

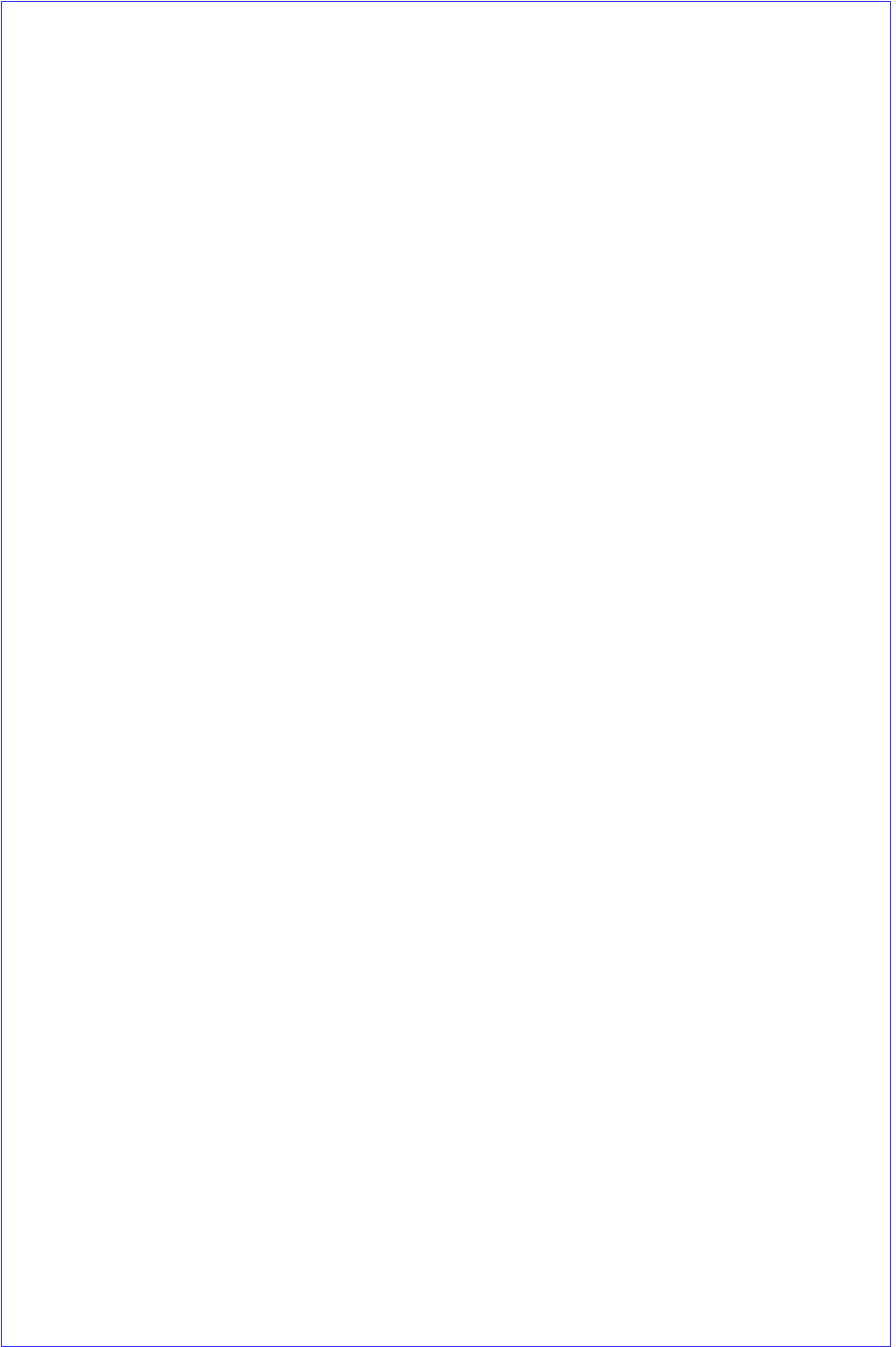
U-Drone: Kabelhaspel

Scriptie



Gilliam van der Burg – 14035707

Mechatronica



U-Drone: Kabelhaspel

Scriptie

Auteur

Door: Gilliam van der Burg

Studentnummer: 14035707

Bedrijfsgegevens

Bedrijfsmentor: E.G. Ijsselmuiden

E-mail: e.g.ijsselmuiden@delftdynamics.nl

Bedrijf: Delft Dynamics B.V.

Afstudeeradres: Molengraafsingel 10

Postcode: 2629 JD Delft

Telefoon: +31 157111009

School

Instelling: Haagse Hogeschool Delft

Afstudeerbegeleider: J.F. Creemer

Waarnemend afstudeerbegeleider: D.G. van Teylingen

Stagecoördinator: T.J. Korneef

Datum: 30-05-19

Versie: 1

Voorwoord

Dit document is opgesteld in het kader van mijn afstudeeropdracht van de opleiding Mechatronica aan de Haagse Hogeschool in Delft. Deze opdracht is onderdeel van project U-drone voor het ministerie van Defensie en wordt uitgevoerd door Delft Dynamics. Belangrijk is om te vermelden dat de exacte typenummers van de gekozen componenten niet in dit verslag zijn genoteerd ter bescherming van het ontwerp.

Deze technische rapportage onderbouwt het ontwerp van een communicatiekabel en kabelhaspel voor een drone die ingezet wordt voor ondergrondse inspecties.

Technici die geïnteresseerd zijn naar een overzicht van het ontwerp en de testresultaten kunnen deze vinden in hoofdstuk 4.

Tenslotte wil ik Eduard IJsselmuiden bedanken voor de begeleiding tijdens het project.

Delft, mei 2019

Gilliam van der Burg

Samenvatting

Achtergrond

Voor project U-drone Ontwikkeld Delft Dynamics een drone die ondergrondse gangen kan inspecteren. Tijdens een inspectie mag het signaal van de drone niet verstoord worden door (kwaadwillende) invloed van buitenaf. Om deze reden moet de communicatie met de drone via een kabel verlopen.

Afbakening

In dit rapport wordt gekeken naar de mogelijkheid om een dataverbinding, op basis van een ethernet-protocol, tot stand te brengen tussen een drone en een controller. Hierbij wordt geen rekening gehouden met het voeden van de drone. Aan het eind van de periode dient er een werkend prototype opgeleverd te worden.

Hoofdvragen

In dit rapport worden de volgende hoofdvragen beantwoordt:

- Is het mogelijk om een RH5 drone te voorzien van een communicatiekabel van honderd meter of meer, waarbij voldaan wordt aan gestelde eisen?
- Hoe kan de communicatiekabel gerealiseerd en toegepast worden?

Uit de hoofdvragen komen de volgende deelvragen naar voren:

- Welk type kabel is geschikt om te gebruiken als communicatiekabel?
- Hoe kan de kabelhaspel op de binnen vijf minuten verwisseld worden

Methodiek

Voor het ontwerp zijn de te vervullen functies vast gesteld met een functie-analyse. Op basis hiervan is een morfologisch overzicht gecreëerd die de deeloplossingen van de communicatiekabel en de kabelhaspel in kaart brengt. Hiermee zijn ontwerpconcepten opgesteld die vervolgens zijn beoordeeld met behulp van de Kesselringmethode op maakbaarheid en functionaliteit. De ontwerpconcepten met de hoogste score zijn vervolgens uitgewerkt in een prototype.

Randvoorwaarden

Het streven is om het prototype van de kabelhaspel zo licht mogelijk te maken zodat de vluchtduur van de drone minimaal beperkt wordt. De haspel moet geschikt zijn voor 100 meter kabel. Na een vlucht moet de haspel (gedeeltelijk) binnen 5 minuten te verwisselen zijn zodat om hem klaar te maken voor een nieuwe vlucht. De bandbreedte van de verbinding moet toereikend genoeg zijn om videobeelden en eventueel commando's over te versturen. Verder mag de kabelhaspel de drone zo min mogelijk beïnvloeden tijdens het vliegen.

Ontwerp communicatiekabel

Een homeplugmodule in een converterbox vormt het ethernet-sigitaal om naar een powerline-sigitaal om over de communicatiekabel te sturen. Voor de communicatiekabel is een micro-coaxkabel met een diameter van 0,5 millimeter gebruikt. Deze is met een SMA-aansluiting verbonden met de converterbox. 100 meter kabel verder wordt het powerline-sigitaal weer omvormt naar een bruikbaar ethernet-sigitaal door een tweede homeplugmodule op de drone. De communicatiekabel wordt met een JST PA stekker aangesloten op de drone.

Ontwerp kabelhaspel

De communicatiekabel wordt op een klos gerold die verticaal aan een as onder de drone hangt. De klos bevestigd met een bevestigingsdop die tevens als draaivlak voor de klos dient. De bevestigingsdop is met een veer-klemsysteem onder de drone bevestigd. Via een gat in de flens van de klos wordt de kabel onderlangs door de binnenkant van de klos gevoerd. Hier is de kabel verbonden met een sleepring die de kabel tijdens het afrollen roteert.

Conclusies

Uit testresultaten is gebleken dat het mogelijk is om een dataverbinding tot stand te brengen tussen een drone en een controller met behulp van een 100 meter lange kabel.

Daarnaast is de haspel binnen tweeënhalve minuut te verwisselen en weegt slechts 254 gram. Hiermee voldoet het ontwerp aan de gestelde eisen.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om een deel van het ontwerp van de bevestigingsdop en de kabelgeleiding te herzien.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	II
Samenvatting.....	III
Afbeeldingenregister.....	1
Tabellenregister.....	2
1 Inleiding.....	3
1.1Aanleiding.....	3
1.2Doelstelling.....	3
2 Programma van eisen.....	4
3 Synthese.....	7
3.1Werkwijze bepaling.....	7
3.2Functie-analyse	8
3.3Morfologisch overzicht.....	9
3.3.1Morfologisch overzicht Communicatiekabel.....	9
3.3.1Morfologisch overzicht kabelhaspel.....	10
3.4Structuur.....	12
3.4.1Structuurbepaling communicatiekabel.....	12
3.4.2Structuurbepaling kabelhaspel.....	16
3.5Vormgeving.....	21
3.5.1Systeemdiagrammen.....	22
3.5.2Dimensionering kabelhaspel.....	23
3.5.3Vormgeving communicatie.....	26
3.5.4Vormgeving eerste prototype kabelhaspel.....	33
3.5.5Vormgeving tweede prototype kabelhaspel.....	41
3.5.6Materiaalkeuze.....	45
4 Resultaten.....	45
4.1Het ontwerp.....	45
4.1.1Bevestigen.....	46
4.2Testresultaten.....	47
4.2.1Testresultaten communicatiekabel.....	47
4.2.2Testresultaten kabelhaspel.....	47
4.3Massabudget.....	49
5 Conclusies en aanbevelingen.....	50
5.1Conclusies.....	50
5.2Aanbevelingen.....	50
Literatuurlijst.....	51
Verklarende woordenlijst.....	52
Bijlage I: Opdrachtomschrijving.....	53
Bijlage II: Systeemdiagrammen.....	58
Bijlage III: Testresultaten.....	61
Bijlage IV: Berekeningen.....	75
Bijlage V: Checklist programma van eisen en wensen.....	77
Bijlage VII: Grafisch materiaal ontwerp.....	80
Bijlage VIII: Haspel rekentool.....	92

Afbeeldingenregister

Afbeelding 1: driefasenmodel.....	7
Afbeelding 2: Kesselringdiagram communicatiekabel.....	14
Afbeelding 3: Kesselringdiagram kabelhaspel.....	19
Afbeelding 4: Illustratie verticale oriëntatie klos.....	20
Afbeelding 5: Coneceptschets kabelgeleiding.....	20
Afbeelding 6: BDD kabelhaspel.....	22
Afbeelding 7: Schematische opbouw coaxkabel.....	26
Afbeelding 8: Opbouw communicatiemodule.....	28
Afbeelding 9: Model SMA-connector.....	29
Afbeelding 10: JST-PA socket.....	29
Afbeelding 11: Aansluiting sleeping op de communicatiemodule	29
Afbeelding 12: Elektrisch schema communicatiemodel.....	30
Afbeelding 13: U-drone converterbox.....	31
Afbeelding 14: Kabelassemblage schematisch.....	32
Afbeelding 15: Kabel assemblage.....	32
Afbeelding 16: Conceptschets ophanging kabelhaspel.....	33
Afbeelding 17: 3D-print van het ontwerpconcept uit Afbeelding 16.....	34
Afbeelding 18: Render eerste prototype kabelhaspel.....	35
Afbeelding 19: 3Dprint eerste prototype kabelhaspel.....	35
Afbeelding 20: Prototype kabelhaspel exploded view.....	36
Afbeelding 21: Opbouw klos.....	37
Afbeelding 22: Cilinder met uitsparing.....	37
Afbeelding 23: Ophanging eerste prototype.....	38
Afbeelding 24: Geleider communicatiekabel.....	39
Afbeelding 25: Conceptschets verbeterpunten prototype 1.....	40
Afbeelding 26: Exploded view tweede prototype.....	41
Afbeelding 27: As prototype twee.....	42
Afbeelding 28: Bevestigingsdop.....	42
Afbeelding 29: assemblage klos.....	43
Afbeelding 30: Klos met glad oppervlakte.....	44
Afbeelding 31: Kabelgeleiding met band.....	44
Afbeelding 32: De kabelgeleiding valt over de flens	46
Afbeelding 33: Testvlucht kabelhaspel.....	48

VERTROUWELIJK

Afbeelding 34: Opname vanaf de drone.....	48
Afbeelding 35: Testdrone met rotorguards.....	68
Afbeelding 36: Hoogst gemeten trekgewicht op veerunster.....	70
Afbeelding 37: Beeldfragment IP-camera drone.....	72

Tabellenregister

Tabel 1: Overzicht functievervullers communicatiekabel.....	9
Tabel 2: Morfologisch overzicht kabelhaspel.....	11
Tabel 3: Ontwerpkeuzes communicatiekabel.....	12
Tabel 4: Beoordeling maakbaarheid ontwerpkeuzes communicatiekabel.....	13
Tabel 5: Beoordeling functionaliteit ontwerpconcepten communicatiekabel.....	13
Tabel 6: Scores ontwerpconcepten communicatiekabel.....	14
Tabel 7: Overzicht ontwerpconcepten kabelhaspel.....	16
Tabel 8: Beoordeling functionaliteitontwerpconcepten kabelhaspel.....	17
Tabel 9: Beoordeling maakbaarheid ontwerpconcepten kabelhaspel.....	18
Tabel 10: Overzicht scores ontwerpconcepten kabelhaspel.....	19
Tabel 11: Samenvatting payload drone.....	49
Tabel 12: Overzicht te testen eisen a.d.h.v. Programma van eisen.....	62
Tabel 13: Overzicht testresultaten.....	73

VERTROUWELIJK

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het project U-drone is ontstaan uit een vraag van het Nederlandse ministerie van Defensie.

Het ministerie van Defensie heeft een innovatie-competitie gehouden met het doel om het verkennen van ondergrondse gangenstelsels niet meer door mensen, maar met technologie te doen. Hierbij kunnen mogelijk vele mensenlevens gespaard blijven. Delft Dynamics heeft deze competitie gewonnen en kreeg hiermee de mogelijkheid om project U-drone uit te voeren.

Project U-drone heeft als uitgangspunt een drone te ontwikkelen die ondergrondse gangenstelsels kan inspecteren. De communicatie met de drone mag niet verstoord kunnen worden door signaal-jamming of natuurlijke invloeden. Hierom is er gekozen om de communicatie met de U-drone te laten verlopen via een communicatiekabel.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze opdracht is om een prototype van een kabelhaspel te ontwikkelen met 100 meter kabel of meer. Het streven is om de kabel en de haspel zo licht mogelijk te maken om de vluchtduur van de drone zo min mogelijk te beperken. De uitgebreide opdrachtomschrijving is te vinden in bijlage I.

Uit de doelstelling komen de volgende hoofdvragen naar voren:

- Is het mogelijk om een RH5 drone te voorzien van een communicatiekabel van honderd meter of meer, waarbij voldaan wordt aan gestelde eisen?
- Hoe kan de communicatiekabel gerealiseerd en toegepast worden?

Uit de hoofdvragen zijn de volgende deelvragen naar voren gekomen:

- Welk type kabel is geschikt om te gebruiken als communicatiekabel?
- Hoe kan de kabelhaspel op de binnen vijf minuten verwisseld worden?

De uitkomst van deze vraagstellingen worden gedurende de synthese beantwoord en in de conclusies besproken.

VERTROUWELIJK

Methodiek

Het rapport is opgesteld volgens richtlijnen uit 'rapportage techniek' [1]

De mogelijke functievervullers worden aan de hand van een morfologische box in kaart gebracht. Hiermee wordt een samenstelling gemaakt wat leidt tot een ontwerpconcept. De ontwerpconcepten worden aan de hand van de Kesselringmethode [2] beoordeeld op maakbaarheid en functionaliteit.

2 Programma van eisen

In dit hoofdstuk worden de eisen en wensen waar het ontwerp aan moet voldoen in beeld gebracht. Het uiteindelijke resultaat wordt aan de hand van de ontwerpeisen (must's) en de wensen (should's en could's) beoordeeld. De eisen en wensen zijn opgesteld aan de hand van de MoSCoW Methode [3].

Must

- 1) Het uiteindelijke prototype bestaat uit minimaal: een kabelhaspel met kabel en communicatiemodules
- 2) De kabelhaspel moet te plaatsen zijn op een RH5 drone
- 3) De kabelhaspel moet uitwisselbaar zijn
- 4) De kabelhaspel is binnen 5 minuten te verwisselen
- 5) De kabelhaspel moet minimaal 100 meter kabel kunnen dragen
- 6) De data-overdracht via de kabel bedraagt minimaal 2 megabit per seconde bij een kabel van 100 meter of meer
- 7) De kabel mag niet in contact met de rotors komen
 - Als de kabel van de haspel afrolt, moet deze begeleid worden
- 8) De kabelhaspel, de kabel en eventuele randapparatuur mogen gezamenlijk niet meer dan 400 gram wegen
- 9) De kabel moet bestand zijn tegen krachten die veroorzaakt worden door:
 - het eigen gewicht van een aantal meter kabel,
 - de wrijving van de haspel en
 - onregelmatige bewegingen tijdens het vliegen

VERTROUWELIJK

- 10) Het moment veroorzaakt door trekweerstand in de kabel mag niet meer dan 75 Newton millimeter bedragen om de roll en pitch van de drone
- 11) Het moment veroorzaakt door de trekkracht van de kabel mag niet meer zijn dan 7,5 Newton millimeter om de yaw van de drone
- 12) De kabel moet aan zowel de drone als aan de controller zijde voorzien zijn van een trekontlasting
- 13) Een RH5 Drone moet minimaal 5 minuten kunnen vliegen met de haspel
- 14) De kabelhaspel moet geschikt zijn voor afrollen tijdens de vlucht met een (geschatte) maximale snelheid van 2 meter per seconde en een typische snelheid van 0.5 m/s

Should

- 1) De kabelhaspel moet te vervangen zijn zonder gereedschap
- 2) Het zwaartepunt van de kabelhaspel moet zo dicht mogelijk bij het zwaartepunt van de drone liggen
- 3) De kabelhaspel zal geplaatst worden aan de onderzijde van de drone
- 4) De communicatie via de kabel is op basis van een TCP- protocol
- 5) De kabel inclusief haspel wordt ontworpen voor eenmalig gebruik, maar zou in de testfase een aantal keer herbruikbaar moeten zijn.
- 6) De afrolsnelheid van de kabel moet gereguleerd worden

Could

- 1) De kabelhaspel is inzetbaar op meerdere drones van Delft Dynamics
- 2) De drone meet de resterende hoeveelheid kabel op de haspel en stuurt een signaal naar de gebruiker wanneer er geen kabel meer op de haspel zit
- 3) Testen van RH4 power- en communicatiekabel.
- 4) De aansluiting van de kabel op de drone moet spatwaterdicht zijn (Ipx3)
- 5) Het ontwikkelen van een oplossing om de kabel terug op de kabelhaspel te rollen na een vlucht

VERTROUWELIJK

Won't

- 1) Ingrijpende aanpassingen maken aan de RH5 drone
- 2) De kabel ontwerpen met extra aders voor de voeding
- 3) Aanpassingen maken aan de software van de drone
- 4) Aanpassingen maken aan de software van de controller
- 5) Custom elektronica ontwikkelen voor communicatiemodules (bijv. Homeplug)
- 6) Drone of grondstation opbouwen
- 7) Het ontwikkelen van een landingsgestel
- 8) De framerate van de beelden van de camera onderzoeken

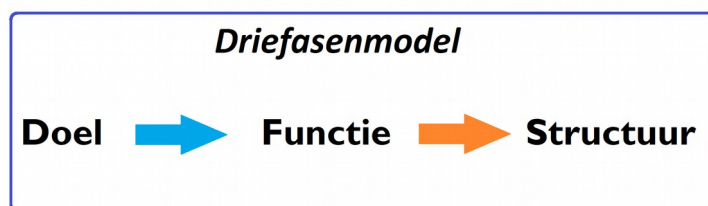
VERTROUWELIJK

3 Synthese

In dit hoofdstuk wordt de samenstelling van het ontwerp van de kabel en de kabelhaspel behandeld. Om te beginnen is werkwijze in paragraaf 3.1 bepaald. Vervolgens wordt in paragraaf 3.2 een functie-analyse uitgevoerd die bepaald welke functionaliteiten de communicatiekabel en de kabelhaspel moeten bezitten. Aan de hand van deze te vervullen functies is in paragraaf 3.3 een morfologisch overzicht opgesteld van componenten die deze functies mogelijk kunnen vervullen. Hieruit worden een aantal ontwerpconcepten opgesteld en aan de hand van de Kesselringmethode in paragraaf 3.4 beoordeeld op functionaliteit en maakbaarheid. In paragraaf 3.5 worden de beste ontwerpconcepten voor de communicatiekabel en de haspel in detail uitgewerkt tot een concreet ontwerp met bijbehorende systeemdiagrammen.

3.1 Werkwijze bepaling

In deze paragraaf wordt de werkwijze voor dit ontwerp vast gelegd.



Afbeelding 1: driefasenmodel

Voor het ontwerp van de kabelhaspel is het driefasenmodel aan gehouden uit 'methodisch ontwerpen' van F.J. Sier [4]. Bij deze methode wordt als eerste het doel bepaald. Hierna worden de te vervullen functies vastgesteld.

Doel

Het doel is om een kabelhaspel te ontwikkelen met 100 meter kabel die voldoet aan de gestelde eisen en wensen uit hoofdstuk 2.

Functie

Aan de hand van het ontwerpdoel wordt een functie-analyse uitgevoerd om te bepalen waar het ontwerp aan moet voldoen.

VERTROUWELIJK

Structuur

Aan de hand van de functie-analyse wordt een morfologisch overzicht opgesteld om onderdelen te koppelen aan de te vervullen functies. De functievervullers voor de communicatiekabel en de haspel krijgen elk een eigen morfologisch overzicht om meer overzicht te creëren.

Het ontwerpconcept voor de communicatiekabel wordt als eerste uitgewerkt. Hierop kan aansluitend een passend ontwerp voor de kabelhaspel gemaakt worden. Als de ontwerpconcepten voor de communicatiekabel en de kabelhaspel zijn gemaakt, worden deze uitgewerkt tot een geïntegreerd ontwerp.

Vervolgens worden er prototypes gerealiseerd met behulp van 3D-printtechnieken met als doel om de functionaliteit in de realiteit te testen. Door testen uit te voeren wordt bepaald of het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen. Uit de testresultaten worden aanbevelingen opgesteld om in een vervolg het ontwerp te verbeteren.

3.2 Functie-analyse

In deze paragraaf worden de eisen en wensen uit hoofdstuk 2 omgezet in een functionele analyse. Uit deze analyse komt naar voren welke taken de kabel en de haspel uit moet gaan voeren.

Communicatiekabel

- Data transporteren
- Verbinding maken met drone
- Verbinding maken met grondstation

Haspel

- Kabel opbergen
- Kabel geleiden
- Wrijving reduceren
- Kabel ontlasten van trekkracht
- Kabel aanvoeren
- Opbergmedium bevestigen aan drone

VERTROUWELIJK

- Opbergmedium positioneren
- Opbergmedium loskoppelen van drone

3.3 Morfologisch overzicht

Op basis van de te vervullen functies uit paragraaf 3.2 is er een selectie componenten gemaakt die deze functies kunnen vervullen. Om de werkwijze overzichtelijk te houden is de componentkeuze onderverdeeld in een morfologisch overzicht voor de communicatiekabel en voor de haspel . Het morfologisch overzicht van de elektrische componenten is te vinden in paragraaf 3.3.1. De componentkeuze voor de kabelhaspel is te vinden in paragraaf 3.3.1.

3.3.1 Morfologisch overzicht Communicatiekabel

In het Tabel 1 geeft een overzicht van de te vervullen functies en mogelijke functievervullers. Uit elke rij worden één of meerdere opties gebruikt in een ontwerpconcept. De verschillende ontwerpconcepten worden aangegeven met gekleurde lijnen. De ontwerpconcepten worden in paragraaf 3.4.1 verder besproken en beoordeeld.

Tabel 1: Overzicht functievervullers communicatiekabel

nr.	Te vervullen functie	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4	Optie 5
1	Data transporteren	Coaxiale kabel	Twisted Pair kabel	Optische kabel	Complementaire tetherkabel	Enkel aderig koperdraad
2	Data omvormen van/naar serieel	Homeplug module	MoCa Module	Optisch naar ethernet	Balun Ethernet naar Coax	
3	Connectie maken met drone	Coaxiale connector	PCB connector	Optische connector	RJ45 Ethernet	3,2 mm audiojack
4	Connectie maken met grondstation	Coaxiale connector	PCB connector	Optische connector	RJ45 ethernet male	3,2 mm audiojack

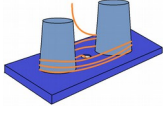
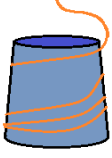
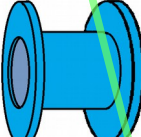
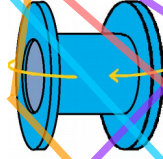
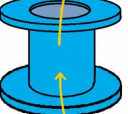
VERTROUWELIJK

3.3.1 Morfologisch overzicht kabelhaspel

Om de communicatiekabel op te bergen moet er een kabelhaspel ontworpen worden. In Tabel 2 is een morfologisch overzicht opgesteld waarin wordt bepaald welk onderdeel of onderdelen een functie gaan vervullen. Aan de hand van een combinatie van onderdelen wordt een ontwerpconcept opgesteld. De ontwerpconcepten zijn met gekleurde lijnen aangegeven en worden verder behandeld in paragraaf 3.4.2.

VERTROUWELIJK

Tabel 2: Morfologisch overzicht kabelhaspel

nr.	Te vervullen functie	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4	Optie 5
1	Datakabel opbergen	 Klos	 Torenspoel	 Inwendige spoel	 Uitwendige spoel (axiaal)	
2	Opbergmedium ophangen	 Horizontaal statisch	 Horizontaal roterend	 Verticaal statisch	 Verticaal roterend	
3	Datakabel begeleiden	Kabel door buis	Roterende ring	Balk met rollen	Stangenconstructie	
4	Ontlasten van trekkracht	Wartel	Lijmen	Waxkoord		
4	Afrolsnelheid reguleren	Rem op haspel	Gat in stroeve stof	Rem op kabel	Oppervlakte-wrijving	
6	Datakabel Roteren	Sleepring	3.5 mm audiojack	n.v.t.		
7	Wrijving verminderen	Oppervlakte behandeling	Axiaal lager	(Semi-)radiaal-lager	Nylon bus	n.v.t.
8	Bevestigen	Fels-verbinding	As-naafverbinding	schuif-systeem	Klitten-band	Bayonet
9	Positioneren	Conische gaten	Uitstekende punten			
10	Loskoppelen	Bevestiging breken	Los schroeven	Schuiven	Los trekken	

VERTROUWELIJK

3.4 Structuur

In deze paragraaf worden de gemaakte ontwerpconcepten voor de communicatiekabel en de kabelhaspel toegelicht.

De ontwerpconcepten van de communicatiekabel zijn in paragraaf 3.4.1 beschreven. De ontwerpconcepten voor de kabelhaspel staan beschreven in paragraaf 3.4.2.

De ontwerpconcepten worden beoordeeld met behulp van de Kesselringmethode[2] op maakbaarheid en functionaliteit en uitgedrukt in een percentage. Voor de maakbaarheid is er een ondergrens van 70%, om enige zekerheid te bieden dat er een prototype binnen de gestelde periode van 17 weken realiseerbaar is. Voor de functionaliteit ligt de grens op 75%.

3.4.1 Structuurbepaling communicatiekabel

In paragraaf 3.3.1 staat in het morfologische overzicht voor de communicatiekabel met lijnen beschreven welke ontwerpconcepten er gemaakt zijn. Een kort overzicht van de ontwerpconcepten staat beschreven in Tabel 3.

Tabel 3: Ontwerpkeuzes communicatiekabel

Functie	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4
Data transporteren	Coaxiale kabel	Losse koperkabels	Optische kabel	Coaxiale kabel
Data omvormen	Powerline module	Powerline module	Optisch naar ethernetmodule	MoCa over Coax
Connectie maken met drone	PCB-connector	Coax- connector	Optische-connector	Coax- connector
Connectie maken met grondstation	Coax-connector	Coax- connector	Optische-connector	Coax- connector

VERTROUWELIJK

Vervolgens zijn de ontwerpconcepten op een schaal van één tot vier beoordeeld op maakbaarheid en functionaliteit in onderstaande Tabel 4 en Tabel 5. Deze score is vervolgens vertaald naar een percentage.

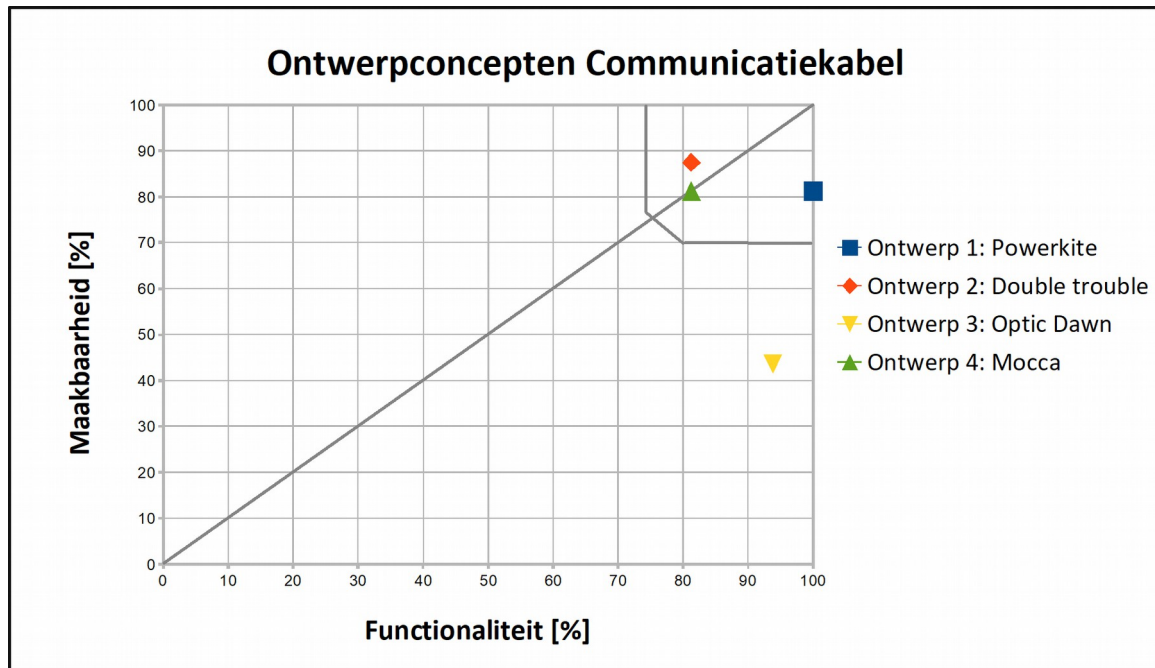
Tabel 4: Beoordeling maakbaarheid ontwerpkeuzes communicatiekabel

Functionaliteit	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4	Ideaal
Data transporteren	4	2	4	4	4
Data omvormen	4	4	3	2	4
Connectie maken met drone	4	4	4	3	4
Connectie maken met grondstation	4	3	3	4	4
Totaal	16	13	14	13	16
Totaal %	100	81	88	81	100

Tabel 5: Beoordeling functionaliteit ontwerpconcepten communicatiekabel

Maakbaarheid	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4	Ideaal
Data transporteren	3	4	1	3	4
Data omvormen	3	3	2	3	4
Connectie maken met drone	3	3	2	3	4
Connectie maken met grondstation	4	3	2	3	4
Totaal	13	13	7	12	16
Totaal %	81	81	43	75	100

VERTROUWELIJK



Afbeelding 2: Kesselringdiagram communicatiekabel

Tabel 6: Scores ontwerpconcepten communicatiekabel

	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4
Functionaliteit %	100	81,25	87,5	81,25
Maakbaarheid %	81	81	44	75

Afbeelding 2 geeft het Kesselringdiagram van de ontwerpconcepten van communicatiekabel weer. De vier concepten zijn beoordeeld op maakbaarheid en functionaliteit en samengevat in Tabel 6. Het Kesselringdiagram toont aan dat ontwerp 1 (blauw vierkant) het hoogste scoort op functionaliteit en gedeeld eerste staat met maakbaarheid. Dit ontwerp wordt verder uitgewerkt tot een prototype.

VERTROUWELIJK

De kabel

Voor het eerste ontwerp is gekozen om gebruik te maken van een coaxiale kabel. Deze kabels zijn ontworpen om data over te dragen en zijn dunner en lichter dan een twisted-pair kabel of twee losse kabels.

Het signaal omvormen

Om het ethernet signaal om te vormen naar een serieel signaal wordt bij dit ontwerpconcept gebruik gemaakt van een homeplug module. Deze modules maken gebruik van powerline connectie waarbij een internetsignaal via het lichtnet van een huis naar een andere module wordt getransporteerd.

Door deze methode te gebruiken zijn slechts twee geleiders nodig om een internetverbinding tot stand te brengen ten opzichte van vier of meer geleiders voor een connectie met een reguliere ethernetkabel. Dit resulteert in een dunnere en daarmee lichtere kabel.

Naast het lage gewicht is een homeplugmodule niet afhankelijk van een vastgesteld type kabel. Zo kan elk type kabel gebruikt worden bij dit systeem in tegenstelling tot een MoCa-module of een Balun. Deze werken alleen met 75 Ohms coaxkabels.

Aansluitingen

De communicatiekabel wordt via een coaxiale-connector aangesloten op het grondstation. Een coaxiale connector zoals BNC of SMA zorgt voor een stabiele dataconnectie met minimale dempingsverliezen.

De communicatiekabel wordt met een pcb-connector verbonden met de drone. Pcb-connectors zijn klein en licht, waardoor ze een minimale hoeveelheid ruimte en payload innemen op de drone.

VERTROUWELIJK

3.4.2 Structuurbepaling kabelhaspel

Nu er een ontwerpconcept voor de communicatiekabel is gekozen, kan er een passend ontwerpconcept voor de haspel worden vastgesteld. De ontwerpconcepten uit het morfologische overzicht in paragraaf 3.3.1 zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Overzicht ontwerpconcepten kabelhaspel

Functie	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4	Ontwerp 5
Datakabel opbergen	Klos	Klos	Torenhaspel	Klos	Klos
Oriënteren opbergmedium	Horizontaal roterend	Verticaal roterend	Horizontaal roterend	Verticaal statisch	Verticaal statisch
Datakabel begeleiden	Balken met rollen	Fruitmand/stangenconstructie	Balken met rollen	Kabel door buis	Roterende ring
Datakabel ontlasten van trekkracht	Waxkoord	Waxkoord	Lijmverbinding	Waxkoord	Waxkoord
Afrolsnelheid reguleren	Rem op haspel	Rem op haspel	Gat door stroeve stof	Rem op kabel	Oppervlakte-wrijving
Datakabel roteren	Sleepring	Sleepring	n.v.t.	3,5 mm audio-jack	Sleepring
Mechanische wrijving verminderen	Axiale lager	(semi-)radiaal lager	n.v.t.	Nylon bus	Oppervlakte-behandeling
Bevestigen op drone	Klittenband	As-naafverbinding	Schuifstelsel	As-naafverbinding & schuifstelsel	As-naafverbinding
Opbergmedium Positioneren	Uitstekende punten	Uitstekende punten	Conische gaten	Uitstekende punten	Uitstekende punten
Loskoppelen	Los trekken	Los schroeven	Schuiven	Los schroeven & schuiven	Los trekken

VERTROUWELIJK

De gemaakte ontwerpconcepten zijn in de onderstaande tabellen 8 en 9 beoordeeld op functionaliteit en maakbaarheid.

Tabel 8: Beoordeling functionaliteitontwerpconcepten kabelhaspel

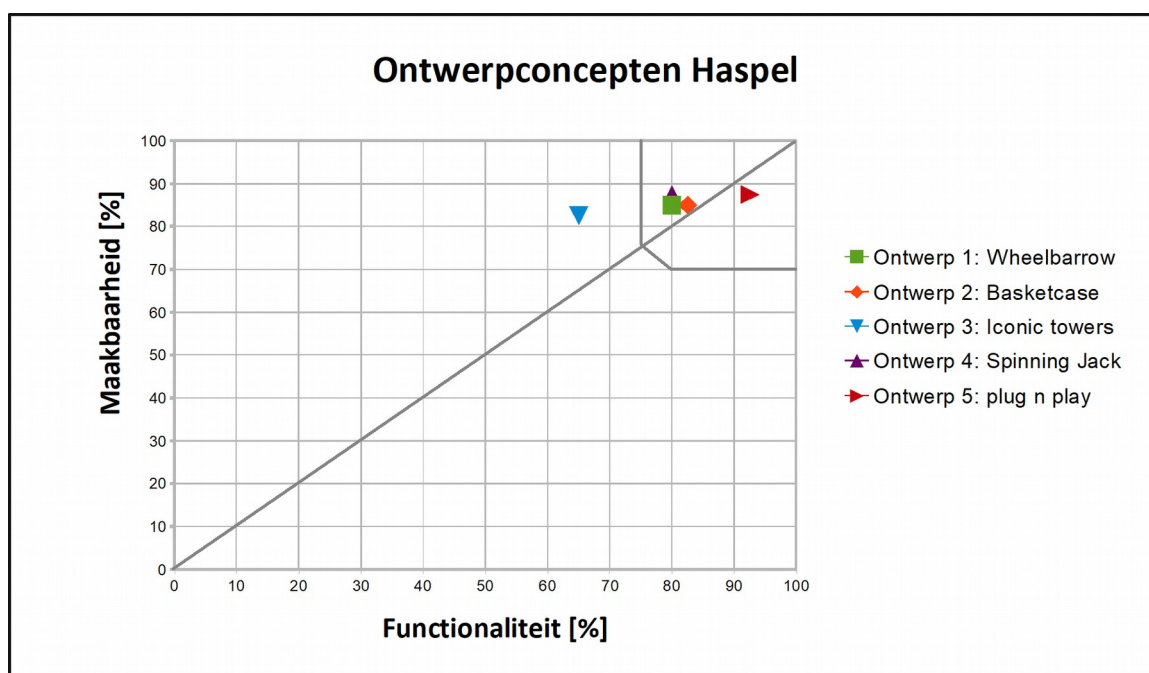
Maakbaarheid	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4	Ontwerp 5	Ideaal
Datakabel opbergen	4	4	2	4	4	4
Oriënteren opbergmedium	3	4	3	4	3	4
Datakabel begeleiden	3	2	3	3	3	4
Datakabel ontlasten van trekkracht	4	4	3	4	4	4
Afrolsnelheid reguleren	3	3	2	3	3	4
Datakabel roteren	4	4	3	1	3	4
Mechanische wrijving verminderen	3	3	3	4	3	4
Opbergmedium bevestigen drone	3	3	2	3	4	4
Opbergmedium positioneren	3	3	3	3	4	4
Opbergmedium loskoppelen	2	3	2	3	4	4
Totaal	32	33	26	32	38	40
Totaal %	80	83	65	80	86	100

VERTROUWELIJK

Tabel 9: Beoordeling maakbaarheid ontwerpconcepten kabelhaspel

Functionaliteit	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4	Ontwerp 5	Ideaal
Datakabel opbergen	4	4	3	4	4	4
Oriënteren opbergmedium	3	3	3	3	4	4
Datakabel begeleiden	3	3	3	3	3	4
Datakabel ontlasten van trekkracht	4	4	4	4	4	4
Afrolsnelheid reguleren	3	3	3	3	3	4
Datakabel roteren	3	3	4	1	4	4
Mechanische wrijving verminderen	3	3	4	3	4	4
Opbergmedium bevestigen drone	4	4	3	4	4	4
Positioneren	4	4	3	4	3	4
Loskoppelen	3	3	3	4	4	4
Totaal	34	34	33	33	37	40
Totaal %	85	85	83	83	93	100

VERTROUWELIJK



Afbeelding 3: Kesselringdiagram kabelhaspel

Tabel 10: Overzicht scores ontwerpconcepten kabelhaspel

	Ontwerp 1	Ontwerp 2	Ontwerp 3	Ontwerp 4	Ontwerp 5
Functionaliteit %	80	82	65	80	86
Maakbaarheid %	85	85	83	83	93

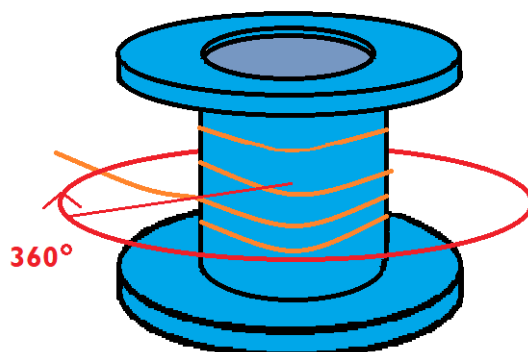
In Afbeelding 3 zijn de scores van de ontwerpconcepten voor de kabelhaspel weergegeven in een Kesselringdiagram. De exacte scores zijn samengevat in Tabel 10. Het vijfde ontwerpconcept *Plug 'n play* scoort het hoogst op functionaliteit en maakbaarheid en wordt daarom verder uitgewerkt.

Opbergmedium

De communicatiekabel wordt opgeborgen op een klos. De keuze viel op dit concept gezien deze in verschillende richtingen kan afrollen. Bij de torenspoel of de inwendige spoel is de richting van het afwikkelen beperkt tot een richting, namelijk vooruit.

VERTROUWELIJK

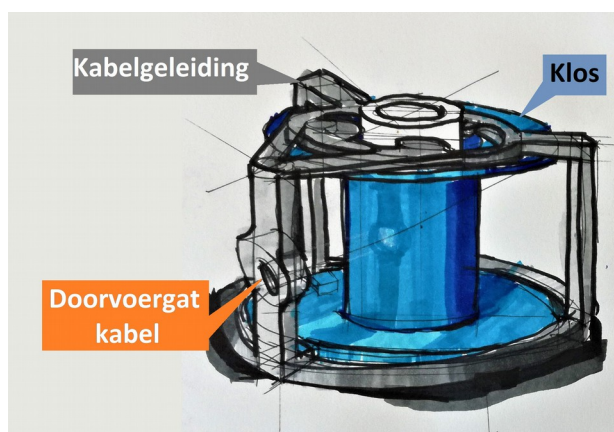
Oriëntatie



Afbeelding 4: Illustratie verticale oriëntatie klos

De klos wordt verticaal onder de drone geplaatst. Hierdoor kan de klos lateraal (zijwaartse richting) afgewikkeld worden over een volle 360 graden, mits de kabelgeleiding dit toelaat. Een illustratie van dit principe is weergegeven op Afbeelding 4. Zo levert de drone minimaal in op zijn wendbaarheid. Een horizontaal georiënteerde klos heeft de voorkeur om mediaal af te rollen (hoogte richting) ofwel in de richting van de rotors of de grond. Gezien de drone voornamelijk zij- en voorwaarts beweegt, lijkt een verticaal georiënteerde klos het beste te functioneren.

Kabel begeleiden



Afbeelding 5: Conceptschets kabelgeleiding

Bij ontwerp 5 wordt de communicatiekabel op een klos gewikkeld en verticaal geplaatst aan de onderzijde van de drone. De kabel wordt via een roterende ring. De ring kan onafhankelijk van de klos draaien. Hierdoor kan de kabel over 360 graden

VERTROUWELIJK

worden afgewikkeld en levert de drone minimaal in op wendbaarheid. Een voorbeeld hiervan is te zien op Afbeelding 5.

Ontlasten van trekkracht

De aansluitingen van de kabel worden ontlast van trekkracht door deze met een waxkoord aan een behuizing of andere kabel vast te binden. Hierdoor zal bij een fatale overbelasting de kabel eerder breken dan de aansluitingen.

Wrijving reguleren

Om de afrolsnelheid te reguleren wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van oppervlaktewrijving tussen de klos en de houder. Hiermee moet gedacht worden aan bijvoorbeeld het glad maken van wrijvingsoppervlakken en gebruik van bepaalde materialen om zo de afrolsnelheid af te stemmen. Met deze methode zijn vermoedelijk geen extra componenten nodig zodat het gewicht onder de drone beperkt blijft.

Kabel roteren

Om te voorkomen dat de kabel zichzelf stuk draait, is deze aangesloten op een sleepring. Door een sleepring toe te passen kan de communicatiekabel vrij mee roteren met de klos en raakt deze niet beschadigd.

Haspel bevestigen

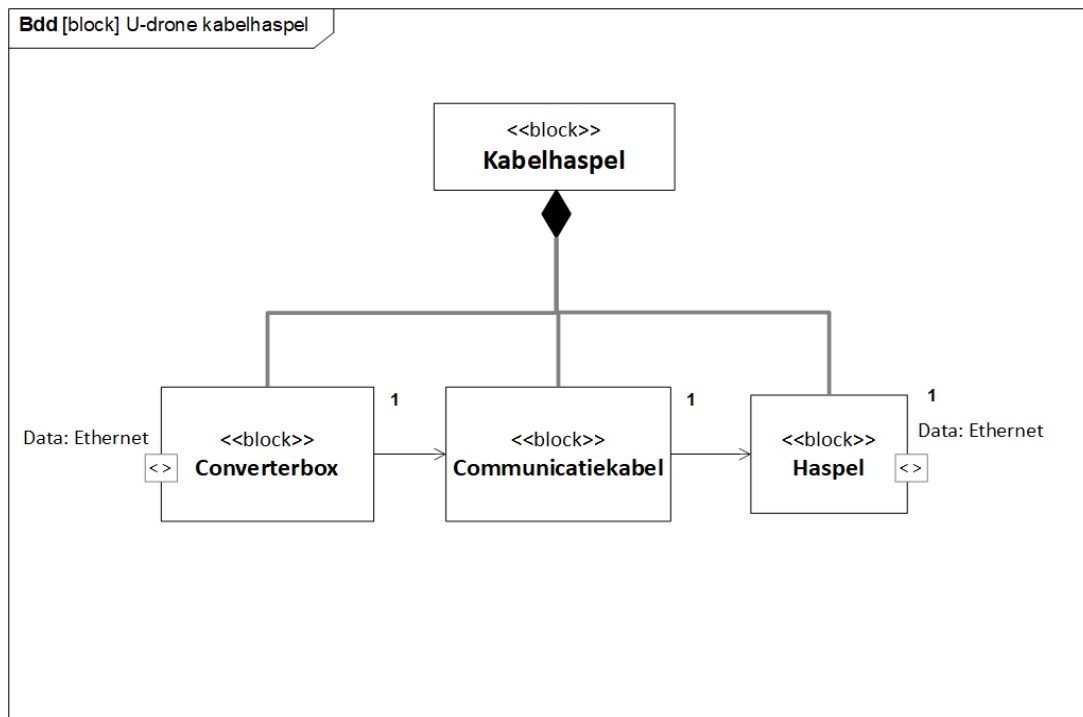
De houder van de klos wordt met een as-naafverbinding gemonteerd op de onderzijde van de drone. Dit kan zijn met bijvoorbeeld bouten (as) en moeren (naaf) of met popnagels. Om het positioneren van de klos te vergemakkelijken worden de gaten conisch gemaakt. Dit vereenvoudigt het plaatsen van de as.

3.5 Vormgeving

Nu de structuur van de ontwerpconcepten van de communicatiekabel en de kabelhaspel zijn bepaald in paragraaf 3.4, kunnen deze worden uitgewerkt tot concrete ontwerpen. Om het ontwerp in kaart te brengen. In paragraaf 3.5.1 wordt het ontwerp op schematisch niveau weergegeven. In paragraaf 3.5.2 staat beschreven hoe de dimensies van de klos zijn bepaald en berekend. Vervolgens worden de onderdelen van de communicatiekabel behandeld in paragraaf 3.5.3. Voor de kabelhaspel zijn twee prototypes uitgewerkt deze staan beschreven in paragraaf 3.5.4 en 3.5.5.

VERTROUWELIJK

3.5.1 Systeemdiagrammen



Afbeelding 6: BDD kabelhaspel

Op Afbeelding 6 is een block definition diagram afgebeeld van het ontwerp van de kabelhaspel. Dit diagram geeft de onderdelen weer waar de kabelhaspel uit is opgebouwd. De detail-diagrammen van de converterbox, de communicatiekabel en de haspel zijn te vinden in bijlage II.

VERTROUWELIJK

3.5.2 Dimensionering kabelhaspel

In deze paragraaf zijn een aantal berekeningen toegelicht die te maken hebben met de dimensionering van de kabelhaspel. Door deze berekeningen uit te voeren wordt gewaarborgd dat de 100 meter communicatiekabel ook daadwerkelijk op de haspel past.

Berekening afmetingen klos bepalen

Om de afmetingen van de kabelhaspel te bepalen is in Python een script opgesteld die dit uitrekent voor de gebruiker. De diameter en de lengte van de kabel zijn als constanten in de code verwerkt.

De gebruiker kan met het script de afmetingen van de kabelhaspel op twee manieren bepalen:

- 1) De dikte van de kabelhaspel met 100 meter kabel bepalen aan de hand van de ingevoerde hoogte en de binnendiameter.
- 2) De hoogte van de kabelhaspel bepalen aan de hand van de binnendiameter en de gewenste dikte.

Voor optie 1 is de volgende formule toegepast:

$$L_{kabel} = \sum (D_n + D_{(n+1)} + \dots D_{(n+x)}) * \pi * h_{haspel} \quad (1)$$

L_{kabel} → totale lengte opgerolde kabel op de spoel

D_n → diameter van de klos zonder kabel

D_{n+x} → diameter van de klos met 'x' lagen kabel er op gerold

waarbij geldt:

$$D_{(n+1)} = D_n + 2 * D_{kabel} \quad (2)$$

De diameter van de klos met kabel is gelijk aan de diameter van de vorige laag plus tweemaal de diameter van de communicatiekabel

VERTROUWELIJK

Voor optie 2 geldt de volgende formule:

$$h_{haspel} = \frac{4 * L_{kabel} * D_{kabel}^2}{\pi * (D_{klos} - d_{klos})^2} \quad (3)$$

L_{kabel} → totale lengte opgerolde kabel op de spoel

D_{kabel} → buitendiameter communicatiekabel

D_{klos} → buitendiameter klos (met kabel)

d_{klos} → binnendiameter klos (zonder kabel)

De code van de berekening is te vinden in bijlage VIII.

Minimale klosdiameter bepalen

De sleepring die gebruikt wordt om de kabel te roteren tijdens het afspoelen van de klos, is gespecificeerd voor een toerental tot 300 rpm [5]. Het toerental staat in relatie met de afwikkelingsnelheid van de klos, en daarmee de klosdiameter.

De relatie tussen de omwentelingssnelheid van de klos, de snelheid van de drone en de diameter van de klos is hieronder weergegeven.

De minimale diameter van de klos d wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$d = \frac{2 * v}{\omega} \quad (4)$$

Waarbij v de snelheid in meters per seconde is waarmee de drone zich voortbeweegt en ω de hoeksnelheid van de klos in radialen per seconde. Voor de hoeksnelheid als functie van een toerental n in toeren per minuut geldt de volgende formule:

$$\omega = \frac{60 * n}{2\pi} \quad (5)$$

Een substitutie van formule (5) in formule (4) resulteert in een voor het bepalen van de minimale diameter van de klos als functie van de snelheid van de drone en het maximale toerental:

VERTROUWELIJK

$$d_{klosmin} = \frac{60 * v_{drone}}{\pi * n_{max}} * 1000 \quad (6)$$

$d_{klosmin}$ → minimale klosdiameter in [mm]

v_{drone} → vliegsnelheid drone in [m/s]

n_{max} → Maximaal toerental sleeping in [rpm]

Om de eenheid van de klosdiameter van om te schrijven van meters naar millimeters wordt de uitkomst vermenigvuldigd met 1000.

$$d_{klosmin} = \frac{60 * 0,5}{\pi * 300} * 1000 = 32 \text{ mm} \quad (7)$$

Formule(7 toont aan dat bij een snelheid van 0,5 meter per seconde en een maximaal toegestaan toerental van 300 toeren per minuut, de diameter van de klos minimaal 32 millimeter moet bedragen.

VERTROUWELIJK

3.5.3 Vormgeving communicatie

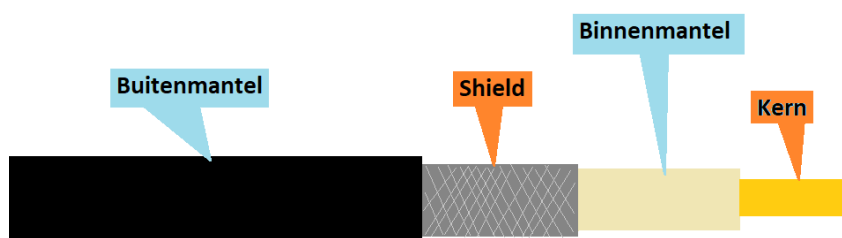
In deze paragraaf is de vormgeving van de communicatie weergegeven. Om te beginnen worden de componentkeuzes voor de communicatiekabel en de communicatiemodule beschreven. Vervolgens wordt aan de hand van een elektrisch schema de vormgeving van het communicatieprincipe behandeld.

De communicatiekabel

Voor de keuze voor het type coaxiale kabel zijn de volgende keuzecriteria van toepassing:

- De kabel moet zo licht en dun mogelijk zijn
- De kabel moet werkbaar zijn zonder speciaal gereedschap

Voor een Coaxkabels is karakteristieke impedanties van 50 Ohm of 75 Ohm gebruikelijk. Voor het ontwerp van de communicatiekabel is voor de 50 Ohm variant gekozen gezien deze in kleinere diameters verkrijgbaar is dan de 75 Ohm variant. Een dunnere kabel betekend namelijk minder gewicht onder de drone.



Afbeelding 7: Schematische opbouw coaxkabel

Bij de keuze van de diameter van de kabel is rekening gehouden met de maakbaarheid van de kabel. Hierom is gekozen voor een 0,5 millimeter (of 36 AWG) micro-coaxkabel. Bij een kleinere diameter is speciaal gereedschap nodig om de binnenmantel van de kabel te kunnen strippen (zie Afbeelding 7). Dit zou ten koste gaan van de maakbaarheid.

VERTROUWELIJK

Signaalverliezen

De communicatiemodule moduleert zijn powerline-signaal met een frequentie tussen de 2 en 30 Megahertz. De micro-coaxkabel heeft bij frequentie van 10 Megahertz en een lengte van 100 meter een signaaldemping van ongeveer 25 Decibel [6].

Er is sprake van een transmissielijn wanneer de golflengte langer is dan 10% van de kabellengte [7]. Met de berekening in bijlage III is vastgesteld dat er sprake is van een transmissielijn bij de communicatiekabel.

Door de lengte van de kabel en zijn capacitieve werking treed er een faseverschil op in het signaal. Dit resulteert in een signaaldemping in de kabel. In hoeverre dit de bandbreedte beïnvloed moet worden vastgesteld met een test. De resultaten hiervan staan beschreven in paragraaf 4.2.1.

Keuze communicatiemodule

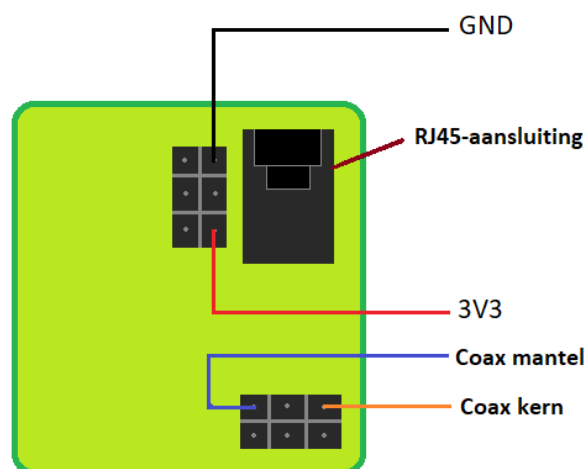
Voor de keuze van een type communicatiemodule gelden de volgende keuzecriteria:

- De module moet zo klein mogelijk zijn
- De module moet werkbaar zijn
- De module moet een signaal over minimaal 100 meter kunnen transporteren

Het gekozen model homeplugmodule is geselecteerd op zijn formaat en zijn modulariteit. De gekozen homeplug is opgedeeld in een voedingsmodule en een communicatiemodule. Deze zijn onderling verbonden met headerpins en los van elkaar te gebruiken. Dit is gunstig voor het formaat van de module en de maakbaarheid. Bij andere onderzochte homeplugmodules zit het voedingsdeel en het netwerkdeel van het systeem op één printplaat zonder headerpins. Dit maakt deze onnodig groot en minder aantrekkelijk om mee te werken.

De fabrikant geeft aan dat deze module een internetverbinding tot stand kan brengen met over 300 meter lichtnetkabel. Hiermee is het dus theoretisch mogelijk om een verbinding te maken over een kabel van 100 meter. Dit dient echter nog geverifieerd met behulp van een netwerktest.

VERTROUWELIJK

*Afbeelding 8: Opbouw communicatiemodule*

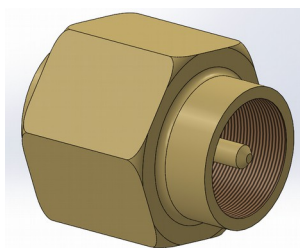
De gekozen communicatiemodule wordt gevoed met een gelijkspanning van 3,3 Volt. Om de module te voorzien van voeding is een wide range DC/DC converter gebruikt. De gekozen omvormer kan gelijkspanningen van circa 4,75 volt tot 24 volt omvormen naar 3,3 volt. Hierdoor is slechts één model omvormer nodig voor het omvormen van de accuspanning (rond de 14,8 volt) of de USB-voeding (5 volt).

Verder kan op deze module direct een RJ-45 ethernetkabel aangesloten worden (zie Afbeelding 8). Ook dit komt de maakbaarheid ten goede.

Connectie met het grondstation

Voor de connectie met het grondstation is gekozen voor een coax-connector. Deze connectoren zijn ontworpen om de signaalverliezen door een connectie te beperken tot het minimum. Er is gekeken naar de mogelijkheden van BNC-, SMA-, MCX- en MMCX-connectoren. De BNC-connector heeft een handzaam formaat, maar is enorm in verhouding tot de kabel. Een MMCX-connector is het andere uiterste en te klein om snel los en vast te koppelen. Uiteindelijk is gekozen voor een SMA-aansluiting.

VERTROUWELIJK



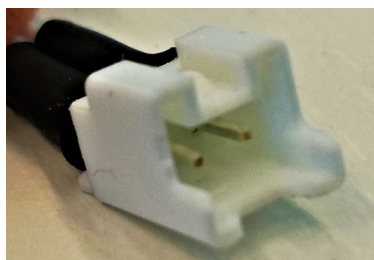
Afbeelding 9: Model SMA-connector

Een SMA-connector wordt gekoppeld met een schroefverbinding. Door de schroefverbinding kan de kabel niet losgetrokken worden waardoor een stabiele connectie wordt gewaarborgd.

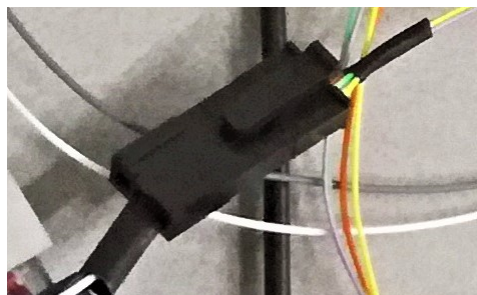
Connectie met de drone

De communicatiekabel wordt met een PCB-connector aan de drone gekoppeld. Voor de connectie is gekeken naar de volgende criteria:

- De connector moet zelfborgend zijn
- De connector moet niet te verwarren zijn met een voedingsstekker



Afbeelding 10: JST-PA socket



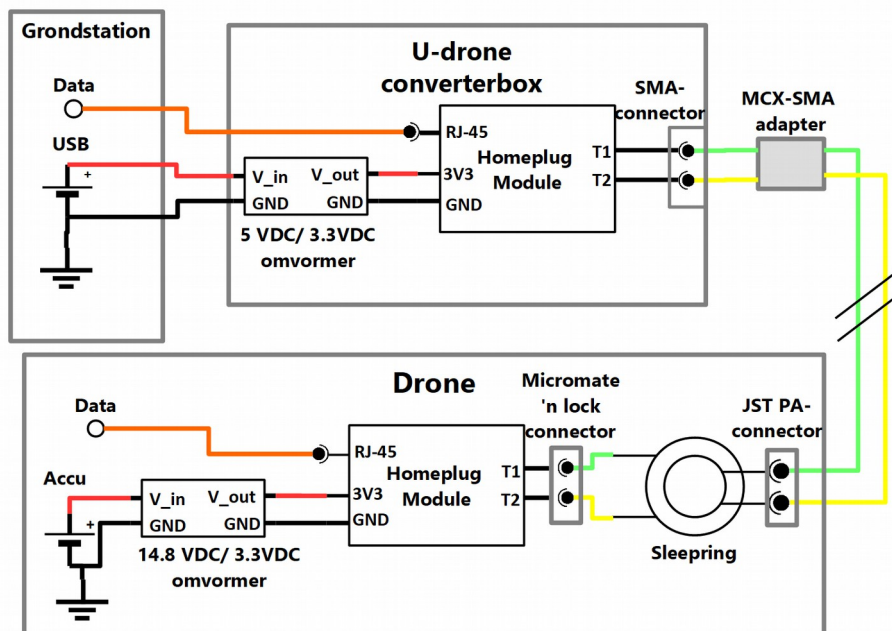
Afbeelding 11: Aansluiting sleeping op de communicatiemodule

Om de kabel aan de sleeping te koppelen is gekozen voor een JST PA stekker (zie Afbeelding 10). Dit type stekker wordt geborgd met een klikvinger waardoor deze niet los kan raken tijdens het roteren van de klos.

De sleeping is aangesloten op de communicatiemodule met een micromate 'n lock stekker. Net als de JST PA stekker (Afbeelding 11) borgt deze zichzelf met een klikvinger. De drone gebruikt een tweepolige variant van deze stekker om onder andere voeding mee aan te sluiten. Om verwarring te voorkomen is de voor de verbinding tussen de sleeping en de communicatiemodule gekozen voor een driepolige micromate 'n lock stekker waarbij een pool leeg is gelaten.

VERTROUWELIJK

Elektrisch schema



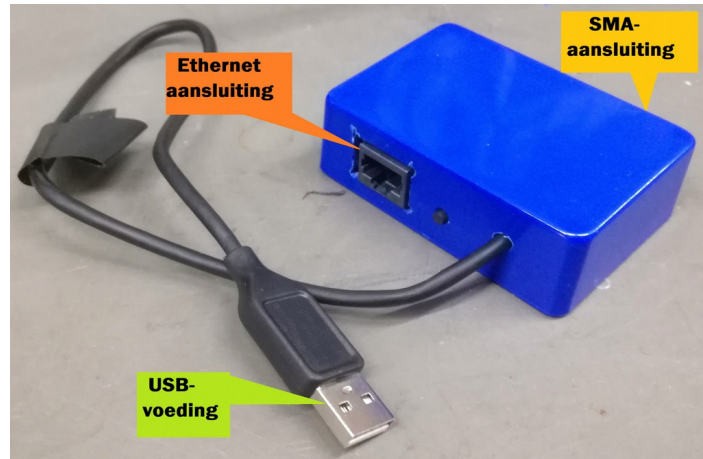
Afbeelding 12: Elektrisch schema communicatiemodel

Om een overzicht te geven van het communicatiedeel van de haspel is in Afbeelding 12 het elektrisch schema weergegeven. Het communicatiemodel bestaat uit een grondstation, een converterbox en een drone. Momenteel is er voor gekozen om de communicatiekabel een MCX-aansluiting te geven zodat de connector door de kabelgeleiding heen past. Om deze reden is er een MCX naar SMA adapter toegevoegd.

Het grondstation

Het is gebruikelijk dat een drone vanaf een grondstation wordt aangestuurd met radio-signalen. Het grondstation stuurt de U-drone aan via de ethernetpoort en voorziet de U-drone converterbox van voeding.

VERTROUWELIJK

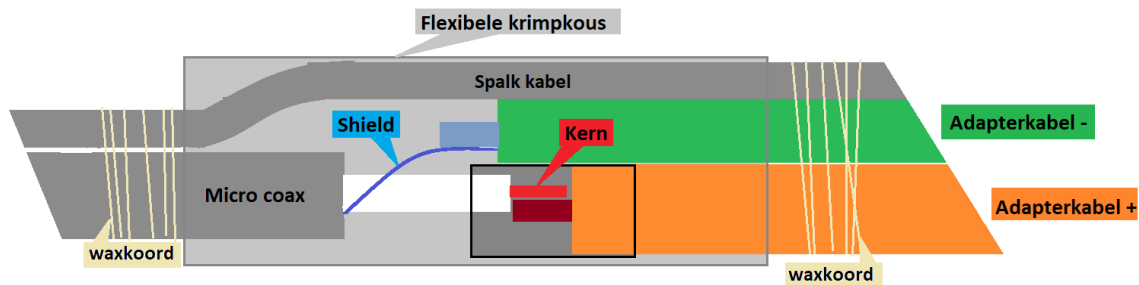
De U-drone converterbox*Afbeelding 13: U-drone converterbox*

Het ethernet-sigitaal van het grondstation komt binnen op de RJ-45 ethernetaansluiting op de U-Drone converterbox. Door gebruik te maken van een converterbox zijn er geen aanpassingen vereist aan het grondstation en kan de U-drone ook aangestuurd worden met andere apparaten zoals laptops. De box wordt gevoed door middel van een USB-kabel. Hierdoor is er geen aparte (net)voeding vereist om de U-drone te gebruiken.

De converterbox vormt het ethernet-sigitaal om naar een powerline-sigitaal wat over de communicatiekabel wordt gestuurd. De communicatiekabel wordt aangesloten op een SMA-aansluiting aan de voorzijde van de converterbox (zie Afbeelding 13).

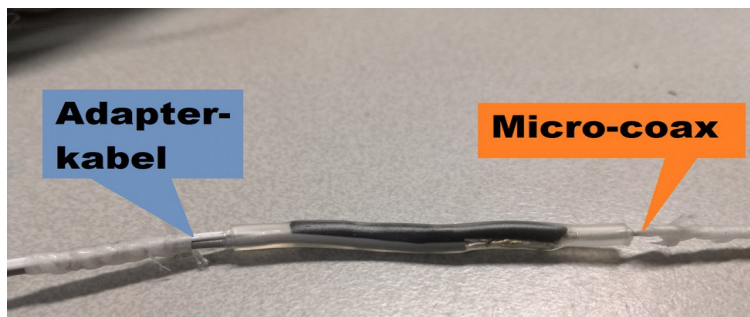
VERTROUWELIJK

Kabelassemblage



Afbeelding 14: Kabelassemblage schematisch

Omdat de 36 AWG micro-coaxkabel relatief klein is, is deze niet direct aan te sluiten op een connector. Hierdoor is er aan beide kanten van de kabel een verloopkabel toegevoegd. De opbouw van het verloop tussen de kabel en de drone is weergegeven op Afbeelding 19. De micro-coaxkabel is lineair gesoldeerd met de verloopkabel om ruimte te besparen. De groene adapterkabel overlapt de geleidende kern van de coaxkabel om zo de kans op kortsluiting te verkleinen. Naast de soldeerverbinding zijn de micro-coaxkabel en de adapterkabel met spalk kabel verbonden om zo eventuele trekkracht op de soldeerverbinding af te vangen. De kern van de coaxkabel en de oranje adapterkabel zijn afgeschermd met een 1,5 mm krimpkous.

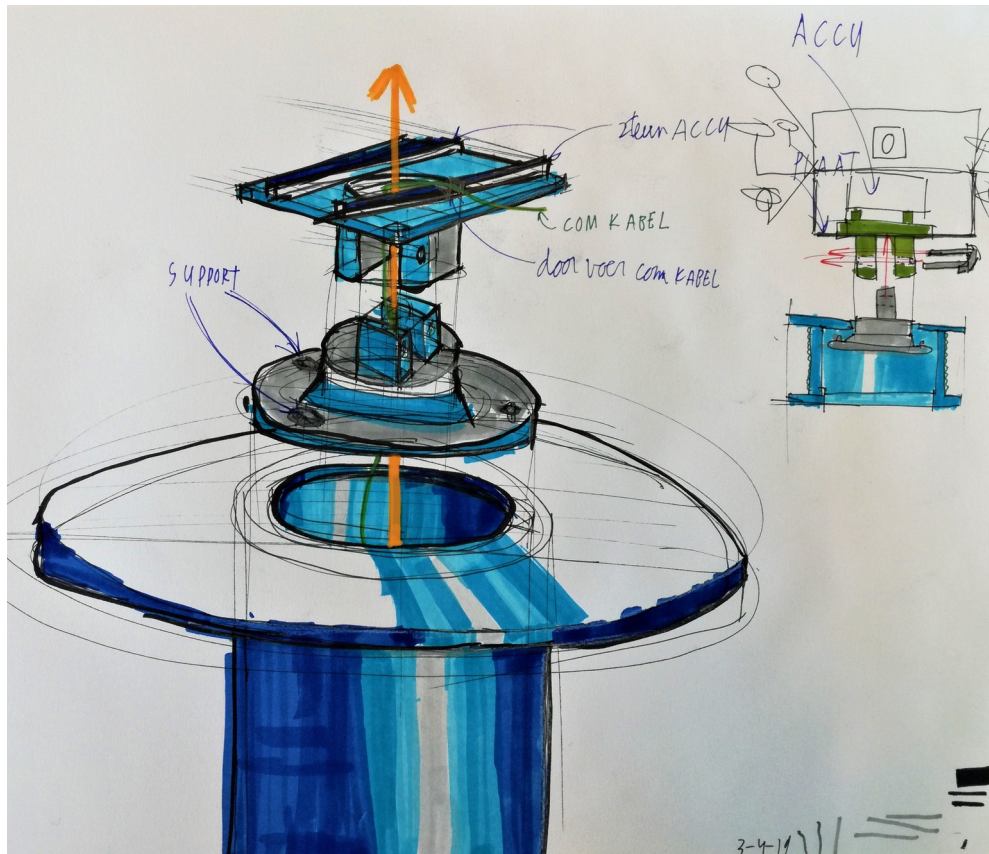


Afbeelding 15: Kabel assemblage

De gehele verbinding is tenslotte afgeschermd met een flexibele krimpkous die lijm bevat. Hierdoor verschuift de krimpkous niet en deze biedt extra stevigheid. Het resultaat is te zien op Afbeelding 15. Het zelfde principe is toegepast voor het adapter-stuk tussen de communicatiekabel en het grondstation. Het verschil is dat hier de communicatiekabel op een RG174-coaxkabel is gemonteerd.

VERTROUWELIJK

3.5.4 Vormgeving eerste prototype kabelhaspel

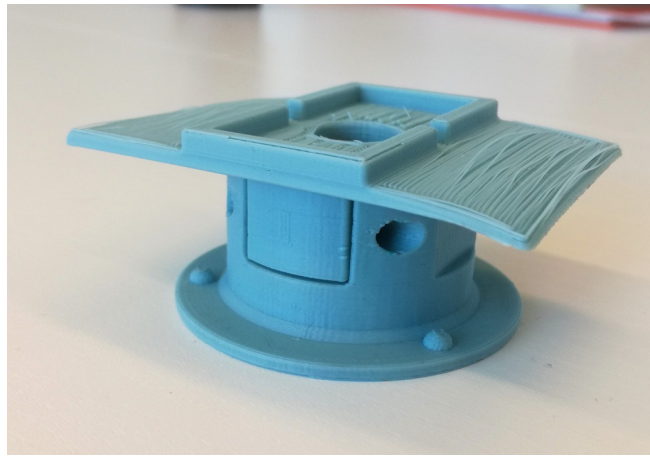


Afbeelding 16: Conceptschets ophanging kabelhaspel

Oriënteren

Om snel ideeën te visualiseren, zijn er meerdere ontwerpschetsen gemaakt. Door dit te doen kunnen de eerste denkfouten worden uitgesloten in een volgende iteratie. Een van de ontwerpschetsen is weergegeven op Afbeelding 16.

VERTROUWELIJK



Afbeelding 17: 3D-print van het ontwerpconcept uit Afbeelding 16

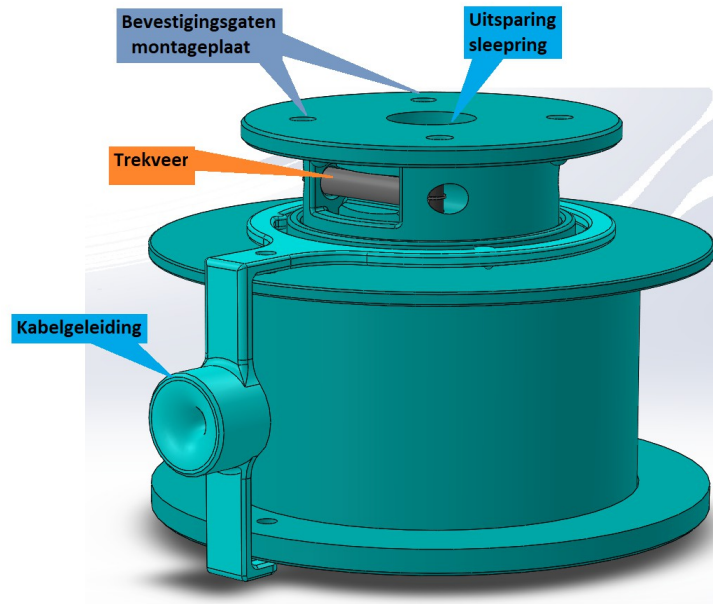
Wanneer een ontwerpidee goed genoeg lijkt op papier, is hier een 3D model van gemodelleerd en gerealiseerd met behulp van een 3D-printer. Een voorbeeld hiervan is te zien op Afbeelding 17. Hiermee kunnen proof of concepts in een hoog tempo worden getest en verbeterd. Tijdens het ontwerpproces zijn meerdere schetsen en 3D-prints gemaakt. Een aantal is te vinden in bijlage VII.

Praktische overwegingen

Een van de eisen aan het ontwerp is dat de kabelhaspel binnen 5 minuten verwisselbaar moet zijn. Dit betekent dat het los- en vastkoppelen zo soepel mogelijk moet gaan met zo min mogelijk handelingen. Hierom wordt er naar gestreefd om zo min mogelijk losse onderdelen te hebben in het ontwerp.

De kabelhaspel is bedoeld zijn voor eenmalig gebruik. Dit hoeft echter niet voor alle onderdelen te betekenen dat ze na één keer gebruikt te zijn onbruikbaar zijn. Het doel is om zo veel mogelijk componenten te conserveren voor hergebruik, zodat de gebruikskosten voor de wegwerpdelen laag blijven.

VERTROUWELIJK

Totaaloverzicht ontwerp

Afbeelding 18: Render eerste prototype kabelhaspel

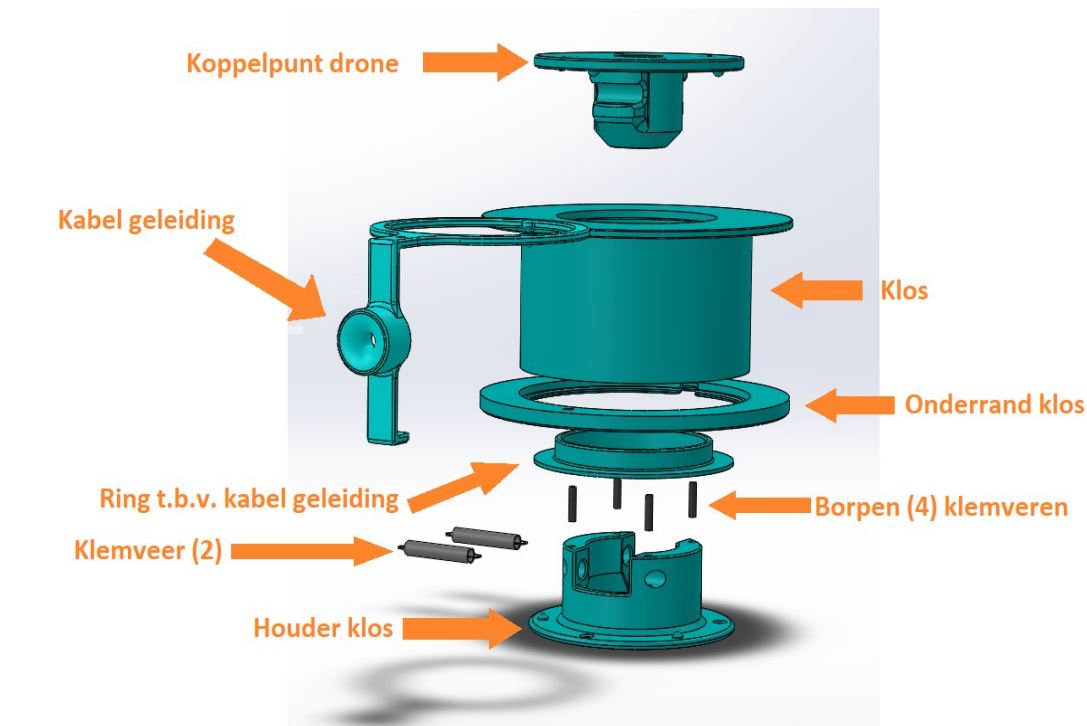
Op Afbeelding 18 is een render weergegeven van het ontwerp van het eerste prototype. Vervolgens is dit ontwerp geproduceerd met behulp van een 3D-printer (zie Afbeelding 19).



Afbeelding 19: 3Dprint eerste prototype kabelhaspel

Op Afbeelding 19 is het eerste prototype van de kabelhaspel te zien. Op de spoel is vliegertouw gewikkeld. Het vliegertouw is gebruikt om te ervaren hoe de kabelhaspel zich gedraagt wanneer deze afgewikkeld wordt.

VERTROUWELIJK



Afbeelding 20: Prototype kabelhaspel exploded view

Op Afbeelding 20 is een overzicht van de opbouw van de kabelhaspel in een exploded view weergegeven.

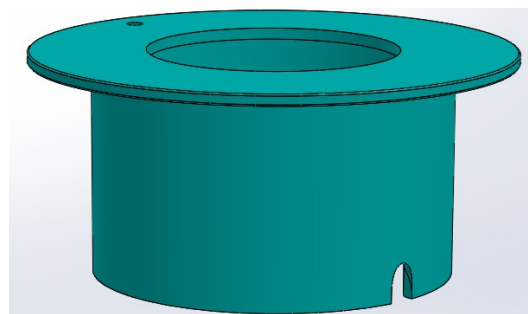
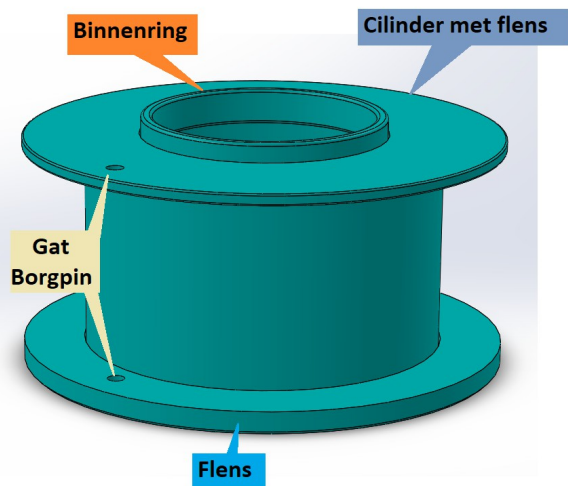
De kabelhaspel is bestaat hoofdzakelijk uit:

- een klos
- een roterende kabelbegeleiding
- een koppelpunt
- en een houder

Bij dit ontwerp is het koppelpunt aan een montageplaat onder de drone bevestigd met vier bouten en moeren. Om de klos wordt aan de drone gekoppeld door de houder (zie Afbeelding 20) op het koppelpunt te drukken.

VERTROUWELIJK

Klos



Afbeelding 22: Cilinder met uitsparing

Afbeelding 21: Opbouw klos

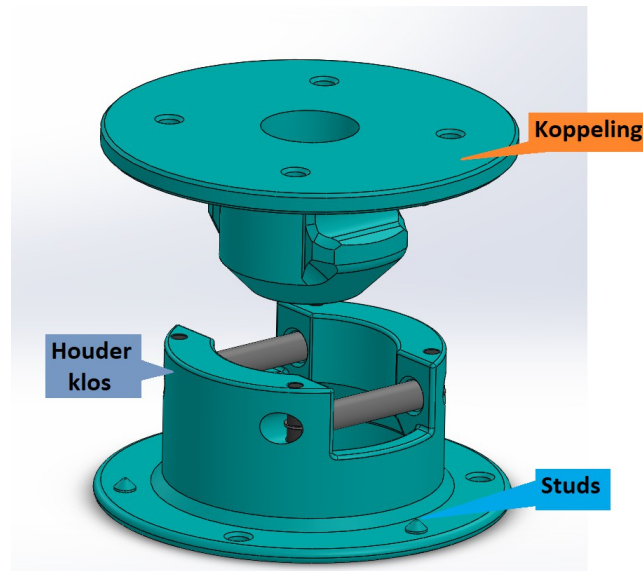
De klos is opgedeeld in drie delen:

- een flens,
- een cilinder met een flens en
- een ring die aan de binnenzijde van de klos

Door de klos op te delen in losse onderdelen is deze beter te produceren met een 3D printer. In de randen van de klos is een gat gemaakt om de kabelgeleiding op te borgen voor opslag. Dit voorkomt dat de klos onbedoeld afwikkelt. De kabel wordt aan via een gat naar de binnenzijde (zie Afbeelding 22) van de klos gevoerd. Aan de binnenzijde kan de kabel vrij roteren ten opzichte van de ophanging. De flens aan de onderzijde heeft een opstaande rand waar de kabelgeleiding achter gehaakt wordt.

VERTROUWELIJK

De ophanging

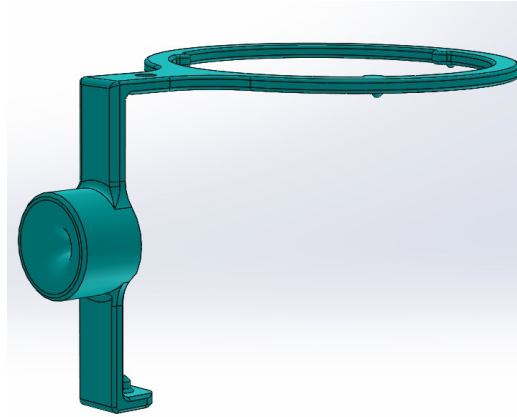


Afbeelding 23: Ophanging eerste prototype

Op Afbeelding 23 is de ophanging van de kabelhaspel weergegeven. De klos wordt aan de drone gekoppeld door de houder op de koppeling te drukken. De veren op de houder buigen dan uit en sluiten zich vervolgens weer om de uitsparingen op de koppeling. De klos roteert op de studs van de houder. Dit verminderd de oppervlaktewrijving.

VERTROUWELIJK

De kabelgeleiding



*Afbeelding 24: Geleider
communicatiekabel*

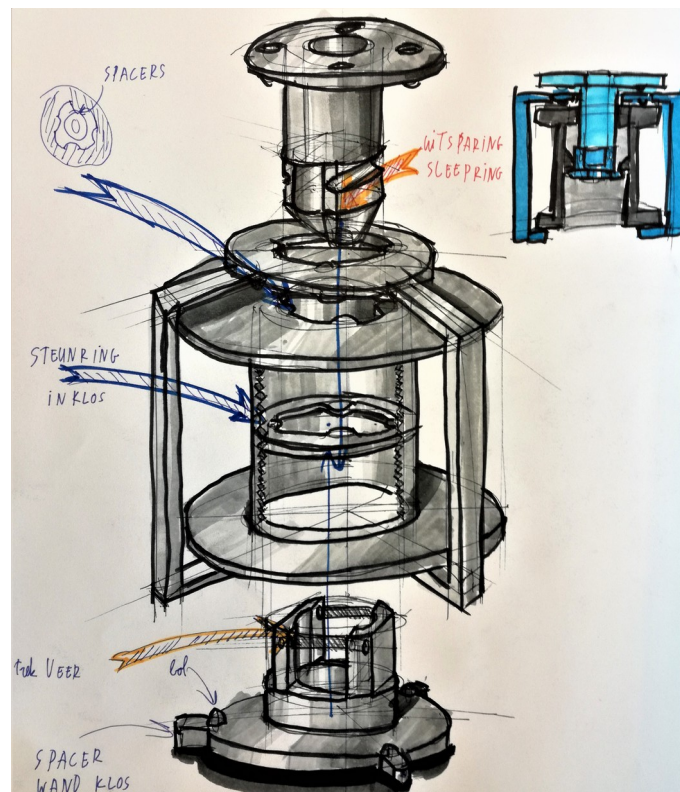
Om de wendbaarheid van de drone zo min mogelijk te beperken, kan de kabelgeleiding onafhankelijk van de klos roteren. Hiermee kan de klos over 360 graden afgewikkeld worden en levert de drone zo min mogelijk in op zijn wendbaarheid. De kabelgeleiding roteert rond een ring aan de bovenzijde van de klos en is achter een rand aan de onderzijde van de klos gehaakt met een pin. Dit voorkomt het uitbuigen van de kabelgeleiding ten opzichte van de klos. De kabel wordt door een gat in de kabelbegeleiding gevoerd. Dit gat is sterk afgerond zodat de kabel niet beschadigd bij het maken van een onverwachte bocht.

VERTROUWELIJK

Evaluatie ontwerp

Na het testen van het eerste prototype zijn er een aantal verbeterpunten waargenomen:

- De kabelgeleiding biedt onvoldoende stijfheid
- het ontwerp van de klos bestaat uit te veel complexe delen
- Het gat om de klos mee te borgen bij het opbergen loopt 'door' de communicatiekabel op de klos heen
- De bevestigingsdop wordt in de klos geplaatst. Dit maakt hem slecht bereikbaar
- Als de kabelhaspel wordt gekanteld, klemt de klos op de as. Hierdoor draait de klos minder soepel



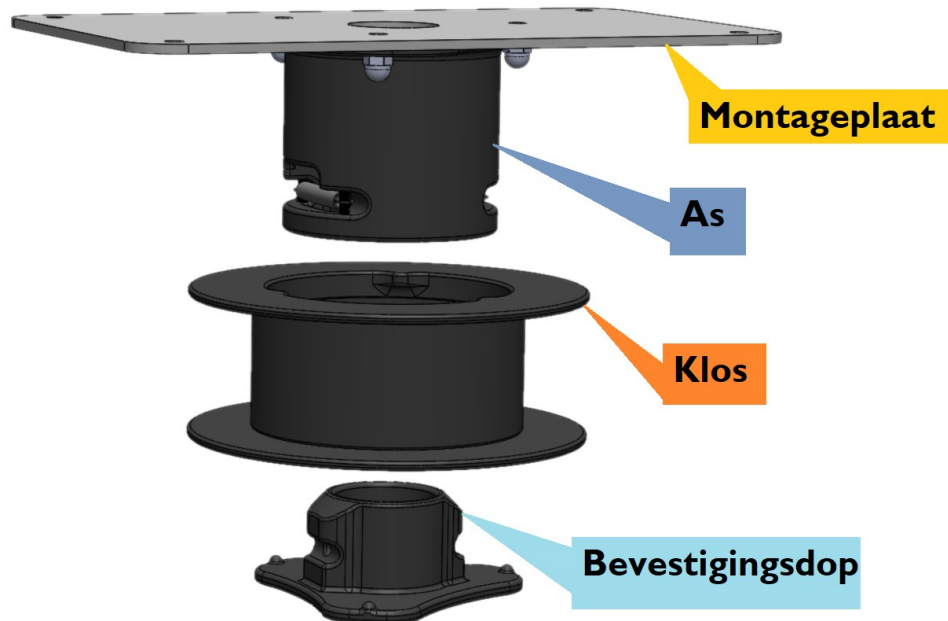
*Afbeelding 25: Conceptschets verbeterpunten
prototype 1*

De verbeterpunten zijn meegenomen in het ontwerp van het tweede prototype van de kabelhaspel. De verbeterpunten zijn verwerkt in een ontwerpschets op Afbeelding 25.

VERTROUWELIJK

3.5.5 Vormgeving tweede prototype kabelhaspel

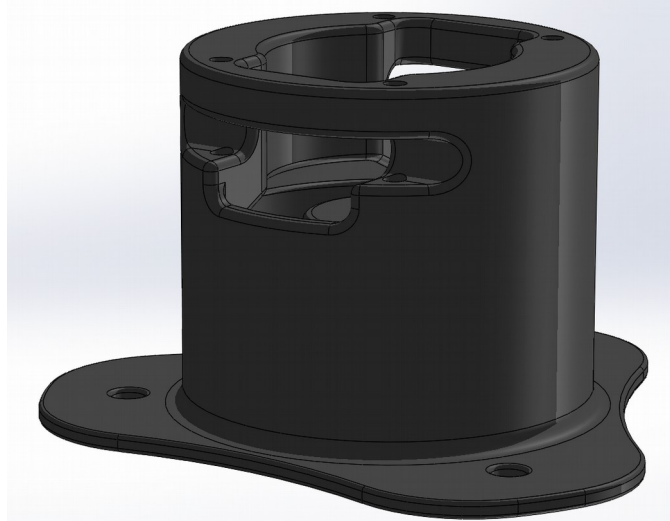
Het tweede ontwerp van de kabelhaspel is gericht op het maken van aanpassingen aan het eerste ontwerp om zo de functionaliteit te verbeteren. In deze paragraaf staat beschreven welke aanpassingen de onderdelen hebben ondergaan.



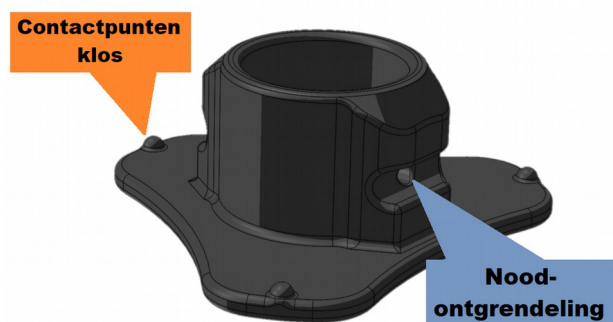
Afbeelding 26: Exploded view tweede prototype

Op Afbeelding 26 is een exploded view te zien van het ontwerp van het tweede prototype kabelhaspel.

VERTROUWELIJK

Verbetering ophanging*Afbeelding 27: As prototype twee*

Bij het tweede ontwerp zijn kort gezegd de houder en de koppeling van plaats verwisseld. De klos wordt nu over de as onder de drone heen geschoven. Hierdoor kantelt de klos niet meer in zijn houder waardoor deze stabiel afrolt.

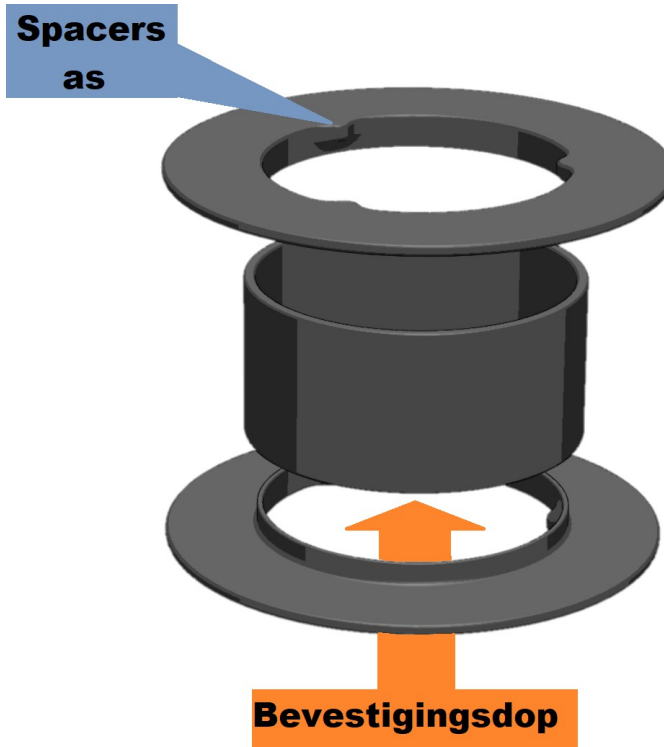
Verbetering bevestiging dop*Afbeelding 28: Bevestigingsdop*

De houder van prototype 1 is vervangen door een bevestigingsdop. Het ontwerp van de dop is afgeleid van de koppeling van het eerste ontwerp. In plaats van een volledige cirkel is basis van de dop als een afgeronde driehoek gevormd. Hierdoor wordt gewicht bespaard en is de dop makkelijker vast te pakken en los te trekken van de as. Verder is er in de wand

VERTROUWELIJK

van de dop bij de uitsparing van de trekveer een gat gemaakt (zie Afbeelding 28) om indien nodig, de klemveren handmatig met een pin uit de uitsparingen te duwen. Hierdoor kan de dop alsnog losgemaakt worden van de as.

Vereenvoudiging ontwerp klos

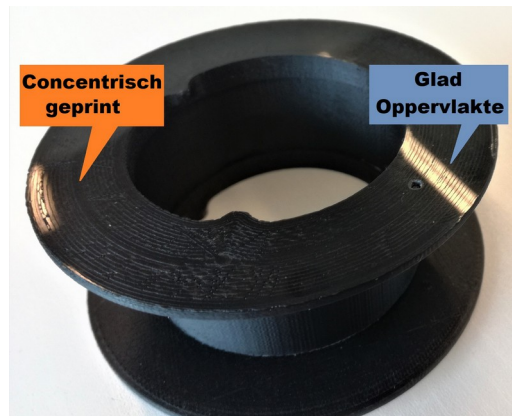


Afbeelding 29: assemblage klos

De klos voor het tweede prototype bestaat uit twee identieke flensen en een cilinder. Door de klos op te delen in twee grote onderdelen is het eenvoudiger om de afmetingen aan te passen. Dit verbetert de maakbaarheid en de modulariteit van het ontwerp.

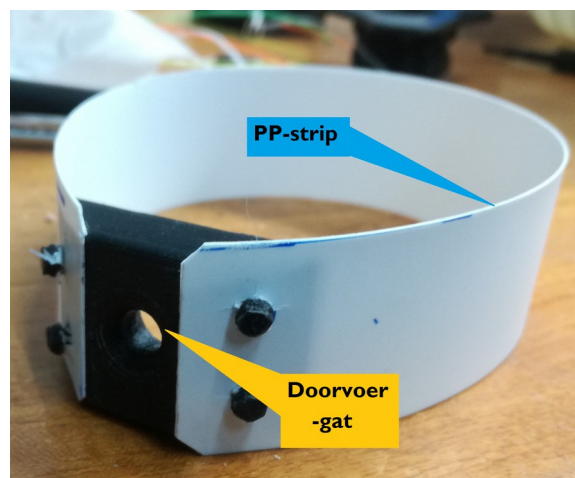
De klos centreert zich op de as met behulp van drie ronde spacers in de flens (zie Afbeelding 29). De spacers verminderen het contactoppervlak en daarmee ook de wrijvingskracht.

VERTROUWELIJK

*Afbeelding 30: Klos met glad oppervlakte*

Om weerstand tijdens het draaien van de klos om de as te verminderen zijn de flenzen van de klos concentrisch geprint. Dit houdt in dat het filament met cirkelvormige beweging is aangebracht waardoor een soort banen ontstaan. Hierdoor komen de studs op de bevestigingsdop geen ribbels tegen waardoor de klos makkelijker draait.

Kabelbegeleiding

*Afbeelding 31: Kabelgeleiding met band*

De roterende ring is bij dit ontwerp vervangen voor een geprint doorvoeroog die met een PP-strip (zie Afbeelding 31) om de klos heen zit. De strip is met een druksysteem aan de geleiding bevestigd. Door de kabelgeleiding als een losstaand onderdeel te ontwerpen kon het ontwerp van de klos vereenvoudigd worden en is de modulariteit van beide verbeterd.

VERTROUWELIJK

3.5.6 Materiaalkeuze

Het prototype van de kabelhaspel is geprint uit PLA. De keuze viel op dit materiaal omdat het een van de makkelijkere materialen is om mee te printen. Daarnaast is PLA een materiaal waar het oppervlakte eenvoudig glad af te werken is. Een glad oppervlakte resulteert in minder wrijving. Voor een productie in grotere oplagen is het aan te raden om een ander materiaal dan PLA te kiezen. Dit omdat PLA niet heel sterk is en minder bestand is tegen vocht.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk wordt het uiteindelijke ontwerp van de kabelhaspel besproken in paragraaf 4.1. Dit ontwerp is vervolgens getest op een aantal eisen uit hoofdstuk 2. Deze resultaten staan beschreven in paragraaf 4.2. In paragraaf 4.3 is het massabudget van het ontwerp beschreven.

4.1 Het ontwerp

In deze paragraaf wordt het totale ontwerp van de kabelhaspel besproken en geevalueerd.

De Kabelhaspel

De kabelhaspel bestaat uit een klos, een as en een bevestigingsdop. De bevestigingsdop dient als borgsysteem en als draagvlak voor de klos. De dop is voorzien van drie ronde bolletjes waar de klos overheen glijdt tijdens het roteren. De dop wordt vastgemaakt aan de as met een veer-klemsysteem. Hierbij vallen de veren van de as in uitsparingen van de bevestigingsdop. De as houdt de klos op zijn plaats tijdens het roteren en heeft een uitsparing aan de bovenzijde om de sleepkring in te plaatsen. De klos is opgedeeld in twee flenzen en een cilinder. De flenzen hebben drie uitstulpingen aan de binnenkant die de klos om de as centreren. Door uitstulpingen te gebruiken is de wrijvingskracht tussen de as en de klos verminderd. De onderzijde van de flenzen zijn op een glad oppervlak geprint in cirkelvormige banen. De banen zorgen er voor dat de klos gelijkmatig over de steunpunten van de bevestigingsdop kunnen glijden.

De communicatiekabel

De kabelhaspel biedt ruimte om meer dan 100 meter micro-coaxkabel op te bergen. De communicatiekabel wordt via een gat in de flens naar de onderkant doorgevoerd en wordt met een JST-PA connector aangesloten op de sleepkring in de as. De sleepkring is

VERTROUWELIJK

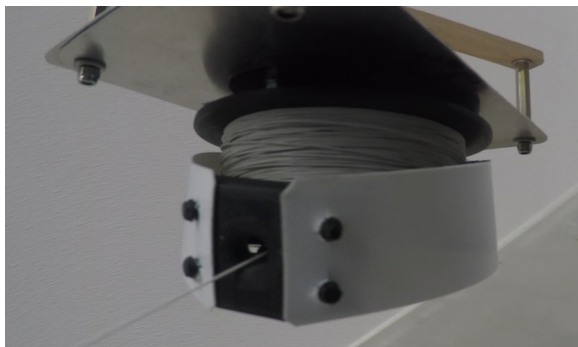
aangesloten op de homeplug communicatiemodule met een driepolige micromate 'n lock stekker.

De communicatiemodule vormt een ethernet-sigitaal, van bijvoorbeeld een IP-camera, om naar een powerline-sigitaal dat over twee aders getransporteerd wordt. De communicatiekabel is met een adapterstuk via een SMA-aansluiting aangesloten op de U-drone converterbox. Deze vormt powerline-sigitaal met een tweede homeplug communicatiemodule om naar een ethernet-sigitaal. Het grondstation kan het sigitaal uitlezen door een RJ-45 ethernetkabel aan te sluiten op de converterbox.

4.1.1 Bevestigen

In het programma van eisen in hoofdstuk 2 is vastgesteld dat de kabelhaspel binnen vijf minuten te verwisselen moet zijn zonder het gebruik gereedschap. Door gebruik te maken van een veer-klemsysteem bij de ophanging, kan de bevestigingsdop simpelweg vastgeduwd of losgetrokken worden. Hiermee is er geen gereedschap nodig om de klos te vervangen.

Verbeterpunten kabelbegeleiding



Afbeelding 32: De kabelgeleiding valt over de flens

De kabelgeleiding met de band om de klos bleek te vrij te kunnen bewegen en om de rand van de flens van de klos heen te vallen. Hierdoor ontstaat extra wrijving tussen de klos en de kabel. Dit is ongewenst en daarom is er besloten om voor deze fase de kabelgeleiding te fixeren op de bevestigingsplaat. Hierdoor kan de kabel niet 360 graden afgerold worden, maar wordt de kabel volgens de gestelde eisen begeleid tijdens het afrollen.

VERTROUWELIJK

4.2 Testresultaten

4.2.1 Testresultaten communicatiekabel

De netwerkeigenschappen van 36AWG micro-coaxkabel is met behulp van de 'Iperf3' netwerktool getest. De testopstelling bestond uit:

- 100 meter 50 Ohm 36AWG micro-coaxkabel
- 2 homeplug communicatiemodules
- 1 sleeping
- 1 raspberry Pi 3B+ (zender)
- 1 Acer aspire 15E laptop (ontvanger)

Tijdens de test is de bandbreedte en de hoeveelheid verzonden data via de kabel gemeten en vastgelegd. Tijdens de test is er tien keer tien pakketten data op de hoogst mogelijke bandbreedte (100 megabit per seconde) verstuurd via een TCP-protocol. Tijdens de tien testen is er gemiddeld 107 megabyte aan data verzonden met een bandbreedte van 90 megabit per seconde. Hiermee voldoet deze setup aan de gestelde eis van een bandbreedte van 2 megabit per seconde.

4.2.2 Testresultaten kabelhaspel

Looptest

De test van de kabelhaspel is stapsgewijs opgebouwd. De eerste test is gedaan door de kabelhaspel met bevestigingsplaat vast te maken aan een staf om daar vervolgens mee te gaan lopen. De trekkracht op de kabel is gemeten met een veer-unster. Uit de loop test bleek dat de kabelgeleiding door middel van een band te onvoorspelbaar was en over de rand van de klos ging hangen (zie Afbeelding 32). Hierdoor ontstond een hoge trekkracht (600 gram gemeten) op de kabel. De kabel was na de hoge belasting nog steeds in tact.

Door het onvoldoende vermogen van de kabelbegeleiding om te roteren, is besloten om de kabelgeleiding op de bevestigingsplaat te fixeren. Hierna is er niet meer dan 60 gram aan trekkracht gemeten. Dit komt neer op een moment van 50 Newton millimeter om de roll en pitch, waarmee het ontwerp voldoet aan de eis.

VERTROUWELIJK

Testvlucht*Afbeelding 33: Testvlucht kabelhaspel*

Nadat de looptest succesvol is afgerond is de kabelhaspel onder een RH5-formaat drone geplaatst en is er een testvlucht gemaakt (zie Afbeelding 33). Op de drone was een IP-camera bevestigd die via de communicatiekabel beelden naar een computer zond (Afbeelding 34). De beelden werden zonder haperingen weergegeven op de computer. Hieruit valt te concluderen het ontwerp van de communicatiekabel functioneert naar behoren en hiermee aan de eisen uit het programma van eisen voldoet.

*Afbeelding 34: Opname vanaf de drone*

De uitgebreide testrapporten zijn te vinden in bijlage III. In bijlage V is de vorm van een checklist aangegeven aan welke eisen en wensen het ontwerp voldoet en welke punten nog open staan voor verbetering.

VERTROUWELIJK

De klos vervangen

Het vervangen van de klos onder de drone kost volgens een meting ongeveer 2 minuten en 13 seconden. Dit is minder dan de maximaal toegestane 5 minuten en voldoet hiermee aan de eis. Echt moet hier bij vermeld worden dat er tijdens het verwisselen een pin gebruikt moet worden om de trekveren uit de uitsparingen van de bevestigingsdop te duwen.

4.3 Massabudget

In het programma van eisen in hoofdstuk 2 is vastgesteld dat de kabelhaspel met randapparatuur gezamenlijk niet meer dan 400 gram mag wegen. In Tabel 11 is een overzicht gemaakt van het gewicht per onderdeel van de kabelhaspel. Het totale gewicht van de kabelhaspel bedraagt 254 gram en voldoet hiermee aan de gestelde eis.

Tabel 11: Samenvatting payload drone

Omschrijving	Gewicht [gram]
Klos met 100 meter 36AWG micro-coax kabel 50 Ohm	126
As en montagedop	45
Sleepring	6
Montageplaat, ethernetmodule en randelektronica	77
Totaal:	254

VERTROUWELIJK

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de hoofdvragen uit de inleiding beantwoord. Daarnaast worden er aanbevelingen gedaan om het huidige ontwerp te verbeteren.

5.1 Conclusies

Het doel van deze opdracht was om te bepalen of het mogelijk is om een RH5 drone te voorzien van een communicatiekabel van 100 meter of meer. Over deze kabel wordt vluchtdata en videobeelden verstuurd.

- Een 36 AWG micro-coaxkabel bleek geschikt te zijn om vluchtdata en videobeelden te versturen met behulp van een homeplug communicatiemodule.
- De communicatiekabel is op een klos gewikkeld. Deze klos wordt op een as onder de drone bevestigd en geborgd met een bevestigingsdop. Vastgesteld is dat de klos binnen tweeënhalve minuut te verwisselen is.

De testresultaten hebben geverifieerd dat het ontwerp voldoende mate voldoet aan het programma van eisen en wensen. De kabelgeleiding voldoet echter nog niet aan de eisen.

5.2 Aanbevelingen

Om het ontwerp van de communicatiekabel en de haspel te verbeteren, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Om het moment om de yaw van de drone af te vangen dient de kabelgeleiding verder ontwikkeld te worden zodat deze onafhankelijk van de klos kan draaien
- Om aan de wens "De drone moet kunnen bepalen hoeveel kabel er nog op de haspel zit" uit het pakket van eisen in hoofdstuk 2 te voldoen, is het aan te raden om de interne sensoren van de drone te gebruiken. Zo zijn er geen extra componenten nodig
- Om het bereik van de drone te vergroten, is het interessant om onderzoek te doen naar de mogelijkheden van dataverbinding via optische vezelkabel. Hiermee kunnen hoge bandbreedtes behaald worden op afstanden tot in de kilometers
- De bevestigingsdop is momenteel enkel los te maken met een stuk gereedschap. Om de ontkoppeling makkelijker te maken, is het aan te raden om een schuin stuk te maken in de uitsparing van de bevestigingsdop.

VERTROUWELIJK

Literatuurlijst

- 1: Rien Elling,(2015).Rapportageteknik,(5).Noordhoff Uitgevers.
- 2: F.J. Siers,(2004).Methodisch ontwerpen,(4).Noordhoff.
- 3: Hans van Vliet, MoSCoW-methode, 2019, <https://nl.wikipedia.org/wiki/MoSCoW-methode>
- 4: F.J.Siers,(2004).Methodisch ontwerpen,(3).Noordhoff.
- 5: , SRC012 Series Datasheet, 2019
- 6: , Customer Specification PART NO. 9436, 2017
- 7: , Transmissielijn, 2019, <https://nl.wikipedia.org/wiki/Transmissielijn>

VERTROUWELIJK

Verklarende woordenlijst

Bandbreedte	Snelheid van data-overdracht. Wordt gebruikelijk genoteerd in megabit per seconde (Mbps)
Coax(iale) kabel	Een kabel bestaande uit een geleidende kern, een isolerende mantel, een geleidende mantel en een isolerende buitenmantel
Demping	Het afzwakken van een signaal door interne en/of externe factoren
Drone	Onbemand vliegend voertuig dat op afstand wordt aangestuurd
Grondstation	Vanaf het grondstation wordt de drone bestuurd
Massabudget	De maximale massa die een drone mee mag nemen om een vlucht van een X aantal minuten te kunnen maken
MoCa	MoCa is een ethernetstandaard (IEEE-1934) waarbij een netwerk signaal wordt omgevormd naar een Coax signaal en weer terug.
Optische vezel kabel	Een kabel die informatie transporteert d.m.v. Een lichtsignaal wat door de kabel wordt verstuurd. Met deze methode kunnen grote hoeveelheid data over grote afstanden van honderden tot duizenden meters worden getransporteerd
Payload	Externe massa wat een drone draagt tijdens een vlucht
Pitch	Rotatie om de Y-as van de drone
Powerline	Powerline is een ethernetstandaard (IEEE-1901-2010) waarbij een netwerksignaal via het lichtnet in een huis wordt getransporteerd.
RH5	Een kleine drone ontworpen door Delft Dynamics
Roll	Rotatie om de X-as van de drone
Sleeping	Een elektromechanisch component wat het mogelijk maakt om een kabel axiaal vrij te roteren, maar toch het signaal doorgeeft aan een statisch deel
Yaw	Rotatie om de Z-as van de drone

VERTROUWELIJK

Bijlage I: Opdrachtschrijving

Delft Dynamics

Afstudeeropdracht Mini Kabelhaspel

Door: Gilliam van der
Burg
Student 14035707
nr.
Bedrijf: Delft Dynamics B.V.
Begeleider Eduard
:
IJsselmuiden
Datum: 17-01-2019
Versie: 1.0

VERTROUWELIJK

VERTROUWELIJK

Inhoudsopgave

1 Bedrijfsbeschrijving.....56

2 Doelstelling.....56

3 De huidige situatie.....56

4 Beoogd resultaat.....57

5 Over mijn begeleider.....57

VERTROUWELIJK

1 Bedrijfsbeschrijving

Delft Dynamics B.V. is een hightech bedrijf wat in 2006 is opgericht en is gevestigd in Delft. Het bedrijf is al meer dan twaalf jaar gespecialiseerd in het ontwikkelen en realiseren van drones en andere kleine onbemande heli- en multicopters. Delft Dynamics B.V. neemt op nationale en internationale schaal opdrachten aan van derden, zoals de KLPD en Defensie. De ontwikkelde UAS(Unmanned Air System) worden in Delft ontwikkeld en getest. Het bedrijf telt circa 7 werknemers met verschillende onderwijsachtergronden op zowel hbo- als wo-niveau.

2 Doelstelling

De opdracht is om een mini kabelhaspel te ontwikkelen voor de RH5 drone, die voldoet aan de randvoorwaarden wat betreft gewicht en afmetingen. De kabelhaspel moet verwisselbaar zijn en geschikt zijn voor het vanaf de drone uitrollen van een communicatiekabel van 100m. Hiervoor is een mechanische en elektrische koppeling nodig (sleepring). De kabelhaspel mag de wendbaarheid van de drone niet teveel negatief beïnvloeden en de kabel mag uiteraard niet in de rotors komen. De specificaties van de communicatiekabel moeten gevalideerd worden, zoals de maximale lengte bij de gewenste communicatiefrequentie, en bijbehorende kabeldiameter en gewicht per meter.

3 De huidige situatie

In 2019 (Q2) start Delft Dynamics met een 12 maanden durend R&D project getiteld "U-drone". Het doel hiervan is om twee verschillende prototypes van compacte kabeldrones te ontwikkelen, 'U-Drones', en te demonstreren in ondergrondse gangenstelsels (zonder GPS ontvangst), waarbij de drones op afstanden van 100 meter door een militair bediend kunnen worden.

De U-Drones kunnen voorzien worden van de gewenste sensoren (afstandssensoren, camera's, verlichting, 3D mapping, gassensoren, enz.) om informatie te verzamelen / te 'ontdekken'. Daarnaast worden de commando's naar de U-Drones, en de beelden/data vanuit de drones naar de bedienaar, via een niet te verstoren (unjammable) lichtgewicht (voedings)kabel verstuurd.

VERTROUWELIJK

De spoel met de 100 meter kabel is gekoppeld aan de U-Drone en rolt dus gedurende de vlucht van de drone af, waardoor de drone geen last heeft als de kabel achter iets blijft haken.



Figuur 1: 3D model van Delft Dynamics RH5 drone

De RH5 is een inklapbare multicopter drone, gevoed uit een batterij met een vluchtduur van ca. 20 minuten. Dit model wordt als basis gebruikt voor één van de U-drone-prototypes en voor deze afstudeeropdracht.

4 Beoogd resultaat

De beoogde resultaten voor het einde van de stageperiode zijn:

- Een werkend prototype van een verwisselbare kabelhaspel die gekoppeld kan worden aan een RH5-drone
- Een werkend prototype van een communicatie kabel met een lengte van 100 meter

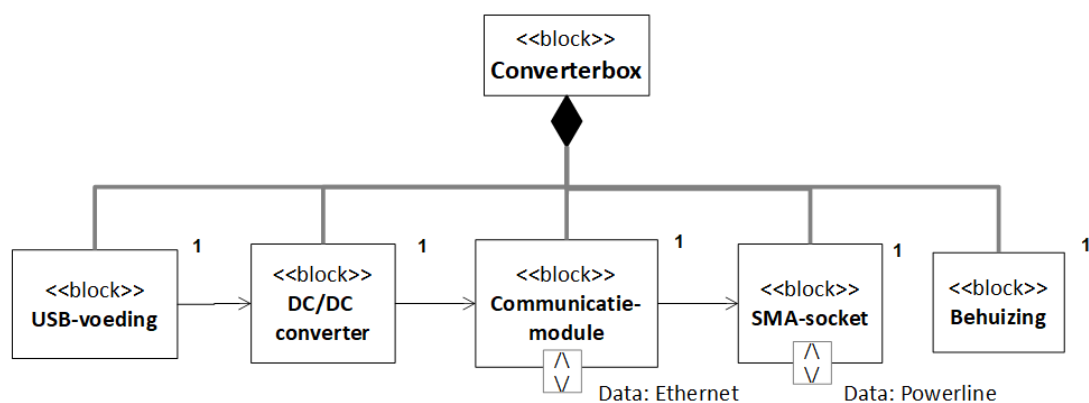
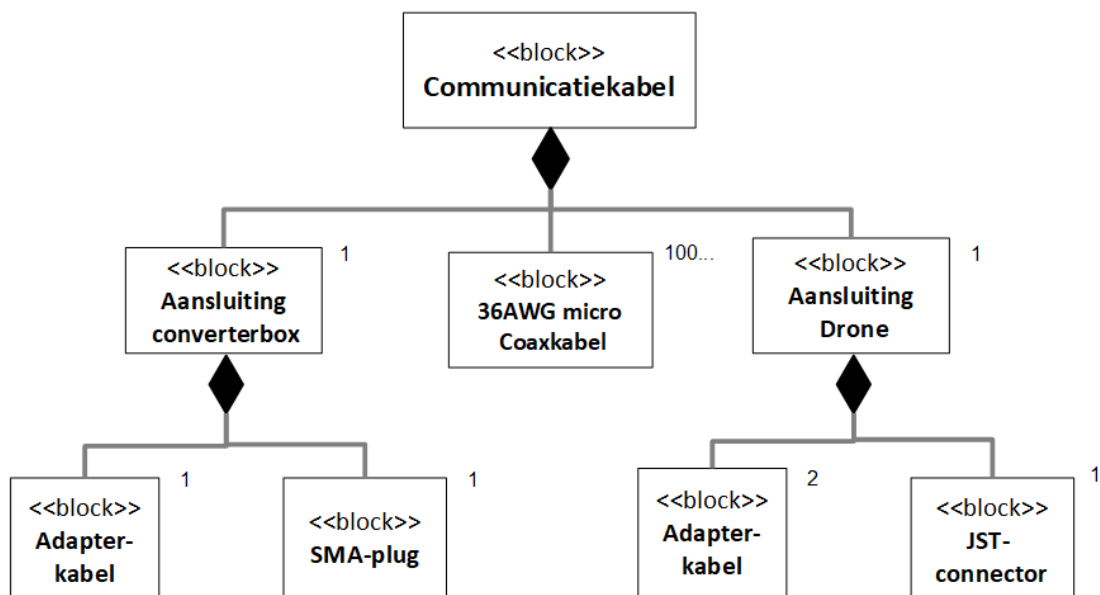
5 Over mijn begeleider

Tijdens de afstudeerstage word ik begeleid door Eduard Ijsselmuiden, Medeoprichter van Delft Dynamics B.V.. Hij heeft in 2001 zijn master Aerospace Engineering afgerond op de TU in Delft en is sinds 2011 project manager bij Delft Dynamics.

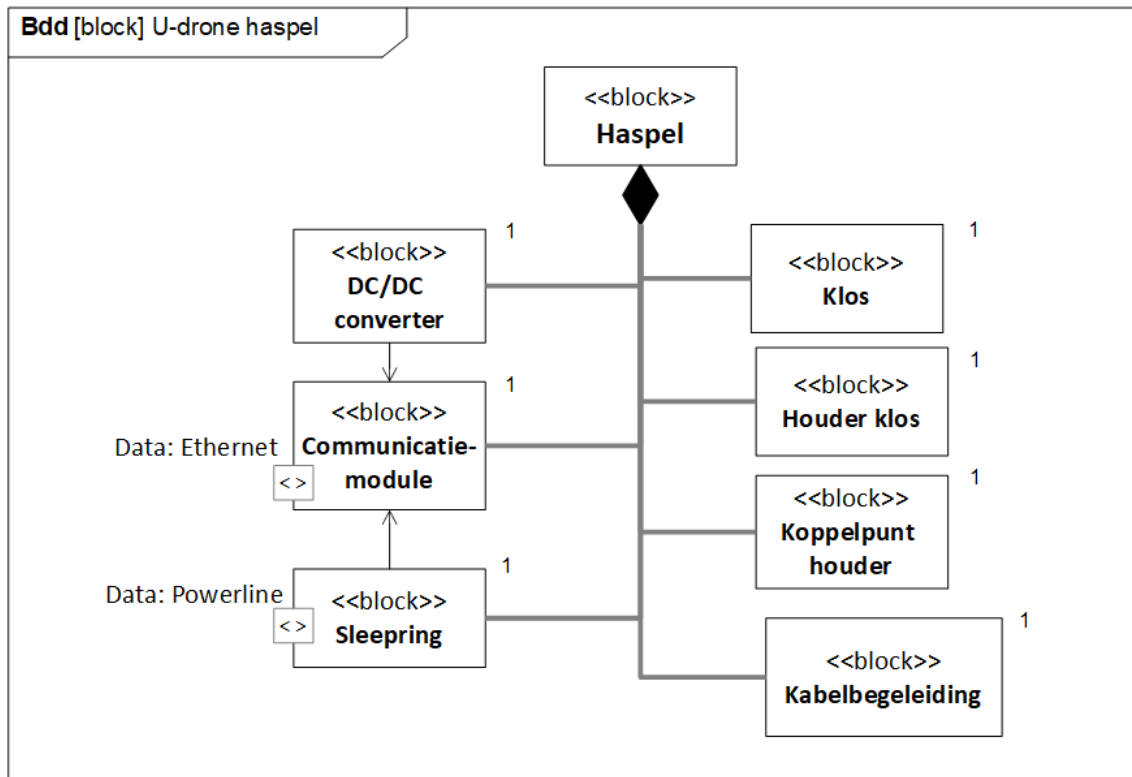
LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/eduard-ijsselmuiden-7917423a/>

VERTROUWELIJK

Bijlage II: Systeendiagrammen

Bdd [block] U-drone converterbox**Bdd [block] U-drone communicatiekabel**

VERTROUWELIJK



VERTROUWELIJK

Bijlage III: Testresultaten

Inhoudsopgave

1 Inleiding.....	61
2 Randvoorwaarden.....	62
3 Testomschrijvingen.....	63
3.1Kabel op haspel spoelen.....	63
3.2Bevestiging kabelhaspel aan drone.....	64
3.3Rotor-contact test.....	68
3.4Treklast test	70
3.5Testvlucht.....	71
4 Testresultaten.....	73
5 Conclusie.....	74

VERTROUWELIJK

1 Inleiding

Dit testdocument is opgesteld in het kader van het project U-drone. Bij project U-Drone wordt in opdracht van defensie een bekabelde drone ontwikkeld die ingezet kan worden op plaatsen waar radiocommunicatie nagenoeg niet mogelijk is. In dit document worden een aantal testen beschreven om te valideren of de kabelhaspel voldoet aan de gestelde eisen uit het plan van aanpak. Deze eisen staan beschreven in Tabel 12.

Tabel 12: Overzicht te testen eisen a.d.h.v. Programma van eisen

PvE nummer	Omschrijving
M5	De kabelhaspel moet minimaal 200 meter kabel kunnen bergen
M4	De kabelhaspel moet binnen 5 minuten te verwisselen zijn
M7	De kabel mag niet in contact met de rotors komen
M10	Het moment veroorzaakt door trekweerstand in de kabel mag niet meer dan 7.5 Nm zijn over de Roll- en Pitch-as van de drone
M11	Het moment veroorzaakt door trekweerstand in de kabel mag niet meer dan 0.75 Nm zijn over de yaw-as van de drone
M13	De RH5 Drone moet minimaal 5 minuten kunnen vliegen met de haspel
M14	De kabelhaspel moet geschikt zijn voor afrollen tijdens de vlucht met een (geschatte) maximale snelheid van 2 meter per seconde en een typische snelheid van 0.5 m/s
S1	De kabelhaspel moet te vervangen zijn zonder gereedschap

VERTROUWELIJK

2 Randvoorwaarden

Randvoorwaarden uitvoeren van de test

- Er moet een drone beschikbaar zijn met vergelijkbare specificaties als de RH5 drone
- De gebruikte accus moeten volledig opgeladen zijn
- Er moet een gecertificeerde drone-bestuurder aanwezig zijn tijdens de test
- Er moet een observator aanwezig zijn tijdens de test die de omgeving in de gaten houdt en de bestuurder attendeert op gevaar voor drone en bestuurder

Randvoorwaarden omgevingsomstandigheden

- De windsnelheid mag niet meer dan 10 knopen of 18.5 km/u bedragen
- Er valt geen neerslag

VERTROUWELIJK

3 Testomschrijvingen

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke testen worden uitgevoerd om te bepalen of het ontwerp voldoet aan de gestelde eisen.

3.1 Kabel op haspel spoelen

Te testen eis/wens:	M5
Benodigheden:	Kabelhaspel, 100 meter 36AWG micro-coaxkabel of 100 meter vliegertouw diameter 0.5 millimeter

Stappen

1. voer de kabel/touw van buiten naar binnen via de uitsparing aan de zijkant van de klos
2. wikkel de kabel met de klok mee op de cilinder van de klos. zorg dat de banen netjes naast elkaar liggen
3. als de bovenzijde/onderzijde bereikt is, leg een baan over de vorige baan en wikkel de kabel naar beneden/boven op de klos
4. herhaal stap 2 en 3 tot alle kabel op de klos zit
5. rijg het uiteinde van de kabel door het oog van de kabelbegeleiding

De test is geslaagd als er 100 meter aan kabel/touw op de klos past zonder dat deze over de randen heen hangt.

VERTROUWELIJK

Resultaat:

Er blijkt ongeveer 150 meter vliegertouw op de klos te passen. Het vliegertouw is echter 0,75 mm dik in plaats van 0,5 mm. Dit komt overeen met een volume van 225 meter kabel met een diameter van 0,5 mm. Hiermee voldoet de klos aan de gestelde eis.

3.2 Bevestiging kabelhaspel aan drone

Te testen eis/wens:	M13, S1
Benodigdheden:	Drone, Kabelhaspel, U-drone converterbox, stopwatch/smartphone

Voor het starten van de test dient de montageplaat met de ophanging van de kabelhaspel op de drone gemonteerd te zijn.

Stappen*Aankoppelen*

1. start de timer
2. haal de haspel uit het opbergmedium
3. Buig de kabel aan de binnenzijde van de klos opzij
4. Plaats de houder aan de binnenzijde van de klos
5. geleid de kabel vanuit de koppeling door het gat van de houder
6. druk de houder op de koppeling van de drone
7. controleer of de veren goed in de uitsparingen zitten
8. Verbind de stekkers aan de binnenzijde van de klos
9. sluit de kabel (buitenzijde) aan op het grondstation

VERTROUWELIJK

Loskoppelen

10. koppel de kabel los van het grondstation
11. koppel de stekker aan de binnenzijde van de klos los
12. trek de klos los van de koppeling
13. verwijder de kabel van de koppeling uit de houder
14. stop de timer

Geslaagd als

De test is geslaagd als het aankoppelen en loskoppelen gezamenlijk minder dan 5 minuten duurt zonder het gebruik van gereedschap.

Resultaten

Tijdens de test is de klos in 2 minuten en 17 seconden vervangen. Dit is binnen de gestelde 5 minuten waarmee het ontwerp voldoet aan deze eis. Bij het verwisselen was echter een tool nodig om de bevestigingsdop los te koppelen. Hiermee voldoet het ontwerp nog niet aan de wens om de haspel verwisselbaar te maken zonder gereedschap.

VERTROUWELIJK

3.3 Rotor-contact test

Te testen eis/wens:	M7
Benodigdheden:	Kabelhaspel met kabel/touw, RH5 drone of een vergelijkbare drone Rotorguards

Belangrijk:

Tijdens het uitvoeren van deze test moet de drone uitgeschakeld zijn. Hiermee kunnen de rotors niet onverwacht gaan draaien en onbedoeld schade toe brengen aan mens of materieel

Stappen

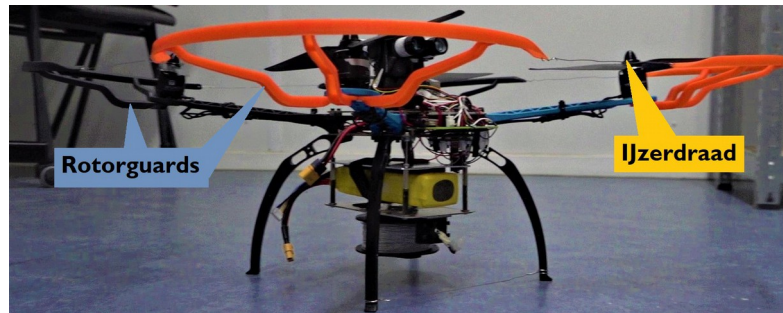
1. Bevestig de rotorguards aan de drone
2. Bevestig de kabelhaspel aan de koppeling op de drone
3. rol de kabel 70 tot 100 centimeter af
4. beweeg de kabel langs de rotorguards
5. Roteer de rotor met de hand en kijk of deze de kabel raakt

Geslaagd als

De test is geslaagd als de kabel onder spanning de rotors van de drone niet kan raken.

VERTROUWELIJK

Resultaat



Afbeelding 35: Testdrone met rotorguards

De testdrone is voorzien van rotorguards die onderling verbonden zijn met ijzerdraad. Hierdoor ontstaat een soort ring om de rotors waardoor de kabel hier niet in terrecht kan komen. Door deze maatregel voldoet het ontwerp aan de gestelde eis.

3.4 Treklast test

Te testen eis/wens:	M10, M11
Benodigdheden:	Kabelhaspel met 200 meter kabel/touw, Veer-unster,
Aanvullende informatie	Afstand tot draaipunt voor roll en pitch: 85 millimeter Afstand tot draaipunt voor yaw: 22 millimeter valversnelling = $9,81 \text{ m/s}^2$

Stappen

1. Bevestig de haspel op de koppeling van de drone
2. Zorg dat de drone onder geen beding kan bewegen
3. bevestig het uiteinde van de kabel/touw aan de veer-unster

VERTROUWELIJK

4. roteer de kabelbegeleiding zo dat de kabel in u richting wordt afgespoeld
5. Rol de kabel van de kabelhaspel af door aan de veer-unster te trekken
6. lees de gemeten trekkracht af en noteer de berekende waarde (Yaw)
7. roteer de kabelbegeleiding naar links of naar rechts tot een hoek van ongeveer 90 graden
8. Rol de kabel nogmaals af en lees de waarde van de veerunster af
9. Vermenigvuldig de gemeten waarde met 0,078 (=0,981*0,08)
10. Noteer de waarde (Roll-Pitch)

Geslaagd als

- Het gemeten trekgewicht op de roll- en pitch-as minder dan 90 gram is
- Het gemeten trekgewicht op de yaw-as minder dan 35 gram is

Onderbouwing:

Het maximaal gestelde moment om de roll- en pitch-as mag niet meer zijn dan 75 Nmm.

Voor het moment om een draaipunt geldt:

$$M_{as} = m_{trek} * g * l_{arm} \quad (8)$$

Hierbij geldt:

M het moment om het draaipunt is in Newton millimeter [Nmm]

m het trekgewicht is in kilogram

g de valversnelling is op aarde

en l de afstand tot het draaipunt in millimeter

Wanneer formule 1 wordt omgeschreven naar een functie om het trekgewicht m

$$m_{trek} = \frac{M_{as}}{g * l_{arm}} * 1000 \quad (9)$$

De uitkomst van de formule wordt vermenigvuldigd met 1000 om de uitkomst in kilogram om te schrijven naar grammen.

$$m_{tp} = \frac{75}{9,81 * 85} * 1000 = 90 \text{ gram} \quad (10)$$

VERTROUWELIJK

Voor het moment om de Yaw geldt:

$$m_{ty} = \frac{7,5}{9,81 * 22} * 1000 = 35 \text{ gram} \quad (11)$$

Resultaat



*Afbeelding 36: Hoogst gemeten
trekgewicht op veerunster*

Tijdens de test is het trekgewicht gemeten van 60 gram gemeten. Hiermee voldoet de drone aan de gestelde eisen. Het moment om de yaw kon niet gemeten worden omdat de kabelgeleiding niet mee kon roteren. Hiermee is de eis voor een moment om de yaw niet behaald.

VERTROUWELIJK

3.5 Testvlucht

Te testen eis/wens:	M13, M14
Benodigdheden :	Kabelhaspel met 200 meter kabel, U-drone converterbox Laptop Ethernetkabel RH5 drone of vergelijkbaar, IP-camera op drone Bestuurder, Observator,

Om deze test uit te kunnen voeren zijn de volgende randvoorwaarden van toepassing:

- Er moet een drone beschikbaar zijn met vergelijkbare specificaties als de RH5 drone
- De gebruikte accus moeten volledig opgeladen zijn
- Er moet een gecertificeerde drone-bestuurder aanwezig zijn tijdens de test
- Er moet een observator aanwezig zijn tijdens de test die de omgeving in de gaten houdt en de bestuurder attendeert op gevaar voor drone en bestuurder
- De windsnelheid mag niet meer dan 10 knopen of 18.5 km/u bedragen
- Er valt geen neerslag

Stappen

1. Koppel de kabelhaspel aan de drone (zie paragraaf 3.2)
2. Sluit de accu aan
3. Laat de bestuurder de drone vliegklaar maken
4. Plaats de kabelhaspel op de as en sluit de kabel aan op de drone
5. sluit de communicatiekabel aan op de converterbox
6. sluit de converterbox aan op een laptop met een ethernetkabel

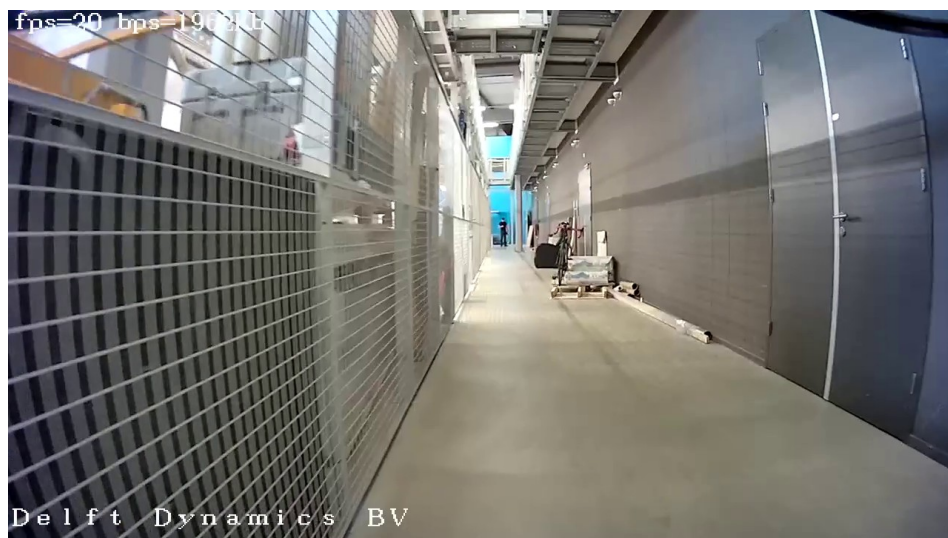
VERTROUWELIJK

7. sluit de usb-stekker (voeding) op de converterbox aan
8. controleer op de laptop of de IP-camera op de drone beelden doorstuurd
9. Laat de drone opstijgen
10. vlieg een aantal meter rechtdoor
11. Laat de drone een bocht maken
12. land de drone op de grond

Geslaagd als

De test is geslaagd als:

- De drone langer dan 5 minuten kan vliegen met de kabel
- De beelden van de IP-camera zonder enige haperingen weergegeven worden op het beeldscherm van de laptop

Resultaten:

Afbeelding 37: Beeldfragment IP-camera drone

Tijdens de testvlucht is het gelukt om videobeelden van de IP-camera op de drone weer te geven op de laptop. Op de beelden is geen spoor van haperingen te zien. Hieruit valt te concluderen dat deze test geslaagd is. In totaal is er 5 minuten gevlogen met de drone met dezelfde accu en voldoet hiermee aan de gestelde eis.

VERTROUWELIJK

4 Testresultaten

In dit hoofdstuk staan de resultaten van de uitgevoerde tests kort samengevat in Tabel 13. In de tabel wordt aangeduid of de kabelhaspel heeft voldaan aan de gestelde eisen uit het plan van aanpak

Tabel 13: Overzicht testresultaten

PvE nummer	Omschrijving	Voldoet
M5	De kabelhaspel moet minimaal 100 meter kabel kunnen bergen	ja
M4	De kabelhaspel moet binnen 5 minuten te verwisselen zijn	ja
M7	De kabel mag niet in contact met de rotors komen	ja
M10	Het moment veroorzaakt door trekweerstand in de kabel mag niet meer dan 7.5 Nm zijn over de Roll- en Pitch-as van de drone	ja
M11	Het moment veroorzaakt door trekweerstand in de kabel mag niet meer dan 0.75 Nm zijn over de yaw-as van de drone	nee
M13	De RH5 Drone moet minimaal 5 minuten kunnen vliegen met de haspel	ja
M14	De kabelhaspel moet geschikt zijn voor afrollen tijdens de vlucht met een (geschatte) maximale snelheid van 2 meter per seconde en een typische snelheid van 0.5 m/s	ja
S1	De kabelhaspel moet te vervangen zijn zonder gereedschap	nee

VERTROUWELIJK

5 Conclusie

- De kabelhaspel is groot genoeg om 100 meter kabel op te wikkelen en voldoet hiermee aan de eisen.
- Verder is de klos van de kabelhaspel in 2 minuten en 18 seconden te verwisselen en voldoet hiermee aan de eisen.
- Door rotorguards te gebruiken die onderling met elkaar verbonden zijn, kan de communicatiekabel niet in contact komen met de rotors tijdens een vlucht. Hierdoor voldoet het ontwerp aan de gestelde eisen.
- Tijdens de treklasttest is het hoogst gemeten trekgewicht om de roll- en pitch-as vastgesteld op 60 gram en voldoet hiermee aan de eisen.
- De treklasttest om de yaw van de drone kon niet uitgevoerd worden omdat de kabelgeleiding gefixeerd is op de montageplaat en geen momenten om de yaw-as kan afvangen. Hiermee voldoet het ontwerp nog niet aan de gestelde eis.

VERTROUWELIJK

Bijlage IV: Berekeningen

Omschrijving	Gewicht per stuk [gram]	Totaal aantal	Totaal gewicht [gram]
Chassis RH5 drone (incl motoren, propellers)	800	1	800
Accu 3000 mAh	330	1	330
Klos met kabel	126	1	126
Sleepring	6	1	6
Ophanging	45	1	45
Montageplaat	50	1	50
Randelektronica	24	1	24
		Totaal	1381

Transmissielijntheorie

Constanten

lichtsnelheid $c = \sim 300\,000\,000$ m/s

3,28 feet $\Rightarrow$ 1 meter

1 feet = 0.3 meter

Algemene regels:

Bij een demping van 3 dB halveert het elektrisch vermogen

Bij een demping van 6 dB halveert de elektrische spanning

Gegevens coaxkabel

$c = 33.6$ pF /feet bij 1Khz ($c = 110,2$ pF/ meter bij 1 Khz)

velocity of propagation: 69% (snelheid signaal door kabel, percentage van lichtsnelheid)

snelheid signaal= $207 \cdot 10^6$ m/s

demping: 7,6 dB/ 100 feet @ 10 Mhz of 24,9 dB /100 meter bij 10 Mhz

conductor DCR: 1,56 Ohm/m bij 20 graden celsius

karakteristieke weerstand: 50 Ohm

VERTROUWELIJK

Lengte kabel: 100 meter

Totale demping :25 dB

c= 11,0 nF

DCR: 156 Ohm

Dempingsfactor spanning: =50/6 = 8

$$demping_{volt} = \frac{1}{2^8} = \frac{1}{256} * U_{lijn} \quad (12)$$

Dempingsfactor vermogen: =50/3=16

$$demping_{vermogen} = \frac{1}{2^{16}} = \frac{1}{65536} * P_{lijn} \quad (13)$$

Gegevens homeplug communicatiemodule

powerline frequentiebereik: 2 Mhz → 30 Mhz

$$\lambda = \frac{c_{kabel}}{f} \quad (14)$$

Waarbij c_{kabel} gelijk is aan de signaalsnelheid in de coaxkabel en gelijk is aan $207 * 10^6$ meter per seconde
en f het frequentiebereik van het powerline signaal in hertz.

$$\lambda = \frac{207 * 10^6}{2 * 10^6 \leq f \leq 30 * 10^6} = 105 \geq \lambda \geq 6,9 \quad (15)$$

Waarbij λ het golflengtebereik van de communicatiemodule symboliseert in meters.

Als de lengte van de kabel langer is dan 10% van de golflengte is er sprake van een transmissielijn [1]. Uit formule (15 valt op te maken dat de communicatiekabel langer is dan 10% van het golflengtebereik (tussen de 0,7 en 10,5 meter). Hierdoor is er sprake van een transmissielijn.

[1]bron: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Transmissielijn>

VERTROUWELIJK

Bijlage V: Checklist programma van eisen en wensen

	Omschrijving	Behaald? [ja/ nee/ nog te testen]
M.1	Het uiteindelijke prototype bestaat uit minimaal: een kabelhaspel met kabel en communicatiemodules	Ja
M.2	De kabelhaspel moet te plaatsen zijn op een RH5 drone	Ja
M.3	De kabelhaspel moet uitwisselbaar zijn	Ja
M.4	De kabelhaspel is binnen 5 minuten te verwisselen	Ja
M.5	De kabelhaspel moet minimaal 200 meter kabel kunnen dragen	Ja
M.6	De data-overdracht via de kabel bedraagt minimaal 2 Mb/s bij een kabel van 200 meter of meer	Ja
M.7	De kabel mag niet in contact met de rotors komen Als de kabel van de haspel afrolt, moet deze begeleid worden	Ja
M.8	De kabelhaspel, de kabel en eventuele randapparatuur mogen gezamenlijk niet meer dan 400 gram wegen	Ja
M.9	De kabel moet bestand zijn tegen krachten die veroorzaakt worden door: - het eigen gewicht van een aantal meter kabel, - de wrijving van de haspel - onregelmatige bewegingen tijdens het vliegen	Ja
M.10	Het moment veroorzaakt door trekweerstand in de kabel mag niet meer dan 7,5 Nm bedragen om de roll en pitch van de drone	Ja
M.11	Het moment veroorzaakt door de trekkracht van de kabel mag niet meer zijn dan 0,75 Nm om de yaw van de drone	Nog te testen

VERTROUWELIJK

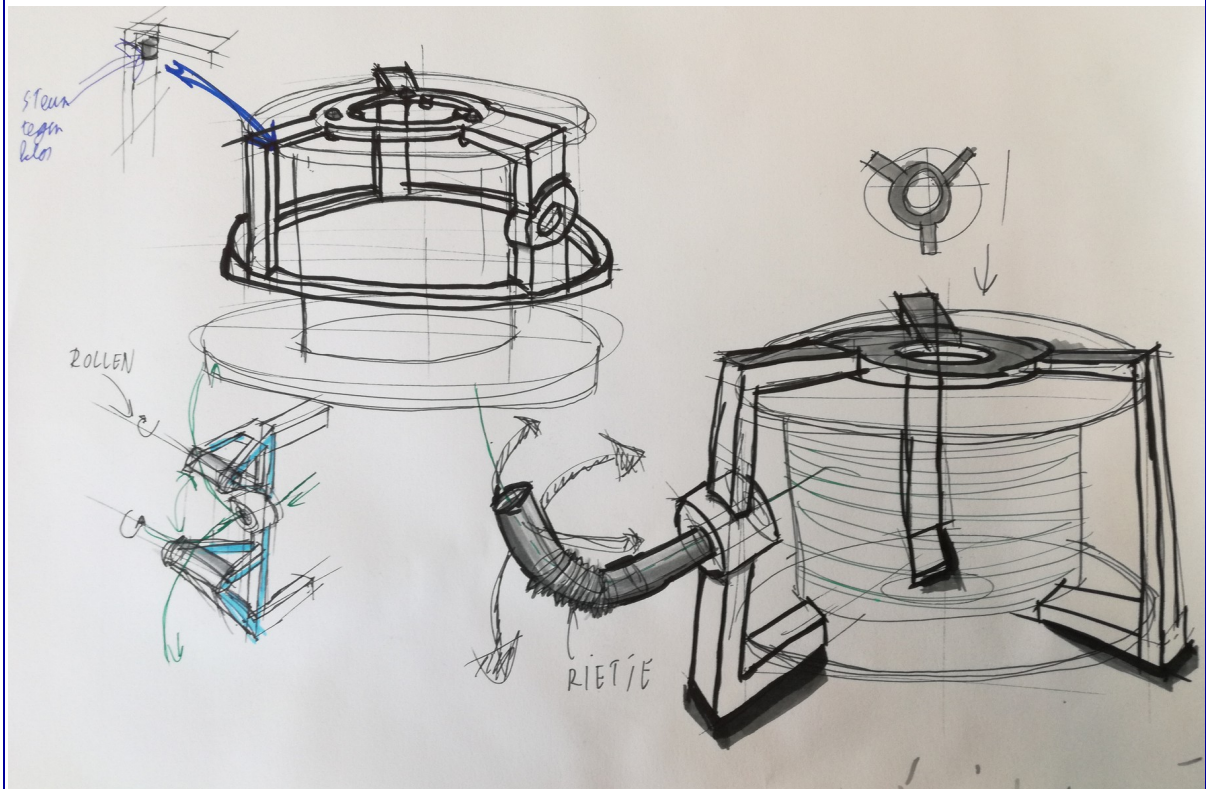
M.12	De kabel moet aan zowel de drone als aan de controller zijde voorzien zijn van een trekontlasting	Ja
M.13	Een RH5 Drone moet minimaal 5 minuten kunnen vliegen met de haspel	Ja
M.14	De kabelhaspel moet geschikt zijn voor afrollen tijdens de vlucht met een (geschatte) maximale snelheid van 2 meter per seconde en een typische snelheid van 0.5 m/s	Ja

VERTROUWELIJK

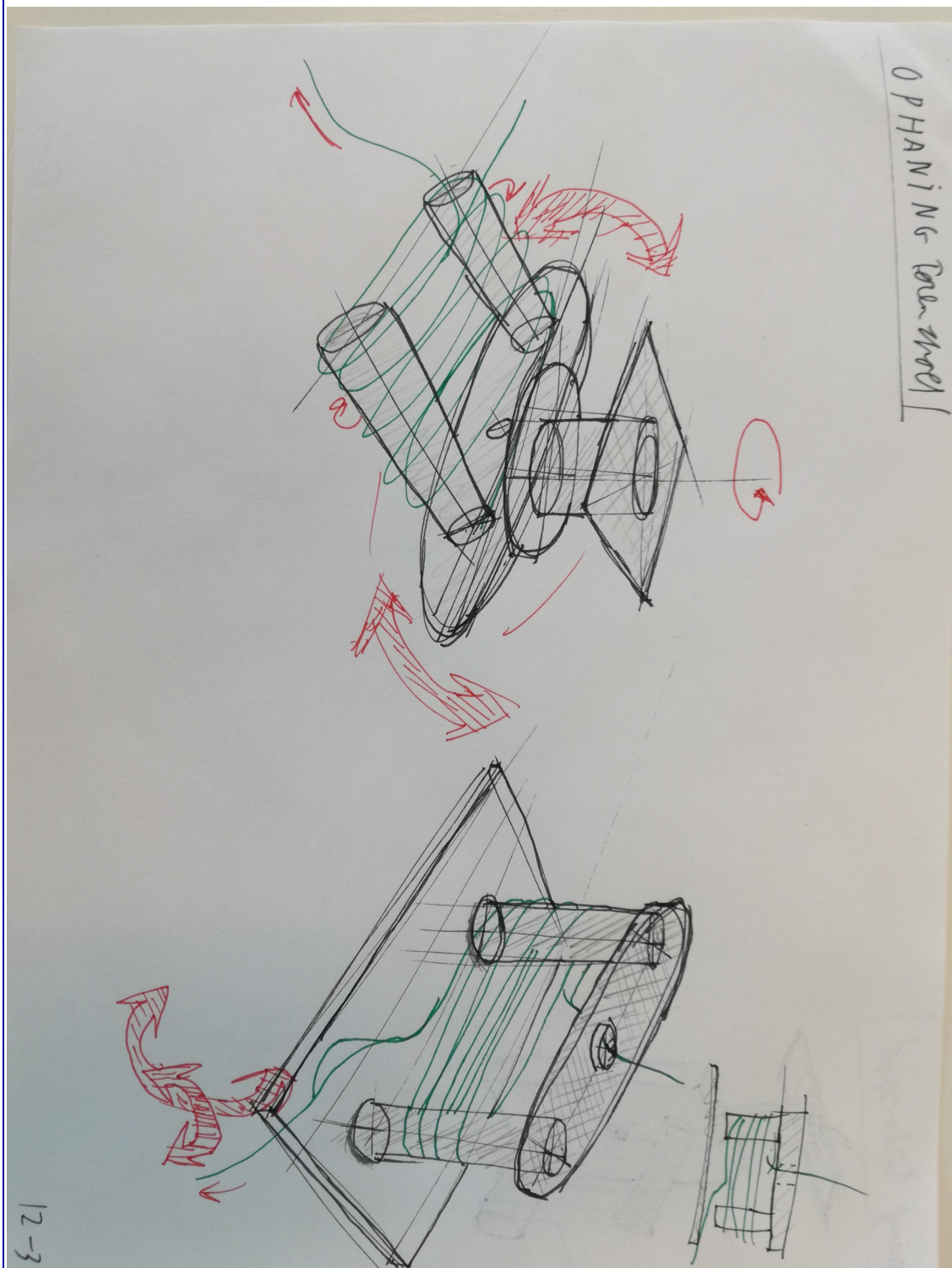
	Omschrijving wens:	Behaald? [ja/ nee/ nader te testen]
S.1	De kabelhaspel moet te vervangen zijn zonder het gebruik van gereedschap	Nee
S.2	Het zwaartepunt van de kabelhaspel moet zo dicht mogelijk bij het zwaartepunt van de drone liggen	Nader te testen
S.3	De kabelhaspel zal geplaatst worden aan de onderzijde van de drone	Ja
S.4	De communicatie via de kabel is op basis van een TCP- protocol	Ja
S.5	De kabel inclusief haspel wordt ontworpen voor eenmalig gebruik, maar zou in de testfase een aantal keer herbruikbaar moeten zijn	n.v.t.
S.6	De afrolsnelheid van de kabel moet gereguleerd worden	Ja
C.1	De kabelhaspel is inzetbaar op meerdere drones van Delft Dynamics	Ja
C.2	De drone stuurt een signaal naar de gebruiker hoeveel lijn er nog over is, of wanneer de kabelhaspel bijna leeg is	Nee
C.3	Testen van RH4 power- en communicatiekabel	Nee
C.4	De aansluiting van de kabel op de drone moet spatwaterdicht zijn (Ipx3)	Nee
C.5	Het ontwikkelen van een oplossing om de kabel terug op de kabelhaspel te rollen na een vlucht	Ja

VERTROUWELIJK

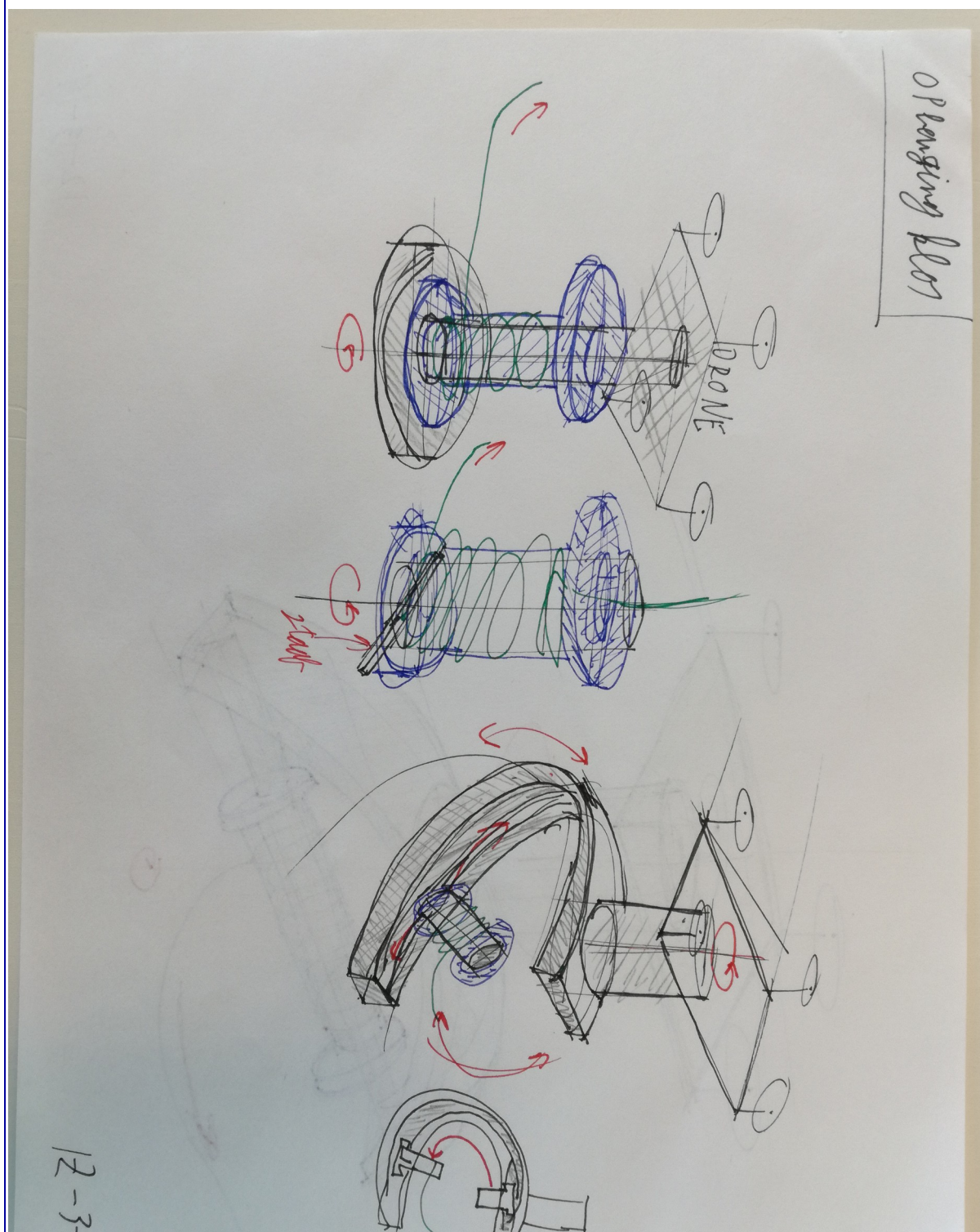
Bijlage VII: Grafisch materiaal ontwerp



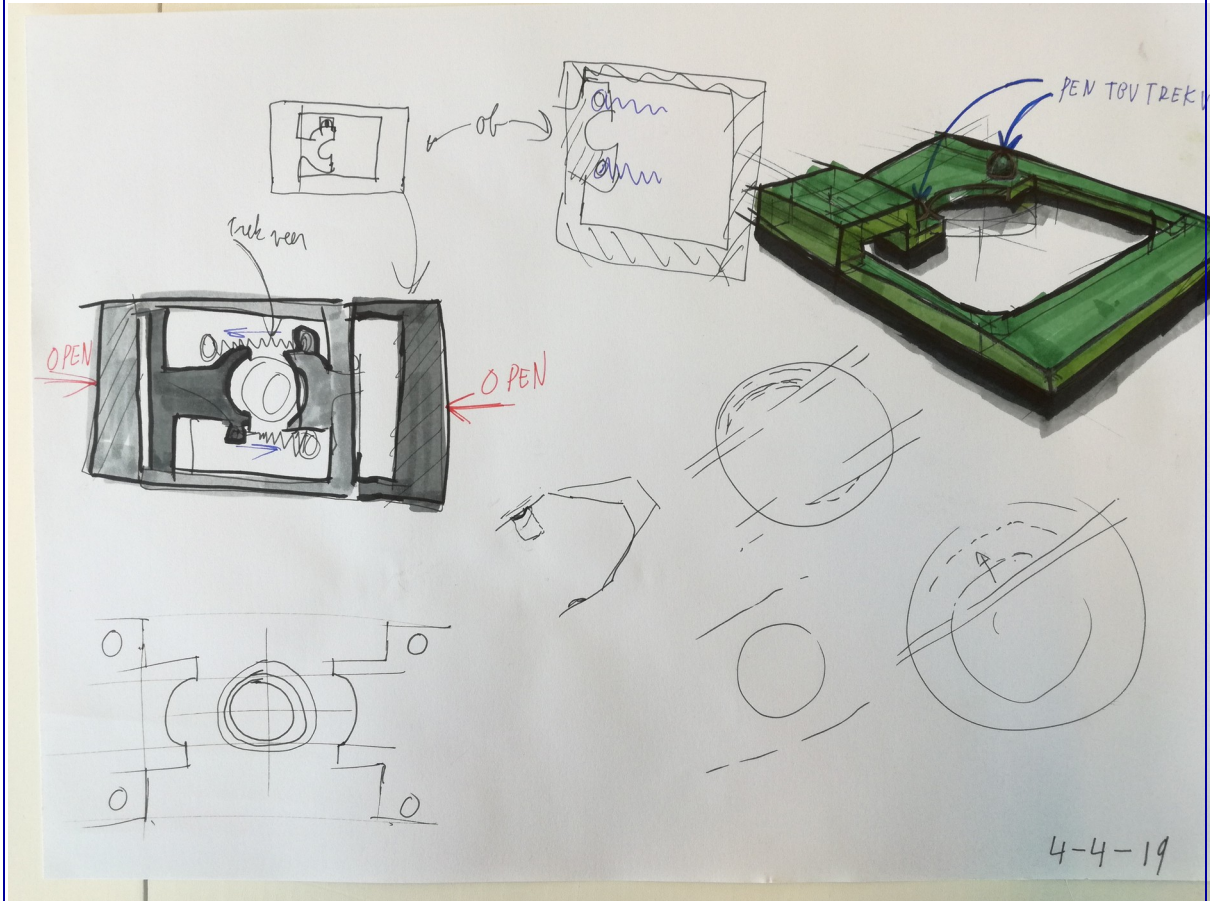
VERTROUWELIJK



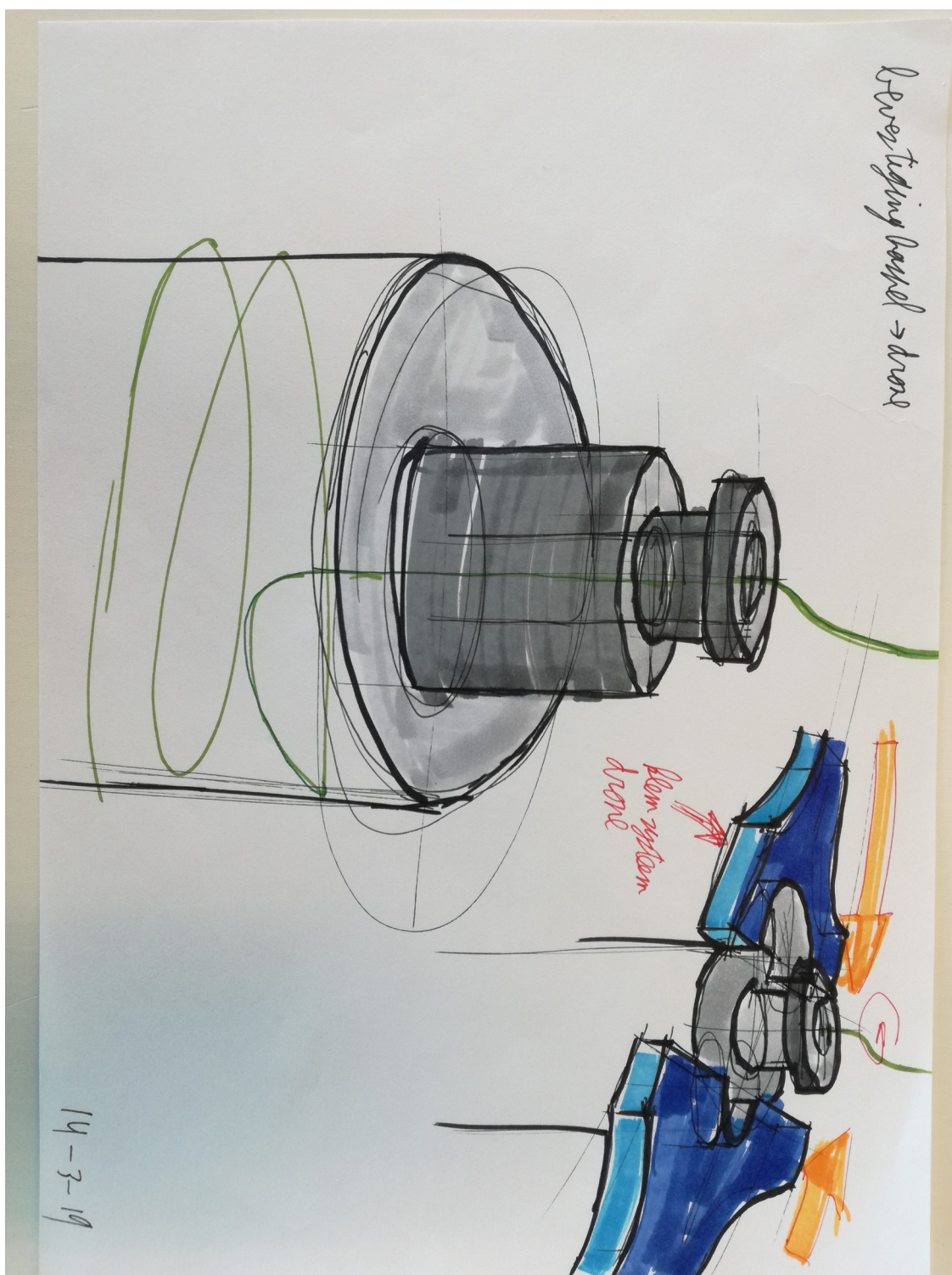
VERTROUWELIJK



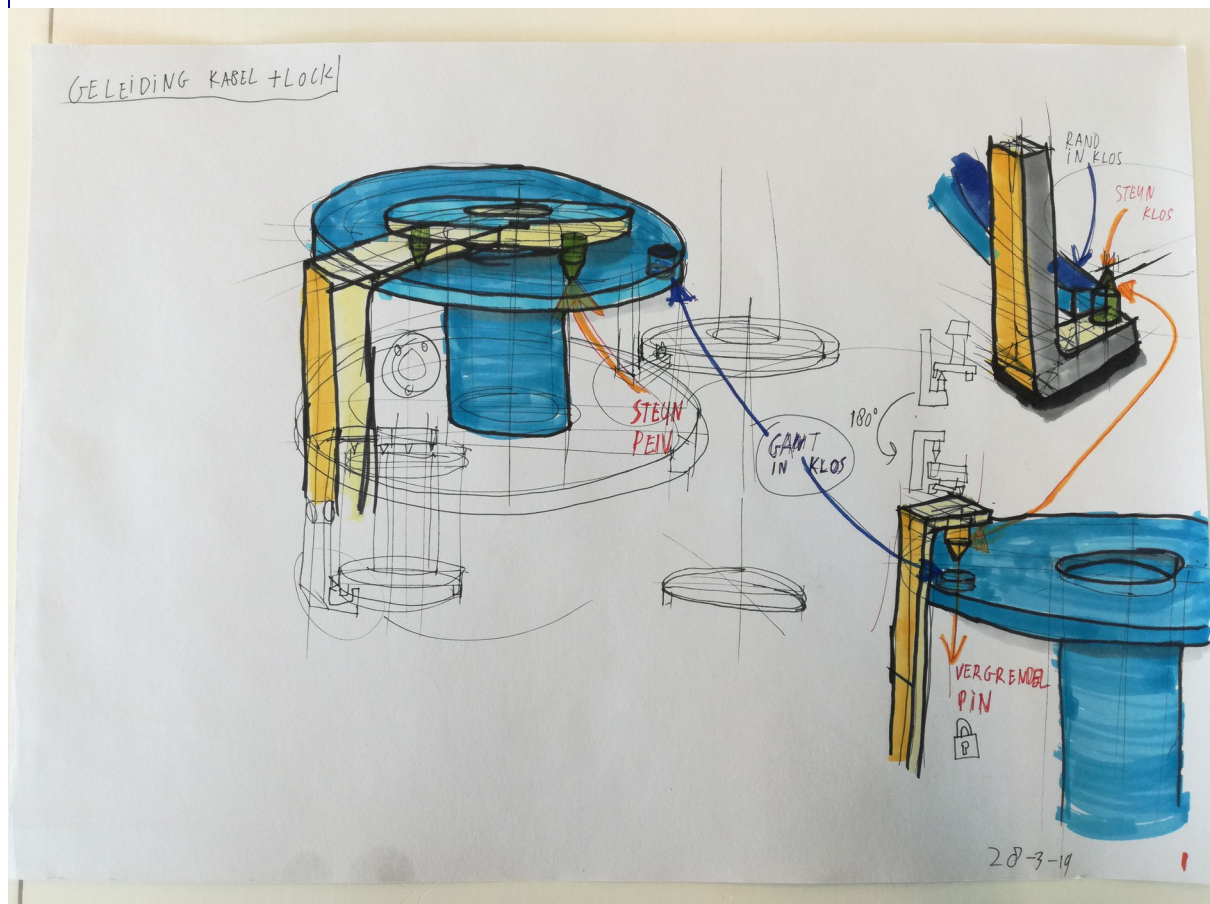
VERTROUWELIJK



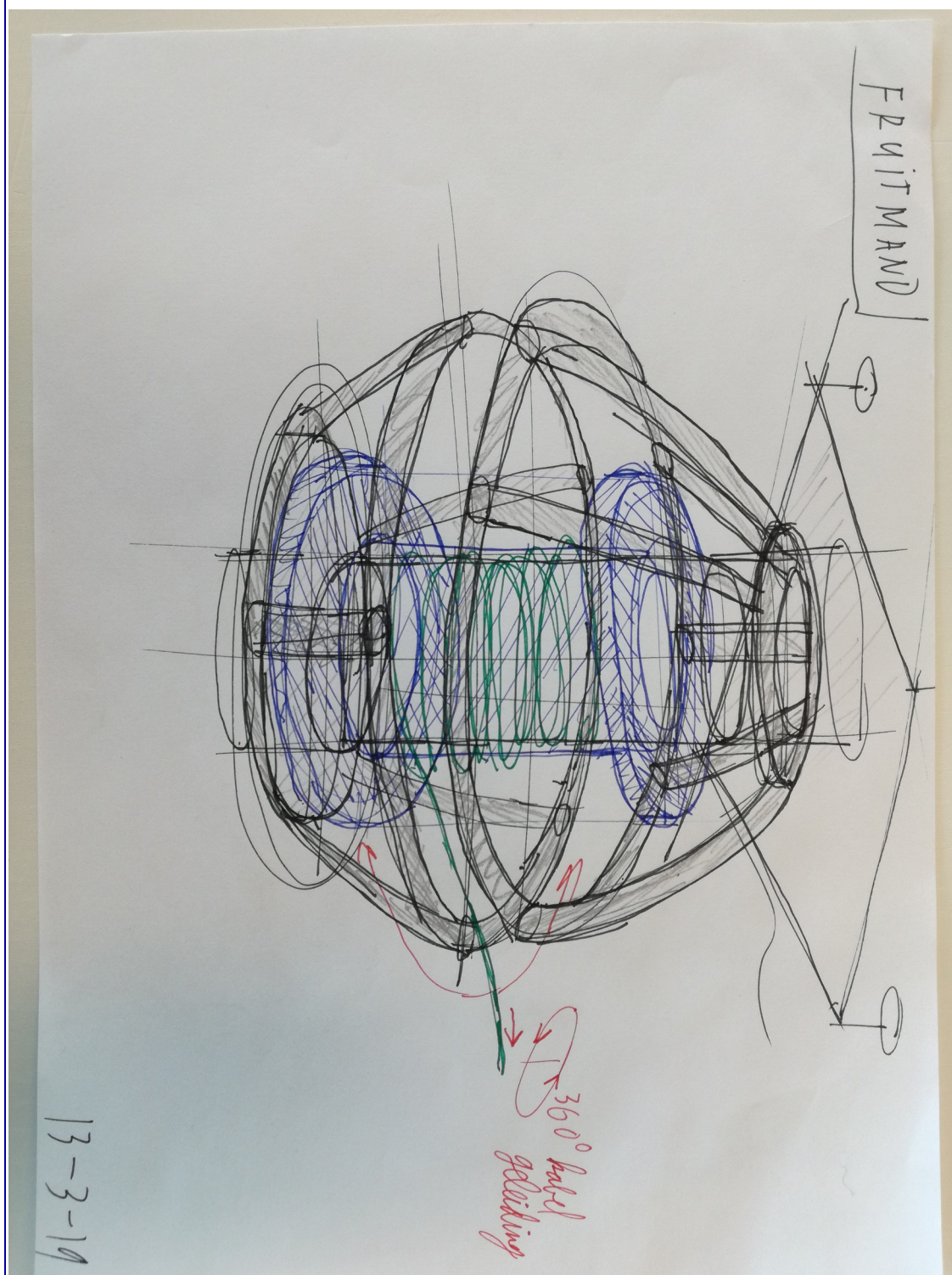
VERTROUWELIJK



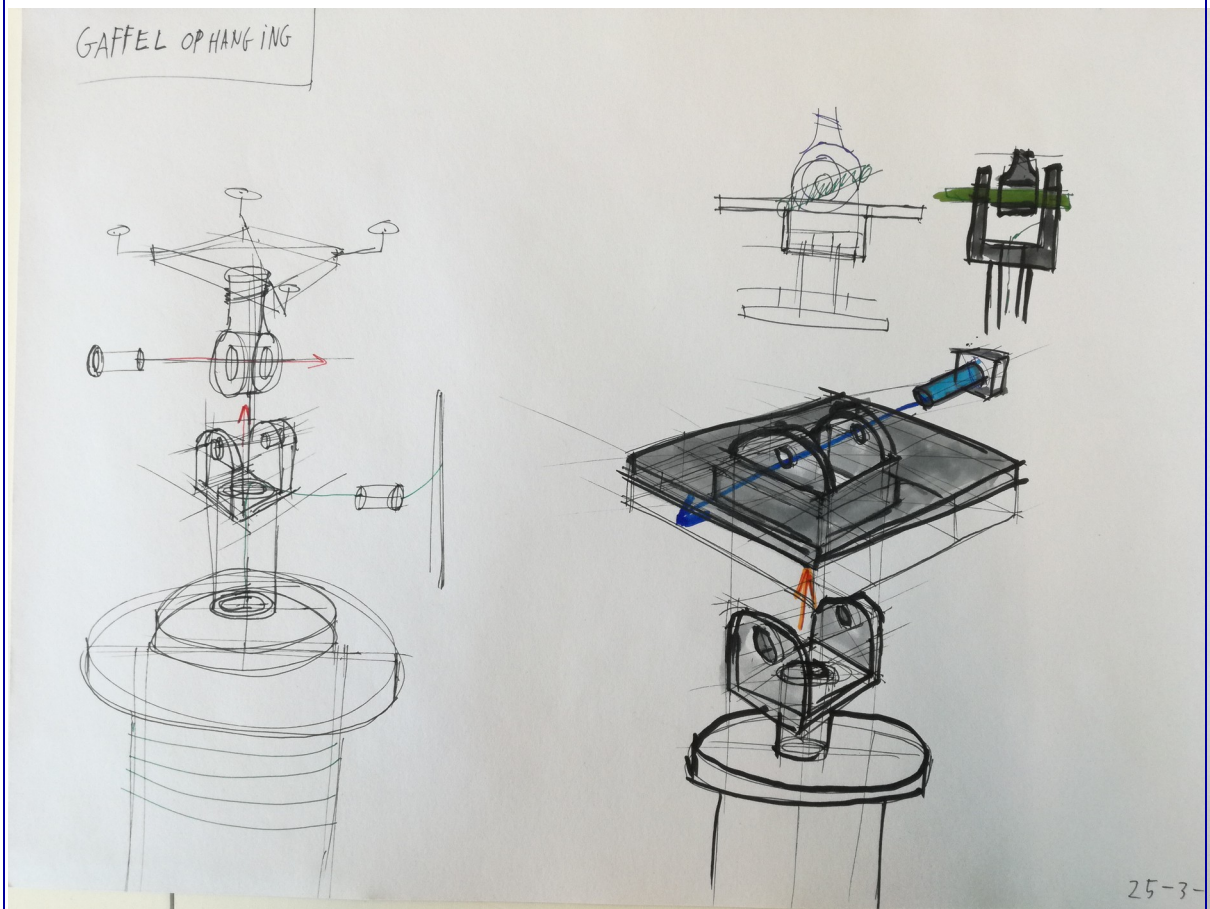
VERTROUWELIJK



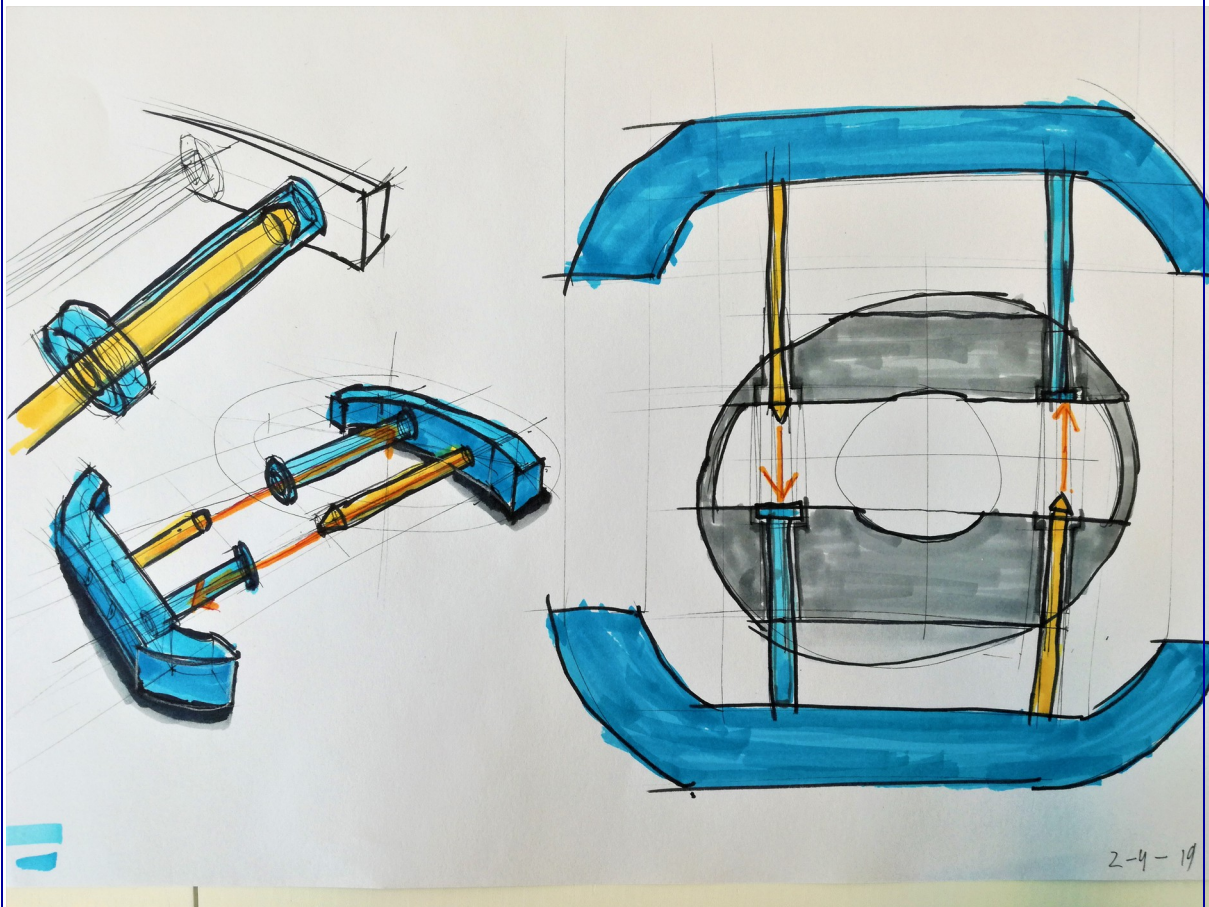
VERTROUWELIJK



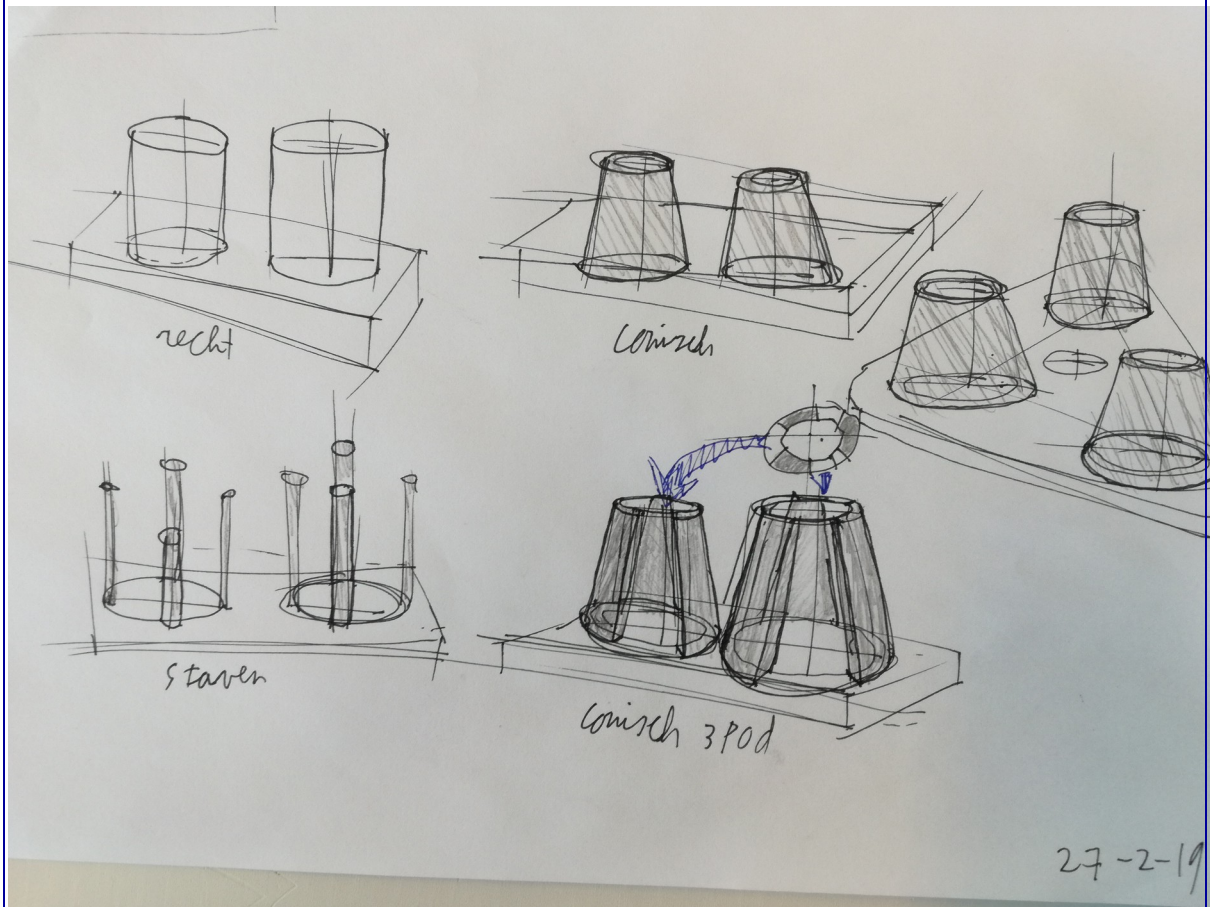
VERTROUWELIJK



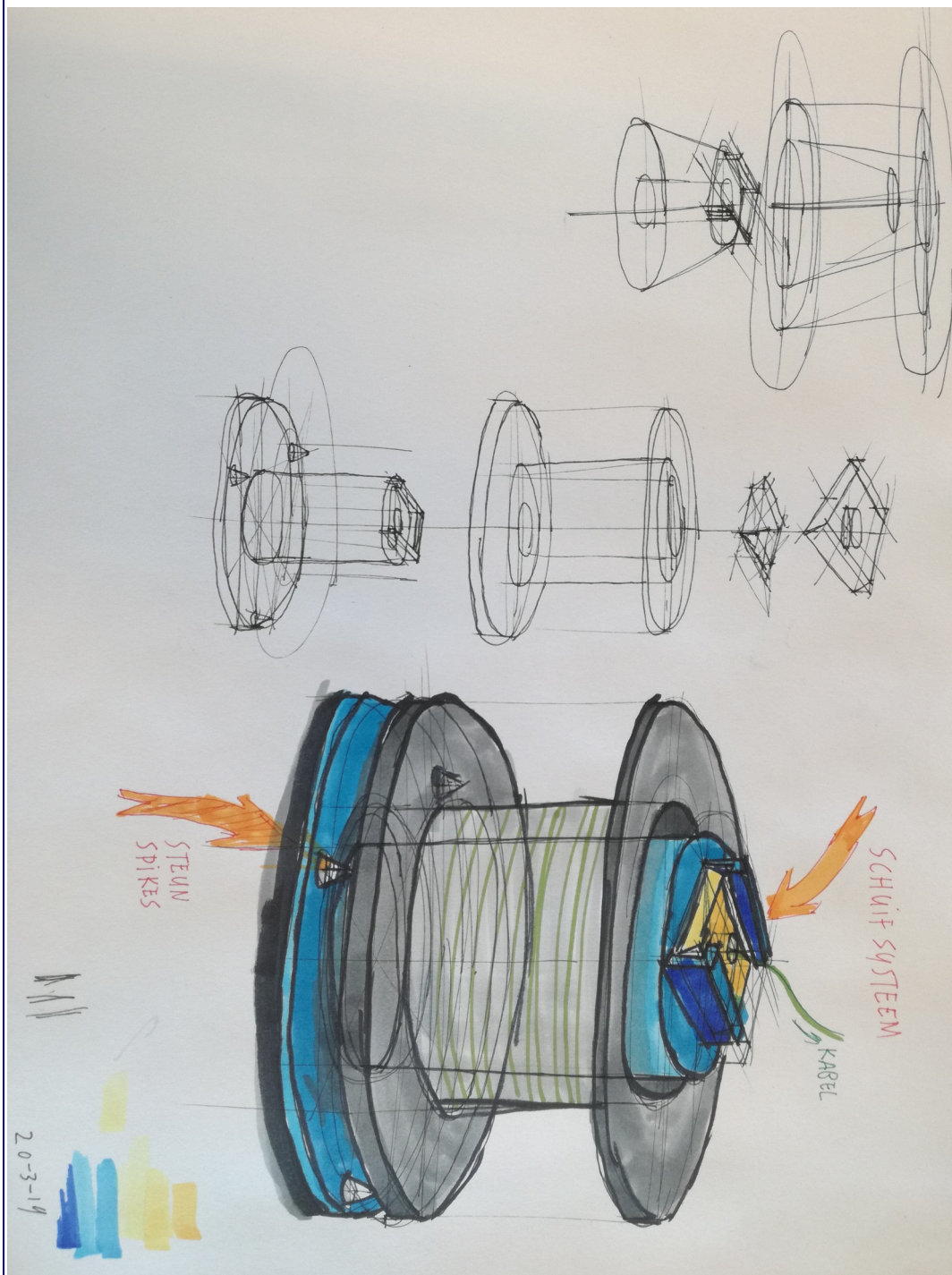
VERTROUWELIJK



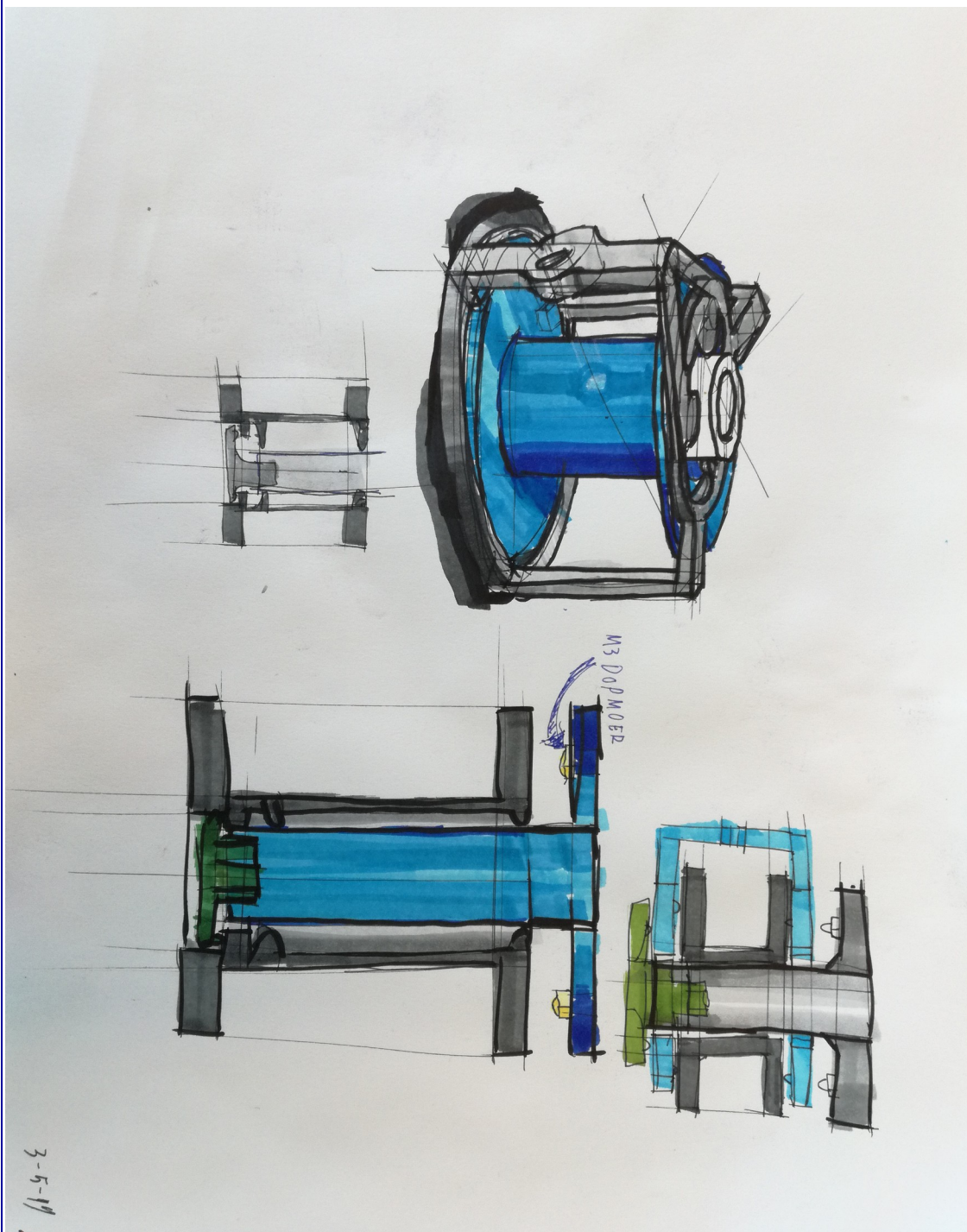
VERTROUWELIJK



VERTROUWELIJK



VERTROUWELIJK



VERTROUWELIJK

Bijlage VIII: Haspel rekentool

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
author:    Gilliam van der Burg
Student #: 14035707
Created on: Wed Feb 20 14:10:16 2019
course:
version:   V0.1
"""
import math

#=====
def Haspelloop(dh,dk,hoogte,l_gewenst):
    l_laag=0          #doorlopende waarde
    l_tot=0           #optelvariabele kabellengte
    loopcount=0       # houdt het aantal wikkelingen bij
    c=math.pi*hoogte/dk
    dh+=0.5*dk        #reken de omtrek vanuit het hart van de kabel ipv de
    rand

    while l_tot<l_gewenst :
        l_laag= c*dh   #lengte kabel op huidige laag
        dh=dh+(2*dk)   #laag kabel aangebracht op haspel verhoog haspel
        diameter
        l_tot+=l_laag  #tel de lengte vd laag op bij de som vd lengtes
        uit vorige lagen
        loopcount+=1

    if(loopcount>1):   #vereken alleen als er meer dan 1 laag op de
    haspel zit
```

VERTROUWELIJK

```
dh=dh- (2*dk)    #verekening loop

return dh, loopcount

#=====

#=====

def Bepaal_hoogte(dk,d_in_klos,d_uit_klos,l):
    #haspel breedte (of hoogte) = lengte kabel *diameter kabel /
    verschil in haspeldiameter

    s_fac=1.2      #veiligheidsfactor
    v_k=1*dk*dk    #totaalvolume kabel
    a_rond=0.25*math.pi * (math.pow(d_uit_klos,2) -
    math.pow(d_in_klos,2))
    h_klos= (v_k/a_rond)*s_fac

    h_klos=int(round(h_klos))

    return h_klos

#=====
#=====

def Bepaal_diam_tot (dk,dh, breedte,l):
    v_k=1*math.pow(dk,2)
    # de totale diameter van de haspel = ((lengte kabel *diameter
    kabel)/breedte) +diameter haspel

    tussen=v_k+(0.25*math.pi*math.pow(dh,2))
    tussen2=tussen/(0.25*math.pi)
    diam_tot=math.sqrt(tussen2)
    print(diam_tot)
```

VERTROUWELIJK


```
diam_tot= ((4*v_k)/(math.pi*breedte)) + math.pow(dh,2)
print(diam_tot)

diam_tot=math.sqrt(diam_tot)
print("diameter totaal: ", diam_tot)

return diam_tot

#=====
#=====
def Menu ():
    print("welkom bij rekentool de klos\n\n")
    print("Wilt U:\n")
    print("1. de kloshoogte bepalen adhv de buitendiameter")
    print("2. de buitendiameter bepalen adhv de kloshoogte en binnendiameter")
    print("3. Afmetingen bepalen adhv flens diameter")
    print("0. afsluiten")

    menu= int(input("Maak uw keuze: "))

    return menu

#=====
#=====
def Bereken_en_print(dk, hoogte, d_klos, D_klos, lengte_m, snelheid):
    bpl=hoogte/dk #banen per laag

    lagen=((D_klos-d_klos)/2)/dk #aantal lagen
    tot_w=bpl*lagen #totaal aantal wikkelingen
```

VERTROUWELIJK


```

t_vlucht=lengthe_m/snelheid #vluchtduur adhv kabellengte en
snelheid

rpm= (tot_w/ (t_vlucht/60)) #rotaties per minuut
D_rand_klos=D_klos+5      #diameter rand is 5 mm groter dan de
dikte
frzl_fac=1.1  #froezelfactor

print("\n\n===== RESULTAAT =====\n")
print("Lengte kabel: ",lengthe_m,"m")
print("hoogte klos: ",float(hoogte*frzl_fac),"mm")
print("diameter klos: ",d_klos,"mm")

print ("Aantal lagen:", lagen+1)
print("Banen per laag: ",bpl)
print("Aantal omwentelingen: ", tot_w)
print("Diameter incl. kabel:",float(D_klos*frzl_fac),"mm")
print("Diameter flens klos:",float(D_rand_klos*frzl_fac),"mm")
print("time of flight bij",snelheid, "m/s : " ,t_vlucht,"s")
print("rpm haspel: ", rpm,"rpm")

print("\n\n===== \n")

#=====

#=====

def main():
    dk=0.5          #diameter kabel in mm
    hoogte =35      #hoogte rol haspel in mm
    d_k_min=20*dk    #minimale diameter rol haspel in mm
    snelheid= 0.5    #snelheid van de drone [m/s]
    loopbit= 1      #blijf lopen tot hij 1 is
    length_m=200

```

VERTROUWELIJK

```
length=length_m*1000      #meters naar mm

menu=0                    #variabele voor menu
menubit=1
frzl_fac=1.1              #froezelfactor

while loopbit==1 :

    menu= Menu()

    #bepaal hoogte klos adhv diameter klos en buitendiameter
    if menu ==1:
        while menubit==1:
            d_klos=int(input("Voer de gewenste binnen klosdiameter in
[mm]: "))
            if(d_klos<d_k_min): d_klos=d_k_min #beveiliging klos
            D_klos=int(input("Voer de gewenste buiten klosdiameter in
[mm]: "))
            hoogte= Bepaal_hoogte(dk,d_klos,D_klos,length)
            Bereken_en_print(dk,hoogte,d_klos,D_klos,length_m,snelheid)

            menubit=int(input("Opnieuw? 1= ja, 0= nee,2 afsluiten: "))
            if menubit==2: loopbit=0

    #bepaal buitendiameter adhv klos diameter en hoogte
    if menu==2:
        while menubit==1:
            hoogte= int(input("Voer de gewenste klos hoogte in [mm]:
"))
            d_klos=int(input("Voer de gewenste klosdiameter in [mm]:
"))
```

VERTROUWELIJK

```
if(d_klos<d_k_min): d_klos=d_k_min #beveiliging klos
D_klos,l=Haspelloop(d_klos,dk,hoogte,length)

Bereken_en_print(dk,hoogte,d_klos,D_klos,length_m,snelheid)

menubit=int(input("Opnieuw? 1= ja, 0= nee,2 afsluiten: "))
if menubit==2: loopbit=0

#bepaal afmetingen klos adhv diameter flens
if menu==3:
    while menubit==1:
        D_flens_klos=int(input("Voer de gewenste flensdiameter in
[mm]: "))
        delta_flens=int(input("voer de afstand tussen de rand en
de buitendiameter in[mm]: "))
        d_klos=int(input("Voer de gewenste binnen klosdiameter in
[mm]: "))
        if(d_klos<d_k_min): d_klos=d_k_min #beveiliging klos
        D_klos=D_flens_klos-(2*delta_flens)
        hoogte= Bepaal_hoogte(dk,d_klos,D_klos,length)

        bpl=hoogte/dk #banen per laag
        lagen=((D_klos-d_klos)/2)/dk #aantal lagen
        tot_w=round(bpl*lagen,1) #totaal aantal wikkelingen
        t_vlucht=length_m/snelheid #vluchtduur adhv kabellengte
en snelheid
        rpm= round(tot_w/ (t_vlucht/60),1) #rotaties per minuut
        print("\n\n===== RESULTAAT =====\n")
        print("Lengte kabel: ",length_m,"m")
        print("hoogte klos: ",hoogte,"mm")
        print("diameter klos: ",d_klos,"mm")
```

VERTROUWELIJK

```
        print("Diameter incl. kabel: ",D_klos,"mm")
        print("Diameter flens klos:",D_flens_klos,"mm")
        print("Aantal lagen:", lagen+1)
        print("Banen per laag: ",bpl)
        print("Aantal omwentelingen: ", tot_w)
        print("time of flight bij",snelheid, "m/s :
",t_vlucht,"s")
        print("rpm haspel: ", rpm,"rpm")

        print("\n=====\\n")

        menubit=int(input("Opnieuw? 1= ja, 0= nee,2 afsluiten:
"))
        if menubit==2: loopbit=0

        menu=0
        menubit=1

        if(loopbit==1): loopbit=int(input("andere berekening? 1= ja, 0=
nee"))

        print("einde rekentool")
#=====
        main()
```

VERTROUWELIJK