j.). Geraadpleegd van <https://img1.banggood.com/thumb/view/oaupload/banggood/>
- [Woordenboek definitie drone]. (z.j.). Geraadpleegd op 23 september 2017, van <http://www.woorden.org/woord/drone>
- Agarwal, T. (z.j.). Introduction To Electronic Speed Control (ESC) Working and Applications [Illustratie]. Geraadpleegd van <https://www.elprocus.com/electronic-speed-control-esc-working-applications/>
- Battlefield hardline [Illustratie]. (2015, 31 maart). Geraadpleegd van <https://ahmedaziz7.wordpress.com/2015/03/31/gunner-in-the-attack-helicopter-battlefield-hardline/>
- Different types of drones. (2017, 21 februari). Geraadpleegd van <https://dronepedia.xyz/5-different-types-of-drones/>
- Dirjish, M. (2012, 16 februari). What's The Difference Between Brush DC And Brushless DC Motors? Geraadpleegd van <http://www.electronicdesign.com/electromechanical/what-s-difference-between-brush-dc-and-brushless-dc-motors>
- Drone testing, testing and challenges [Illustratie]. (z.j.). Geraadpleegd van <https://www.azimuthsystems.com/wireless-solutions/drone-testing-challenges-and-smart-solutions/>
- DroneFlyers. (2012, 18 februari). Drone 101: What is a Quadcopter? [Illustratie]. Geraadpleegd van <https://www.droneflyers.com/drone-101-what-is-a-quadcopter/>
- Flynt, J. (2017, 9 juli). 21 types of drones [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://3dinsider.com/types-of-drones/>
- Hanks, J. (z.j.). NEW 5.8 GHz cordless phones: are they better than 2.4 GHz? Geraadpleegd van <http://telecom.hellodirect.com/docs/Tutorials/5.8GHzFrequency.1.031903.asp>
- Herman, J. (2010, 9 juli). WHY EVERYTHING WIRELESS IS 2.4 GHZ [Illustratie]. Geraadpleegd van <https://www.wired.com/2010/09/wireless-explainer/>
- Kk2.0, la solution de facilité [Illustratie]. (2013, 29 november). Geraadpleegd van <https://lalegiondesquadri.wordpress.com/2013/11/29/kk2-0-la-solution-de-facilite/>
- Perlman, A. (2016, 4 november). 6 Tips for First-Person-View (FPV) Drone Racers [Illustratie]. Geraadpleegd van <https://uavcoach.com/6-tips-first-person-view-fpv-drone-racers/>
- Q380 Mini Multirotor Quadcopter Frame Kit Compatible with CC3D [Illustratie]. (z.j.). Geraadpleegd van <https://www.sunfounder.com/q380-frame.html>
- Shchapov, A. (2014, 18 september). Copter Build Log 3: The Firmware [Illustratie]. Geraadpleegd van <https://darednaxella.name/2014/08/18/copter-build-log-3-the-firmware/>
- Szczys, M. (2011, 15 november). Voltage regulation with our friend the 7805 [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://jumptuck.com/2011/11/15/voltage-regulation-friend-7805/>
- Technikblog. (2013, 22 maart). Projekt Multicopter: Wie funktioniert ein Multicopter [Illustratie]. Geraadpleegd van <https://technikblog.ch/2013/03/projekt-multicopter-wie-funktioniert-ein-multicopter/>
- ThinkRC. (z.j.). Brushed vs brushless motors [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://www.thinkrc.com/faq/brushless-motors.php>
- Understanding RC Aircraft Transmitter Controls [Illustratie]. (z.j.). Geraadpleegd van <http://learn.parallax.com/tutorials/robot/elev-8/multirotor-flying-guide-elev-8-v2/learn-your-transmitter-controls>
- Unmanned Tech. (2015, 15 september). LiPo Batteries - How to choose the best battery for your drone [Illustratie]. Geraadpleegd van <http://www.dronetrest.com/t/lipo-batteries-how-to-choose-the-best-battery-for-your-drone/1277>
- Wireless and mobile technologies for the Future Internet [Illustratie]. (2014). Geraadpleegd van [http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0050\\_09\\_wireless\\_mobile\\_technologies/ar01s03.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0050_09_wireless_mobile_technologies/ar01s03.html)