

# Smartphone Drifters

Integratie van een smartphone RTK-GPS systeem in een drifter



# Smartphone Drifters

Integratie van een smartphone RTK-GPS systeem in een drifter

Door:

J.S. van der Voorn

TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Begeleider: M. van den Berg TU Delft  
2<sup>de</sup> begeleider: C.C.J.M. Tiberius TU Delft

## Begrippenlijst

<b>Afkorting</b>	<b>Betekenis</b>
ABS	Acrylonitril-butadien-styreen
GDP	Global Drifter Program
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PE	Polyetheen
PLA	Polyactide (Polymelkzuur)
PVC	Polyvinylchloride
RTK	Real Time Kinematic
RVS	Roestvrij staal
SLS	Selective Laser Sintering

## Voorwoord

Dit ontwerprapport is geschreven in het kader van het bachelor eindwerk voor de studie Civiele Techniek aan de TU Delft. In dit rapport ligt de focus op de integratie van een RTK-GPS smartphone systeem in een nieuw te ontwerpen drifter. Dit ontwerprapport is bedoeld voor studenten en andere geïnteresseerden met een civiel technische achtergrond. Geïnteresseerden in de conceptontwerpen kunnen de informatie vinden in hoofdstuk 4. Het definitieve ontwerp en de bijbehorende testen staan in hoofdstuk 6 en 7.

Graag wil ik mijn begeleiders M. van den Berg en C.C.J.M Tiberius bedanken voor de ondersteuning tijdens het project. De wekelijkse ontmoetingen en de beschikbaarheid voor vragen doordeweeks hebben mij geholpen om niet stil te staan wanneer een probleem opkwam. Hierdoor kon ik continue aan het verslag door blijven werken.

J.S. van der Voorn

Haarlem, Juni 2021

## Samenvatting

Met de ontwikkeling van een RTK-GPS smartphone systeem kunnen bruikbare metingen met hoge nauwkeurigheid veel goedkoper uitgevoerd worden dan eerder het geval was. De ontpoldering van de Hedwigepolder biedt de mogelijkheid om verschillende experimenten uit te voeren waarbij ook de watersnelheid gemeten dient te worden. Het nieuwe GPS systeem kan hierbij helpen door het in een drifter te plaatsen die met de watersnelheid meebeweegt. Een drifter die gebruik maakt van deze toepassing bestaat echter nog niet. Het doel is dan ook om een lichtgewicht, handbare drifter te ontwerpen die het RTK-GPS smartphone systeem zo goed mogelijk integreert. Hiertoe dient eerst een analyse uitgevoerd te worden over drifters waarna verschillende conceptontwerpen gemaakt en getest kunnen worden. Aan de hand van deze testresultaten kan een definitief ontwerp gemaakt worden. Het ontwerp van de drifter dient te voldoen aan een Programma van Eisen. Zo mogen alle materialen samen niet meer kosten dan 1000 euro, dient de drifter rond de 5 kg te wegen en moet de drifter waterdicht worden gemaakt. Ook moet de drifter makkelijk te gebruiken zijn, waardoor de drifter niet compleet dichtgeschroefd of gelijmd kan worden, maar van een makkelijk te openen sluiting voorzien moet zijn.

Voor het maken van de conceptontwerpen moeten de vorm, materialen en wijze van afsluiting gekozen worden. Vanwege de lage weerstandscoefficiënt en de makkelijke gewichtsverdeling voor de stabiliteit zijn een bol en ellipsoïde de beste keuze om als basisvorm te gebruiken voor de drifter. Daarnaast kan kunststof het best gebruikt worden als materiaal voor het omhulsel. Niet alleen is het een stuk lichter dan metaal, ook verstoord kunststof het signaal van de antenne in de drifter niet. Voorbeelden van mogelijk te gebruiken kunststoffen zijn PE, PVC, ABS en PLA. Vanwege de kosteneis van 1000 euro voor het gehele project kunnen enkel prefab en 3D geprinte onderdelen gebruikt worden. Om de concepten waterdicht te maken wordt een hals, voorzien van schroefdraad, op de bol gemaakt waar een deksel op vastgedraaid kan worden. Zo kan de drifter makkelijk geopend worden. De hals en dop worden 3D geprint van PLA. Om de drifter een juiste diepteligging te geven zal deze opgevuld worden met een laag cement. Het conceptontwerp dat getest wordt bestaat verder uit een PE bol als basisvorm.

De drifter is getest op stabiliteit, sterkte van de lijm en hechting van cement. De drifter is redelijk stabiel in het water en slaat niet om. Uit de concepttesten is ook gebleken dat de PLA hals niet met voldoende sterkte op de bol gelijmd kan worden. Een nieuwe hals zal dus ontworpen moeten worden waarbij een rand toegevoegd wordt zodat de hals met bouten en moeren aan de bol bevestigd kan worden. De hals zal afgewerkt worden met een kitrand om te zorgen voor een waterdichte verbinding. Het cement hecht goed en zal daarom ook als opvulling gebruikt worden in het definitieve ontwerp.

Uit de test met het definitieve ontwerp blijkt dat de hals niet waterdicht is doordat via het schroefdraad water de bol in kan stromen. De stabiliteit van de drifter en de sterkte van het schroefdraad voldoen wel. Om de drifter bij een volgend ontwerp waterdicht te maken moet een o-ring geplaatst worden in de daarvoor ontworpen groef in de hals. Daarnaast dient een siliconen pakking aangebracht te worden tussen de halsrand en de bol als extra zekerheid voor de waterdichtheid. Het is ook mogelijk om de complete bol 3D te printen, al moet de buitenrand dan wel voorzien worden van een laag epoxy-hars om eventuele kleine gaatjes op te vullen.

Een vervolgonderzoek kan uitgevoerd worden waarin de RTK-GPS toepassing wordt getest in de drifter. Zo kan getest worden onder welke hoeveelheid water de antenne nog signaal heeft en wat de ideale diepteligging voor een goede meevoering van de drifter in het water is.

# Inhoudsopgave

Begrippenlijst .....	ii
Voorwoord .....	iii
Samenvatting .....	iv
1. Inleiding.....	1
1.1 Achtergrond .....	1
1.2 Aanleiding .....	1
1.3 Doelstelling .....	1
1.4 Leeswijzer.....	2
2. Analyse .....	3
2.1 Toepassing huidige drifters.....	3
2.2 Opbouw huidige drifters.....	3
2.3 Nieuwe toepassing: RTK-GPS smartphone systeem .....	3
3. Programma van Eisen .....	5
3.1 Randvoorwaarden.....	5
3.1.1 Kosteneis .....	5
3.1.2 Fysieke eisen .....	5
3.1.3 Functionele eisen:.....	6
3.1.4 Bediening eisen .....	6
3.1.5 Productie eisen .....	7
3.2 Gebruikerswensen .....	7
4. Concept ontwerpen .....	8
4.1 Analyse conceptontwerpen .....	8
4.1.1: Vorm en dimensies .....	8
4.1.2 Materiaalkeuze .....	9
4.1.3 Waterdichte afsluiting.....	11
4.2 Uitwerking conceptontwerpen .....	11
4.2.1 PE bol variant .....	12
4.2.2 3D print variant .....	13
5. Toetsing van de concepten .....	14
5.1 Testmethodes .....	14
5.2 Testresultaten .....	14
5.2.1 Stabiliteitstest .....	14
5.2.2 PE lijm en kit test.....	15
5.2.3 Waterdichtheidstest materialen.....	16
5.2.4 Cement test.....	17

5.2.5 Krachttest dop.....	17
6. Uitwerking definitief ontwerp .....	18
6.1 Opbouw van definitieve drifterontwerp.....	18
6.2 Realisatie drifterontwerp.....	20
7. Testen van de drifter.....	21
7.1 Uitvoering test .....	21
7.2 Testresultaten .....	21
7.2.1 Stabiliteitstest .....	21
7.2.2 Waterdichtheidstest .....	22
7.2.3 Trekproef deksel .....	22
8. Conclusie en aanbevelingen .....	23
8.1 Conclusie.....	23
8.2 Discussie.....	23
8.3 Vervolgonderzoeken .....	23
Bibliografie .....	25
Appendix A1: Toepassingen huidige drifters .....	27
Appendix A2: Opbouw huidige drifters .....	29
A2.1 Vorm en dimensies .....	29
A2.2 Materiaal.....	30
A2.3 Waterdichtheid.....	31
A2.4 Handbaarheid .....	31
Appendix B: Afmetingen en gewicht meetapparatuur .....	32
Appendix C: Formule volumeberekening bol .....	34
Appendix D: Bol uitwerking berekening .....	35
Appendix E: Testmethodes conceptontwerp .....	37
Appendix F: Stappenplan realisatie definitief drifterontwerp.....	46
Appendix G: Testmethodes definitief ontwerp .....	54

# 1. Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Decennia lang worden al metingen uitgevoerd om de stroomsnelheid en richting van het water te kunnen bepalen. Het meten van stroomsnelheden kan met behulp van objecten die meedrijven met de stroming van het water, zogenaamde drifters. Bij de eerste drifters, simpele drijvende objecten, werd de tijd over een traject gemeten door visuele waarnemingen (Schofield et al., 2019). Door de ontwikkeling van satelliet navigatie systemen met een wereldwijde dekking (GNSS) is het mogelijk geworden deze technologie toe te passen om de positie van drifters in de oceaan te bepalen. Naast GNSS ontvangers worden ook sensoren om zeevatertemperatuur en luchtdruk te meten toegevoegd aan huidige drifters. Met deze kennis kunnen onder andere betere modellen voor weersvoorspellingen worden gemaakt (Schofield et al., 2019). Naast drifters die met de stroming meedrijven zijn boeien, die aan de zeebodem vastzitten, ook drifters. Metingen met behulp van simpele GNSS ontvangers zijn niet altijd even nauwkeurig. Daarom is RTK-GPS ontwikkeld. RTK-GPS maakt ook gebruik van de fase van de satellieten waardoor de metingen preciezer zijn. Een referentie ontvanger is echter wel nodig voor het gebruik van RTK-GPS, wat het duurder maakt (Teunissen & Montenbruck, 2017, p. 15).

## 1.2 Aanleiding

Om de plaatsbepaling van drifters nog nauwkeuriger te maken biedt RTK-GPS dus een goede toepassing. De metingen zijn niet alleen tot op enkele centimeters nauwkeurig, ook is bij het gebruik van de RTK toepassing de data direct zichtbaar en bruikbaar. Wegens de aanstaande ontpoldering van de Hedwigepolder, op de grens van Nederland en België, is het mogelijk geworden om proeven met de te verwijderen dijk uit te voeren. Bij één van deze proeven zal er een bres in de dijk worden gemaakt waarbij gekeken wordt naar de invloed van aanwezig schor op de bresontwikkeling. Sensoren of andere objecten statisch in het water plaatsen om zo de watersnelheid te meten zal de watersnelheid dusdanig beïnvloeden dat de metingen hierdoor geen correcte weergave van de werkelijkheid zullen zijn. Drifters die met de stroming mee drijven zullen nauwkeurigere metingen geven. De watersnelheid zal dus gemeten worden met een nieuw te ontwerpen, compacte drifter aangezien de huidige beschikbare drifters vaak te groot, te zwaar en te duur zijn. Deze drifter zal gebruiken maken van een smartphone RTK-GPS systeem. Waar drifters tegenwoordig zeer geavanceerd zijn en voor veel verschillende toepassingen gebruikt kunnen worden, is een smartphone RTK-GPS systeem nog weinig getest. Dit systeem zorgt voor nauwkeurige metingen terwijl het veel goedkoper is dan drifters die momenteel door bedrijven verkocht worden.

## 1.3 Doelstelling

Het doel van dit ontwerprapport is het realiseren van een handbare, lichtgewicht drifter die het smartphone RTK-GPS systeem zo goed mogelijk integreert. Om tot een juist ontwerp te komen zal de focus op de volgende hoofdvraag liggen: Welk drifterontwerp zorgt voor de beste integratie van het RTK-GPS smartphone systeem? Hierbij komen de volgende deelvragen naar voren: Welke materialen, dimensies, vormen en verbindingselementen zorgen voor de beste combinatie tussen drijfvermogen, stabiliteit en waterdichtheid voor de drifter? Hoe gedraagt de drifter zich in de praktijk met het geïntegreerde smartphone RTK-GPS systeem? Welke omgevingsfactoren hebben invloed op de nauwkeurigheid van de drifter? Wat is de beste manier om het systeem in te zetten en data te verkrijgen? Door middel van het uitvoeren van verschillende testen die antwoord zullen geven op deze vragen zal een passend ontwerp tot stand komen.



#### 1.4 Leeswijzer

Het ontwerprapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk twee worden de toepassingen van bestaande drifters geanalyseerd, even als de veranderingen die doorgevoerd dienen te worden om het nieuwe drifter ontwerp werkbaar te maken. Hoofdstuk drie benoemt het Programma van Eisen voor de drifter. De conceptontwerpen worden in hoofdstuk vier behandeld en de testresultaten van de concepten in hoofdstuk vijf. Vervolgens wordt het hoofdontwerp uitgewerkt in hoofdstuk zes met de testresultaten hiervan in hoofdstuk zeven. Als laatste volgt de conclusie.

## 2. Analyse

Om tot een passend ontwerp te komen zal eerst aandachtig naar de toepassingen en opbouw van huidige drifters gekeken worden. Met deze kennis is het mogelijk om een betere afweging te maken tussen de in hoofdstuk 4 behandelde conceptontwerpen, doordat verschillende aspecten van huidige drifters samengevoegd kunnen worden.

### 2.1 Toepassing huidige drifters

Kennis over de huidige toepassingen van drifters is noodzakelijk om een overzicht te krijgen waarvoor ze gebruikt kunnen worden. Een uitgebreide behandeling van de verschillende toepassingen is terug te vinden in Appendix A1.

### 2.2 Opbouw huidige drifters

Om tot een passend ontwerp te komen is het ook van belang om de opbouw van huidige drifters te bestuderen. Delen van een ontwerp die voor verschillende toepassingen goed werken kunnen deels in de nieuw te ontwerpen drifter worden geïntegreerd. Daarnaast kan ook geleerd worden van eerder gemaakte fouten bij drifterontwerpen. De focus zal liggen op de vorm en dimensies van de drifter, evenals het materiaal waarvan het gemaakt is. Verder wordt gekeken naar de manier waarop de drifter waterdicht wordt gemaakt en naar de handbaarheid van de drifter. Hiermee wordt bedoeld hoe het inzetten en terughalen van het meetinstrument zo makkelijk mogelijk gaat. Aangezien de te ontwerpen drifter voornamelijk positiebepalingen doormiddel van een GNSS ontvanger zal verrichten wordt de focus bij de opbouw ook gericht op deze toepassing. De uitgevoerde analyse op de opbouw van de huidige drifters is terug te vinden in Appendix A2.

### 2.3 Nieuwe toepassing: RTK-GPS smartphone systeem

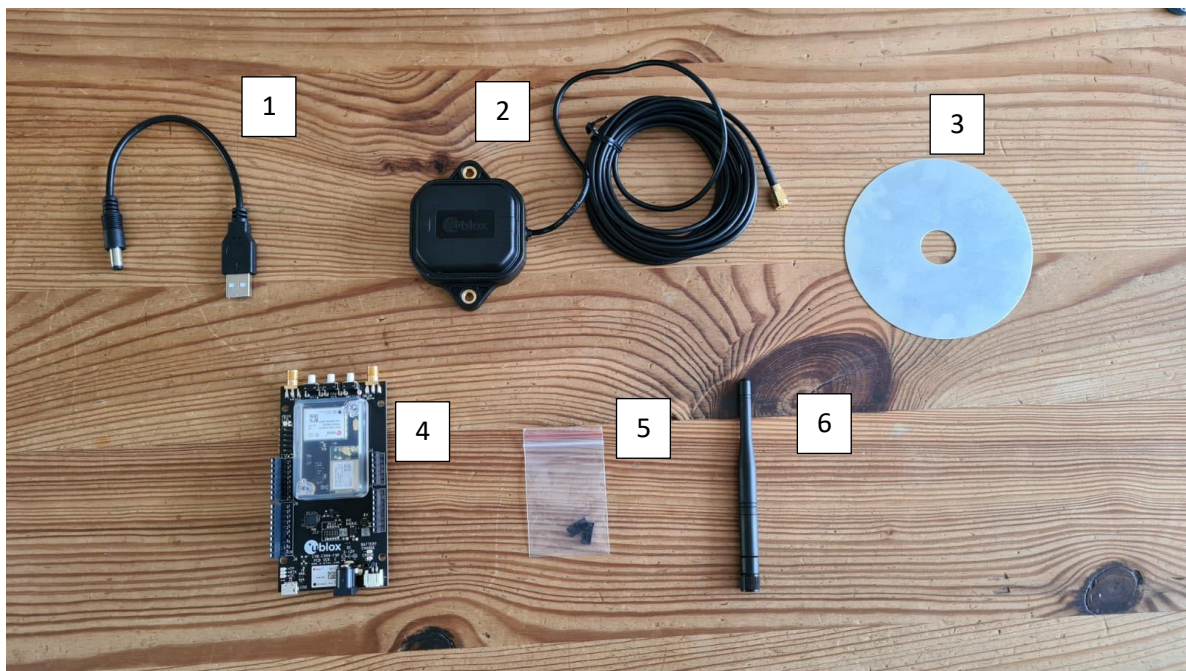
Het RTK-GPS systeem waar gebruik van zal worden gemaakt is het CO99-F9P application board van U-blox (U-blox, n.d.). De inhoud van het pakket is te zien in figuur 2.1 en bestaat uit:

1. Voedingskabel met USB aansluiting
2. ANN-MB GNSS antenne
3. Metalen 'ground plane' plaatje
4. CO99-F9P (RTK-GPS) application board
5. Twee jumpers
6. Bluetooth/Wi-Fi antenne

De GNSS antenne en ZED-F9P module hebben een multi-band toepassing, waardoor zij signalen van meerdere systemen kunnen ontvangen. Hierdoor wordt de nauwkeurigheid van de metingen vergroot. De module heeft een frequentie van 10 Hz waardoor er elke seconde 10 metingen plaatsvinden. De antenne zal met de kabel verbonden worden aan het board. Het metalen plaatje is bedoeld om onder de antenne geplaatst te worden. Het blokkeert multipath signalen van onder de antenne. Multipath is het effect dat niet alleen de radiogolven van de ontvanger naar de satelliet worden opgepikt, maar ook gereflecteerde radiogolven (Teunissen & Montenbruck, 2017, p. 443). De antenne bevat magneten waardoor het plaatje makkelijk aan de antenne vast blijft zitten. De twee jumpers zijn bedoeld om het elektrische circuit van het board aan te passen. De module heeft de mogelijkheid tot het direct verzenden van de metingen via bluetooth of WiFi, maar ook tot het opslaan van de gegevens op de smartphone zodat deze achteraf verwerkt kunnen worden. Een correctiesignaal voor de metingen wordt verkregen van een nabijgelegen basis station. De toepassing voor het direct verwerken van het correctiesignaal voor de positiebepaling wordt Real Time Kinematic (RTK) genoemd (Teunissen & Montenbruck, 2017, p. 15). Voor het achteraf verwerken van de metingen wordt de term Post Processing Kinematic (PPK) gebruikt. Het voordeel

van het gebruik van RTK is dat de gecorrigeerde data gelijk te zien. Dit is tijdens de testfase van de drifter ook een voordeel zodat de drifter niet na elke test opengemaakt moet worden om de data uit te kunnen lezen. Het voordeel van PPK is dat er voor toepassingen in het veld geen internet verbinding nodig is om metingen uit te voeren. Eventueel verlies van de internet verbinding tijdens de proef zal dus niet resulteren in blanco metingen. Daarnaast zijn metingen met PPK vaak ook nauwkeuriger (Tiberius, 2020). Bij plaatsing van de module in de drifter dient niet alleen rekening gehouden te worden met gewichtsverdeling, maar ook met de positie waarop de antenne voor de meest nauwkeurige metingen zal zorgen. Vanwege multipath effecten door het water zal de meest gunstige positie hiervoor precies op het wateroppervlak zijn, om reflectie van signalen met het water te voorkomen. Door schommeling van de drifter en door golven is het echter beter om de antenne enkele centimeters boven het wateroppervlak te plaatsen. Hoeveel centimeter ideaal is zal onderzocht moeten worden.

Bovenstaande meetapparatuur zal waterdicht in de drifter verwerkt moeten worden. De drifter dient dus groot genoeg te zijn zodat genoeg ruimte is binnen het omhulsel, maar de maximale dimensies van de drifter zullen ook beperkt zijn. Verdere vereisten voor het drifter ontwerp zullen in het Programma van Eisen in hoofdstuk 3 behandeld worden.



Figuur 2.1: Onderdelen uit het U-blox RTK-GPS pakket.

## 3. Programma van Eisen

Om het RTK-GPS smartphone systeem zo optimaal mogelijk te integreren in de drifter, zal er voordat een start met de conceptontwerpen wordt gemaakt, een Programma van Eisen opgesteld moeten worden. Hier komen niet alleen eisen in te staan waar de drifter aan moet voldoen, maar ook wensen van de opdrachtgever.

### 3.1 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zijn de eisen waar de drifter zo goed als mogelijk aan moet voldoen. De eisen worden onderverdeeld in vijf verschillende categorieën: Kosteneis, Fysieke eisen, Functionele eisen, Bediening eisen en Productie eisen.

#### 3.1.1 Kosteneis

De totale kosten voor de RTK-GPS apparatuur, materialen voor conceptontwerpen van de drifter en het definitieve ontwerp hebben een maximum van 1000 euro. Hier zal rekening mee gehouden moeten worden bij de materiaalkeuze en de manier waarop de onderdelen van de drifter geproduceerd worden.

#### 3.1.2 Fysieke eisen

##### **Gewicht:**

Het gewicht van de drifter dient rond de 5 kg te liggen. Zo kan de drifter niet alleen makkelijk vervoerd worden, maar ook makkelijk in het water uitgezet en teruggehaald worden. De drifter dient, afhankelijk van de afmetingen, niet veel lichter te worden doordat dan de invloed van wind op de drifter toeneemt. Daarnaast moet de drifter ook niet te zwaar worden waardoor de diepteligging te groot is en de GNSS antenne vaak onder het wateroppervlak komt.

##### **Dimensies:**

De afmetingen van de drifter zijn beperkt tot maximaal 0,5 m in lengte, breedte en hoogte richting. Een drifter met deze dimensies blijft, afhankelijk van het gewicht, handbaar en kan zo ook in kleinere waterstromen van 1 m breed worden toegepast. De minimum afmetingen van de binnenkant van de drifter zijn 0,12 m in hoogte en 0,2 m in de breedte. Het minimum wordt gesteld zodat de RTK-GPS module, smartphone en antenne inclusief 'ground truth' plaatje genoeg ruimte hebben binnen in de drifter. De afmetingen van de apparatuur zijn terug te vinden in Appendix B.

##### **Waterdicht:**

Vanwege het behouden van het drijfvermogen en ter bescherming van de apparatuur moet de drifter waterdicht zijn. Spatwater dicht is hierbij niet voldoende aangezien druppels de apparatuur in de drifter ook kunnen beschadigen. Tot 1 m onder water moet de drifter de waterdruk aankunnen om zeker te zijn dat het omhulsel geen kleine gaatjes bevat.

### **Materiaaleigenschappen:**

Het materiaal waarvan de drifter wordt gemaakt dient niet bros of zacht te worden bij temperaturen tussen de -10 °C en +40°C. Zo kan de drifter in verschillende gebieden en verschillende periodes gedurende het jaar ingezet worden. Daarnaast dient het omhulsel van de drifter niet van metaal gemaakt te worden. Dit zal het signaal tussen de GNSS antenne en de satellieten blokkeren waardoor het niet meer mogelijk is de positie en dus de snelheid van de drifter te bepalen. De verbinding van de verschillende onderdelen in de drifter dient ook sterk genoeg te zijn. De druk van het water en de golven moet weerstaan kunnen worden. Daarnaast dient de toevoeging aan de drifter, welke het terughalen uit het water makkelijker maakt, een kracht van 100 N te kunnen weerstaan zodat het materiaal niet afbreekt tijdens het uitvoeren van testen of tijdens het optillen van de drifter. Ondanks het streven voor een drifter van ongeveer 5 kg wordt als grens 100 N gesteld omdat de drifter dan ook een trekkracht kan weerstaan als deze in het water ergens vast komt te zitten.

#### 3.1.3 Functionele eisen:

##### **Toepasbaarheid:**

De drifter dient breed toepasbaar te zijn. Dit betekent dat de drifter niet alleen op een traject van 50 meter zonder golven nauwkeurige metingen moet uitvoeren, maar ook in rivieren. Het kunnen gebruiken van de drifter op zee, waar golven van enkele meters voor kunnen komen, is geen eis.

##### **Prestaties:**

Het drifterontwerp moet zorgen voor zo optimaal mogelijke prestaties. De drifter dient de snelheid van het water tot op een meter per seconde nauwkeurig te benaderen. Om dit te bereiken is een diepteligging van minstens de helft van de hoogte van de drifter noodzakelijk zodat de waterstroming een groot oppervlak van de drifter raakt. De antenne moet ook minimaal 10 centimeter boven het wateroppervlak uit blijven steken zodat golven minimaal signaalverlies veroorzaken. Daarnaast moet de schommeling van de positie waar de antenne zich bevindt ook geminimaliseerd worden. Een horizontale uitwijking van enkele centimeters van de positie van de antenne is hiervoor noodzakelijk. Ook moet voorkomen worden dat de drifter gaat tolleren in het water. Afhankelijk van de vorm kan dit het oppervlak, waarop de stroming van het water actief is, veranderen waardoor de drifter zich niet met de ware snelheid van het water zal voortbewegen.

#### 3.1.4 Bediening eisen

##### **Gebruiksgemak:**

De drifter dient makkelijk in en uit het water gehaald te kunnen worden. Er zal dus een mechanisme moeten komen wat het terughalen van de drifter makkelijk maakt. Daarnaast moet de apparatuur eenvoudig uit de drifter gehaald kunnen worden en ook makkelijk teruggeplaatst kunnen worden. Een afsluitingsmechanisme van de drifter, die makkelijk open en dicht gaat, is dus noodzakelijk.

##### **Veiligheid:**

Het gebruik van de drifter moet veilig kunnen gebeuren. Er zullen voorschriften moeten komen aan welke plek de drifter aan opgetild kan worden en hoe de drifter gebruikt moet worden. Zo wordt er voorkomen dat een onderdeel, dat niet sterk genoeg is, afbreekt waardoor de drifter op een voet terecht kan komen. Ook kan zo voorkomen worden dat de drifter niet juist afgesloten en dus niet waterdicht is.

### 3.1.5 Productie eisen

#### **Eenvoud productie:**

De productie van de drifter dient zo eenvoudig mogelijk te gebeuren. Hiervoor dient ook geen gespecialiseerde kennis nodig te zijn. Lijmen, schroeven, klemmen en kisten kan dus wel gebruikt worden. Het lassen van onderdelen moet zoveel mogelijk vermeden worden aangezien dit een lastiger te beheersen techniek is. Ook zal er een stappenplan gemaakt moeten worden waarin wordt benoemd hoe de drifter in elkaar gezet moet worden zodat verdere onduidelijkheden worden weggenomen.

#### **Onderhoud en reparatie:**

Onderhoud en reparatie van losse onderdelen van de drifter moeten eenvoudig en individueel van elkaar vervangen kunnen worden. Daarnaast zullen voorschriften opgesteld moeten worden waarin de frequentie voor het benodigde onderhoud wordt benoemd.

#### **Beschikbaarheid materialen:**

De materialen die voor de opbouw van de drifter gebruikt worden, moeten eenvoudig opnieuw te verkrijgen zijn. Eventueel gebruikte 3D modellen die gebruikt worden zullen dus ook beschikbaar gesteld moeten worden.

## 3.2 Gebruikerswensen

Om de drifter nog optimaler te laten functioneren of nog eenvoudiger te gebruiken zullen een aantal gebruikerswensen benoemd worden. Bij het ontwerp van de drifter zal hier, indien mogelijk, rekening mee gehouden worden.

De RTK-GPS module heeft continue stroom nodig waar de smartphone voor zal zorgen. Als een test echter voor langere duur, bijvoorbeeld meerdere dagen, uitgevoerd moet worden dan zal de batterij van de smartphone op zichzelf niet voldoen. In de drifter zal dus ruimte vrijgehouden moeten worden zodat eventueel een powerbank aan de smartphone gekoppeld kan worden.

Daarnaast moet voor langdurige testen de opslagcapaciteit voor de data op de smartphone vergroot kunnen worden. Het aanschaffen van een smartphone met een groter intern opslaggeheugen of het koppelen van een USB-stick aan de smartphone zijn enkele opties om dit probleem op te lossen.

## 4. Concept ontwerpen

Om een definitief ontwerp te maken waarin het smartphone RTK-GPS systeem het beste geïntegreerd is, zullen verschillende conceptontwerpen gemaakt worden. Waar mogelijk zullen de uitgewerkte ideeën ook tussendoor getest worden. De resultaten van de testen worden behandeld in hoofdstuk 5.

### 4.1 Analyse conceptontwerpen

De verschillende mogelijkheden voor de vorm en dimensies, het materiaal waaruit de drifter wordt gemaakt en de manier waarop de drifter waterdicht gemaakt gaat worden, zullen eerst geanalyseerd worden. Aan de hand van deze informatie worden in sectie 4.2 de te maken conceptontwerpen uitgewerkt.

#### 4.1.1: Vorm en dimensies

De basis om tot een definitief ontwerp te komen ligt bij het bedenken van drifters van verschillende vormen en dimensies. Voor een werkend conceptontwerp zal de vorm een lage weerstandscoefficiënt moeten hebben, maar moet ook gelet worden op stabiliteit en diepteligging. Als eerst zal de geschiktheid van verschillende vormen getoetst moeten worden. Hierbij wordt gekeken naar de geschiktheid van de vorm met betrekking tot de wrijvingscoëfficiënt en stabiliteit. Een bolvormige drifter heeft volgens de waardes uit figuur A2.1 de laagste wrijvingscoëfficiënt als gekeken wordt naar vormen waarbij de wrijvingscoëfficiënt hetzelfde is in alle stromingsrichtingen. Een ellipsoïde en in mindere mate een cilinder zullen met betrekking tot de wrijvingscoëfficiënt ook een goede keuze zijn om als basisvorm voor de drifter te gebruiken. De stabiliteit van de drifter in het water is ook belangrijk zodat de drifter niet kantelt of zelfs helemaal omslaat. Door de drifter bolvormig te maken zal de drukverdeling van het water op de bol uniform zijn. Dit zorgt ervoor dat de kracht van het water op de bol altijd hetzelfde werkt. Als de drifter kantelt wanneer een langwerpige cilinder wordt gebruikt is het aanstroomoppervlak plotseling anders wat de snelheid, waarmee de drifter zich voortbeweegt, wordt beïnvloed.

Uit de analyse blijkt dat een bol en ellipsoïde als basisvormen de verwachting hebben het meest stabiel met de stroming mee te drijven. Verdere concepten zullen dus uit deze twee vormen komen te bestaan. Een derde conceptontwerp bestaat uit een cilinder waar 3 vinnen aan vast gelast worden. Daarnaast zal een ring met een grotere diameter dan de cilinder in horizontale richting gelast worden. De horizontale ring zal zorgen voor meer stabiliteit doordat het de op en neerwaartse beweging van de drifter dempt. De vinnen zullen gepositioneerd op dezelfde manier als de punten van een driehoek met elk een hoek van 60 graden. De vinnen zullen als een soort zeil werken. De extra weerstand die gecreëerd wordt aan de achterkant van de cilinder zal zorgen voor een betere meevoering met de stroming. Gezien de beperkte looptijd van het project en het beperkte budget zal het cilinder ontwerp niet verder in de praktijk uitgewerkt worden. Voor het bolconcept en ellipsoïdeconcept zal eerst berekend moeten worden wat de ideale afmetingen zijn en wat de ideale diepteligging is. Hierbij moet rekening worden gehouden met de eisen die gesteld zijn aan de dimensies in het Programma van Eisen.

Om de diepteligging van de drifter voor een bepaald gewicht en afmetingen te bepalen, zal het volume van het verplaatste water eerst berekend moeten worden. De formule die gebruikt wordt voor de berekening is te vinden in Appendix C.

Om nu een berekening te maken voor welke afmetingen de bol de benodigde diepteligging krijgt zal eerst de dichtheid van het kunststof bekend moeten zijn.



De diepteligging van de drifter zal ook bepaald moeten worden. Door te drifter te verzwaren kan de diepteligging worden aangepast. Voor een eerste conceptontwerp zal de drifter een diepteligging van de helft van de diameter van de bol krijgen. Door verder onderzoek te doen zal de ideale diepteligging bepaald kunnen worden. Dit is afhankelijk van de kracht die de wind en het water op de bol leveren. Een veel grotere kracht van het water op de drifter dan de kracht van de wind is gewenst zodat de drifter niet uit de richting wordt geduwd door de wind.

#### 4.1.2 Materiaalkeuze

Nu de dimensies van de conceptontwerpen bekend zijn moet een keuze gemaakt worden voor het materiaal waar de drifter uit zal bestaan. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met de randvoorwaarden die in het Programma van Eisen staan. Omdat al bekend is dat metaal als materiaal voor het omhulsel geen optie is worden alleen verschillende soorten kunststof met elkaar vergeleken om te kijken wat gunstig is. In tabel 4.1 worden verschillende soorten kunststof met elkaar vergeleken op basis van de criteria: maakbaarheid, sterkte, kosten, beschikbaarheid en aanhechtingsmogelijkheden. Voor de schaal is ' - - ' de slechtste maakbaarheid of duurste kosten en '+ +' de beste maakbaarheid of goedkoopste kosten.

Criteria	Schaal	PVC	PE	ABS	PLA
Maakbaarheid	--/++	-	0	++	+
Sterkte	--/++	-	+	+	+
Kosten	--/++	+	+	--	-
Beschikbaarheid	--/++	+	++	-	0
Hechtingsmogelijkheden	--/++	+	--	++	++

Tabel 4.1: Multi-criteria analyse van verschillende kunststoffen.

De criteria kosten, beschikbaarheid, hechtingsmogelijkheden en maakbaarheid tellen zwaarder mee dan de criteria sterkte. Alle materialen die beschouwd zijn zullen, met een dikte van enkele millimeters, sterk genoeg zijn om de druk van het water op 1 meter diepte te weerstaan. Uit de analyse blijkt dat de materialen PE en PVC relatief goedkoop en beter beschikbaar zijn dan ABS en PLA kunststof. ABS en PLA kunststof hebben echter weer betere hechtingsmogelijkheden dan PVC en met name PE kunststof. Als de drifter uit verschillende onderdelen zal bestaan zal een goede hechting een groot voordeel zijn omdat de hechting van de onderdelen waterdicht moet zijn. ABS en PLA kunststof wordt veel gebruikt voor het 3D printen van materialen. Daarnaast is PLA milieuvriendelijker dan de andere kunststoffen aangezien het biologisch afbreekbaar is. Het wordt namelijk uit melkzuur gemaakt.

Uit de analyse blijkt dat alle genoemde kunststoffen in principe gebruikt kunnen worden voor de drifter. De voorkeur gaat echter uit naar PLA en ABS kunststof door de uitstekende aanhechtingsmogelijkheden. Dit is een belangrijke eigenschap voor het waterdicht maken van de drifter.

Nu bekend is welke materialen allemaal gebruikt kunnen worden voor het omhulsel van de drifter zal gekeken moeten worden naar de productiemogelijkheden van de bolvorm in combinatie met de verschillende soorten kunststof. Voor kunststof worden drie algemene productieprocessen (vacuüm vormen, spuitgieten en 3D printen) vergeleken met de mogelijkheid om prefab vormen te kopen. Ieder wordt getest aan de hand van de criteria: kosten, productie tijdsduur, materiaalmogelijkheden en ontwerpmogelijkheden. De resultaten staan in tabel 4.2.



Criteria	Schaal	Vacuüm vormen	Prefab	3D-printen	Spuitsieten
Kosten	--/++	--	+	-	--
Duur	--/++	--	++	--	--
Materiaalmogelijkheden	--/++	0	-	0	+
Ontwerpmogelijkheden	--/++	-	--	++	++

Tabel 4.2: Multi-criteria analyse van verschillende productieprocessen.

Naast de eis dat de kosten voor de conceptdrifters samen onder de 1000 euro moeten blijven, is een korte productieduur ook van belang aangezien rekening gehouden moet worden met de korte looptijd van het project. Voor het maken van de conceptontwerpen is een korte productietijd van het ontwerp daarom van belang. Voor het definitieve ontwerp mag, indien het ontwerp zal voldoen, de productietijd wel langer zijn.

Het 3D printen van een bol met een diameter van 400 mm zal al 11 dagen duren. Daarnaast zullen de kosten ook relatief hoog uitvallen, afhankelijk van de manier van printen. De goedkoopste optie is PLA printen, waar het ontwerp uit dunne laagjes kunststof opgebouwd wordt. Een duurdere optie is SLS printen, waar het ontwerp uit laagjes poeder bestaat. De laagjes worden met behulp van een laser met elkaar versmolten waardoor een fijner geheel ontstaat dan bij PLA printen. Voor goedkope 3D prints zijn de maximale afmetingen vaak maar 230 mm, wat te klein zal zijn.

Het maken van conceptontwerpen bij wijze van spuitgieten zal niet alleen enkele dagen in beslag nemen, maar het is ook nog eens extreem duur. Voor deze techniek zal namelijk eerst een mal gemaakt moeten worden voor het ontwerp, waar vervolgens de kunststof ingespoten zal worden. Deze techniek zal pas rendabel zijn wanneer tientallen drifters besteld moeten worden. Aangezien voor het conceptontwerp en ook het definitieve ontwerp dit niet het geval is valt deze techniek af.

Vacuüm vormen is ook geen ideale optie voor het maken van een bolvormig concept. Bij deze techniek wordt het kunststof eerst verwarmd. Vervolgens zal het materiaal over een mal getrokken moeten worden om de gewenste vorm te krijgen. Niet alleen is het maken van een mal al relatief duur, ook is het lastig om met deze techniek een bol te maken.

Ten slotte het bestellen van prefab vormen. Gezien de relatief hoge kosten voor het 3D printen lijkt dit een aantrekkelijke optie voor het maken van conceptontwerpen. Echter is een holle kunststof bol met een diameter van minstens 200 mm vrijwel niet beschikbaar. Het gevolg is dat de materiaalkeuze hierdoor ook beperkt is tot PE, wat niet de beste aanhechtingsmogelijkheden heeft.

De conceptvormen zullen alleen als bol ontworpen worden, doordat een ellipsoïde niet prefab beschikbaar is en twee 3D prints te duur zullen worden.

### 4.1.3 Waterdichte afsluiting

Een waterdichte afsluiting van de drifter is cruciaal, omdat de RTK-GPS module zelf niet waterdicht is. Daarnaast verstoort de instroming van water de stabiliteit en diepteligging van de drifter. Ook kan het signaal van de antenne verstoord worden door water wat op de antenne terechtkomt.

De drifter kan niet compleet dichtgelast of gelijmd worden aangezien de smartphone in de drifter opgeladen moet kunnen worden. Het is erg lastig om aan de buitenzijde van de bol een toegang te maken zodat de smartphone opgeladen kan worden zonder dat de drifter opengemaakt dient te worden, daarom wordt deze optie verder niet overwogen.

Het kopen van prefab onderdelen en laten 3D printen van onderdelen zijn de enige 2 opties die over zijn na de analyse voor het materiaal. De opties om beide concepten waterdicht te kunnen maken worden apart besproken. Een algemeen idee voor beide opties is het gebruik van een schroefdop zodat de drifter makkelijk en snel open gemaakt kan worden. In de dop kan een o-ring geplaatst worden waardoor water dat eventueel door de groeven heen zal treden alsnog tegengehouden wordt.

**Prefab bol:** Voor prefab onderdelen is het mogelijk om 2 halve bollen te kopen of een complete bol met een opening bovenop. De halve bollen kunnen op elkaar geschroefd worden, echter is dit niet wenselijk doordat alle schroeven losgedraaid dienen te worden als de smartphone opgeladen moet worden. Het verbinden van een schroefdop aan de bol is een betere optie. Aangezien de bol van PE is gemaakt is het vastlijmen of kitten van de hals van de dop in theorie lastig doordat PE een erg vettig materiaal is. De sterkte van de lijmverbinding tussen PE en PLA kunststof zal wel getest worden. Het vastlassen zal een betere verbinding geven, echter is dit alleen mogelijk wanneer de hals ook van PE gemaakt is. Dit is geen betaalbare optie en dus zullen de hals en dop 3D geprint moeten worden. Een laatste optie is het vastschroeven van de hals aan de bol. Om dit waterdicht te maken zal de hals wel goed op de bol aan moeten sluiten.

**3D-print:** Voor een 3D-geprint conceptontwerp door middel van SLS printen zal het risico op kleine gaatjes in het ontwerp het kleinst zijn. Door de kosteneis is dit echter geen optie meer doordat één ontwerp al boven de 1000 euro zal kosten. Het model zal daarom door middel van PLA printen gemaakt worden. De kans op kleine gaatjes is nu wel groter, maar dit kan opgelost worden door de buitenkant te coaten in epoxy-hars zodat de poriën opgevuld worden.

## 4.2 Uitwerking conceptontwerpen

Er zullen gezien de beperkte kosten en tijd dus 2 conceptontwerpen komen. Voor één conceptontwerp zullen alle onderdelen besteld worden. Het andere conceptontwerp, bestaande uit een 3D geprinte bol zal alleen in een kleine variant getest worden om te testen of dit idee toegepast kan worden voor het definitieve ontwerp.

In Appendix D is een volledig uitgewerkte berekening voor de opbouw van de bol van de drifter te vinden. Bij de berekening is gekozen voor een bol met een diameter van 300 mm, omdat voor een diameter van 400 mm, 15 kg aan materiaal toegevoegd moet worden voor een diepteligging van 0,2 m. De drifter zal dan niet meer aan de gewichtseis uit het Programma van Eisen voldoen. Een kleinere diameter dan 300 mm wordt ook niet gekozen, omdat de verwachting is dat de uitwijking van de dop op de drifter dan groter is. In de dop zal de antenne zich bevinden en met een kleinere bol diameter wordt de drifter ook minder zwaar, terwijl het gewicht van de antenne in de dop gelijk blijft.

#### 4.2.1 PE bol variant

De eerste variant bestaat uit een PE bol als basisvorm met een opening bovenin. Aan de bol zal een 3D geprinte hals bevestigd worden. Het geheel kan afgesloten worden met een 3D geprinte dop voorzien van schroefdraad. Aan de dop is een ring bevestigd waar de drifter aan opgetild kan worden. Ook kan hier een touw aan gebonden worden om de drifter na het experiment terug te kunnen trekken.

Het ontwerp bestaat uit de volgende onderdelen:

- PE bol  $\varnothing$  300 mm, opening  $\varnothing$  120 mm. Zie figuur 4.1
- 3D-print hals en schroefdop van PLA. Zie figuur 4.1

De dikte van de bol is 3 mm. Zoals is berekend in Appendix B2 zal er 6 kg aan opvulmateriaal toegevoegd moeten worden voor een diepteligging van 0,15 m. Voor het opvulmateriaal zal cement worden gebruikt. Het cement dient in de drifter gestort te worden voordat de hals op de bol bevestigd wordt. Zo wordt voorkomen dat cementresten op het schroefdraad terecht komen. Voordat het cement in de drifter gestort wordt dient het kunststof eerst schoongemaakt te worden met alcohol zodat het materiaal vetvrij is. Door het oppervlak vervolgens op te schuren wordt een ruwer oppervlak gecreëerd waardoor het cement beter zal hechten. Dezelfde stappen dienen genomen te worden voordat kit of lijm wordt toegepast voor de hals. De dop en hals zijn beide voorzien van een kleine groef, zoals te zien is in figuur 4.2. De groef is meegenomen in het ontwerp zodat er ruimte is voor het plaatsen van een rubberen o-ring. De o-ring die gebruikt wordt zal een buitendiameter moeten hebben van 123 mm met een dikte van 3 mm. Indien water zich door de groeven van het schroefdraad naar boven werkt, wordt het alsnog tegengehouden door de o-ring zodat de apparatuur in de drifter goed beschermd blijft.



*Figuur 4.1: PE bol  $\varnothing$ 300 mm en PLA 3D print van de hals en dop met schroefdraad.*



*Figuur 4.2: Overzicht binnenkant van de PLA hals en dop.*

#### 4.2.2 3D print variant

Het ontwerp voor de 3D print variant bestaat net als het prefab concept uit een bol met een diameter van 300 mm. Bovenop het ontwerp is een hals gemaakt met een opening met een diameter van 120 mm. De hals is in het 300 mm model 42 mm hoog en is voorzien van schroefdraad. De bijbehorende dop zal in het ontwerp hetzelfde zijn als de dop die gebruikt wordt bij de variant met de PE bol.

Net als bij het PE bol concept is een o-ring van dezelfde grootte nodig die in de groef in de bovenkant van de hals geplaatst moet worden. Ook het opvulmateriaal zal gelijk zijn als in het eerste conceptontwerp. De manier waarop het mengsel in de bol wordt verwerkt is ook hetzelfde.

Het 3D schaalmodel is te zien in figuur 4.3.



*Figuur 4.3: PLA 3D geprint bolmodel ø100 mm.*

## 5. Toetsing van de concepten

De conceptontwerpen die uitgewerkt zijn in hoofdstuk 4 zullen getest worden om te controleren of de concepten voldoen aan de eisen die in het Programma van Eisen gesteld zijn. De testmethodes worden eerst behandeld voor de verschillende testen. Vervolgens zullen de testresultaten besproken worden.

### 5.1 Testmethodes

In totaal worden 5 verschillende testen uitgevoerd. Onderstaand worden de uit te voeren testen opgesomd met telkens een kleine toelichting. De volledige proefopzet en de manier van testen wordt per test uitgelegd en staat in Appendix E.

**Stabiliteitstest:** De bol zal getest worden op stabiliteit. Hierbij wordt gekeken naar de uitwijking van de dop (waar de antenne zich zal bevinden) op de bol als gevolg van krachten door o.a. golven.

**PE lijm en kit test:** De hechting van PE op PLA door middel van lijm zal getest worden om uit te kunnen sluiten of dit een optie is om de PLA hals met de PE bol te verbinden. Daarnaast wordt getest of kit goed aanhecht op PE zodat dit als extra afdichtingslaag gebruikt kan worden.

**Waterdichtheidstest materialen:** De PE bol zal getest worden op waterdichtheid, zodat zeker is dat er geen scheurtjes in het materiaal zijn ontstaan bij het productieproces. Daarnaast wordt de mate van waterdichtheid van het 3D geprinte schaalmodel van de bol en de schroefdop getest.

**Cement test:** Het cement dat gebruikt zal worden om de drifter te verzwaren wordt getest op verwerkbaarheid van het mengsel en uithardingstijd. Daarnaast wordt getoetst of het mengsel stevig in de emmer blijft zitten zodra het uitgehard is. Het hechtingsvermogen aan de bol is van belang zodat het opgedroogde mengsel niet door de bol zal schuiven en de apparatuur hierdoor niet beschadigt als de drifter eventueel kantelt.

**Krachttest dop:** De ring die aan de dop vastzit zal sterk genoeg moeten zijn om 100 N ( $\approx 10$  kg) te weerstaan zoals vermeld is in het Programma van Eisen. Het gewicht zal aan een touw aan de ring worden gehangen en langzaam opgebouwd worden. Daarnaast moet ook getest worden of het schroefdraad waarmee de dop aan de hals vast komt te zitten sterk genoeg is om dezelfde kracht te dragen.

### 5.2 Testresultaten

De testresultaten zullen per test worden weergegeven. De tests worden getoetst aan de hand van het Programma van Eisen. Indien de test niet voldoet zal, indien mogelijk, een vervolgtest voor een vervangend materiaal of vervangend mechanisme direct benoemd en uitgevoerd worden.

#### 5.2.1 Stabiliteitstest

De drifter blijkt, met een toevoeging van 6kg en toevoeging van de hals, dop en antenne, een diepteligging van rond de 0,15 m te hebben. Dit geldt als controle voor de berekening voor de diepteligging die al uitgevoerd was in Appendix D.

Tijdens het uitvoeren van de test is de drifter niet gekanteld door invloed van golven en ook niet door een harde duw aan de dop van de drifter te geven. De uitwijking van de dop was nooit groot genoeg om het water te raken, al is niet getest met hoge golven zoals wel in de natuur voor kan komen. De exacte maximale uitwijking van de dop, waar de antenne zich zal bevinden, wordt getest met het definitieve ontwerp.

Geconcludeerd kan worden dat een bol met een diameter van 300 mm, waar 6 kg aan extra gewicht is toegevoegd, niet topzwaar zal worden door de aanwezigheid van de hals, dop en antenne. De afsluiting van de drifter kan op een soortgelijke manier dus gebruikt worden bij het definitieve ontwerp.

### 5.2.2 PE lijm en kit test

De plaatjes waarbij de primer aan zowel PE als PLA aangebracht waren, hadden na een droogtijd van 24 uur een zeer slechte hechting. Zowel voor de schuifkracht als wanneer een moment werd gecreëerd lieten de plaatjes voor beide lijmen direct los. Bij de proefstukken waar de primer enkel op de PE plaatjes was gebruikt was de sterkte van beide lijmen al stukken beter. Gekeken naar de schuifkracht konden de plaatjes niet losgekregen worden. Door een moment te creëren (een plaatje omhoog getrokken en de ander omlaag) konden de proefstukken losgetrokken worden van elkaar. De proefstukken waarbij de primer niet was gebruikt hadden een mindere sterkte dan wanneer de primer was gebruikt. De sterkte van de verbinding met enkel de lijm was wel sterker dan wanneer de primer op beide kunststoffen werd gebruikt.

Uit bovenstaande analyse valt te concluderen dat de twee industrielijmen niet significant van elkaar verschillen. Het gebruik van een primer op de PE plaatjes heeft wel degelijk effect, maar niet genoeg om de PLA hals enkel met lijm op de bol te kunnen bevestigen. Hier zal dus een nieuw mechanisme voor bedacht moeten worden zodat de hals alsnog op de PE bol vastgemaakt kan worden.

De reden dat de proefstukken, waarbij op beide kunststoffen een primer gebruikt is, niet goed hechten komt zeer waarschijnlijk doordat de PLA proefstukken maar 1 mm dik waren. Zoals te zien is in figuur E3 in Appendix E bestaat het plaatje uit twee dunne laagjes met een gaasachtig materiaal tussen beide in. De primer zal waarschijnlijk enkel het bovenste laagje van het materiaal los hebben geweekt waardoor de verbinding tussen de twee proefstukken niet was zoals verwacht. Een afdruk van het laagje is ook te zien in figuur 5.1.

De kit die getest is op de PE plaatjes heeft na 24 uur drogen wel een uitstekende hechting. De kit is, wanneer opgedroogd, ook erg elastisch waardoor de kitrand niet direct kapot scheurt na belasting van de plaatjes. De kit zal ook gebruikt worden bij het definitieve ontwerp van de PE bol om zo te testen of hechting ook goed genoeg is om te voorkomen dat kleine openingen tussen de kitrand en de bol ontstaan. Een weergave van de elasticiteit van de kit is te zien in figuur 5.2.



*Figuur 5.1: Kunststof- en lijmresten van de PLA plaat aan de PE proefstukken.*





*Figuur 5.2: Weergave van de elasticiteit van de kitrand aan de PE plaatjes.*

### 5.2.3 Waterdichtheidstest materialen

Tijdens de gehele duur van de stabiliteitstest is geen water binnengedrongen bij de PE bol. De waterdichtheidstest op 1 m diepte zal, indien mogelijk, voor het definitieve ontwerp uitgevoerd worden.

De 3D geprinte bol met een diameter van 100 mm liet, na meer dan 8 uur onder water gestaan te hebben, geen water door. Ook bij de omgekeerde test waarbij de bol met water gevuld werd is geen water uit de bol gelopen. De PLA dop bleek niet waterdicht. Enkele druppels water konden door de laagjes van het materiaal via kleine gaatjes in de afdichting van de dop naar buiten treden. Vanwege de goedkopere manier van printen (PLA in plaats van SLS) ontstaat vaak meer ruimte in het product.

De reden dat de 3D geprinte bol geen water doorliet en de dop wel kan te maken hebben met de zogenaamde 'infill' die bij de instellingen van de printer is ingesteld. Bij een lage infill is de kans groter op kleine gaatjes in het ontwerp. Bij een grotere infill wordt deze kans kleiner maar wordt ook meer materiaal gebruikt en is de duur van het printen veel langer. Daarnaast heeft de kleine bol echter wel alleen een afgedichte binnen en buiten laag die direct op elkaar aanhechten zonder 'sandwich' structuur tussenin. Bij grotere prints zal dit wel het geval zijn waardoor eventuele gaatjes niet afgedicht worden door de afdichtingslaag aan de andere kant van de wand.

Om de kleine gaatjes af te dichten zal de buitenkant van de dop en de binnenkant van de hals afgewerkt moeten worden met epoxy hars. Dit zal een extra laag creëren waardoor eventuele gaatjes afgedicht worden. De epoxy hars zal niet op het schroefdraad moeten komen. Als de hars uitgehard is zal de dop niet meer op de hals gedraaid kunnen worden.

#### 5.2.4 Cement test

Het cement mengsel droogt snel op. De toplaag is binnen 10 minuten al redelijk droog en na twee uur hard. Het cement hecht ook goed aan de emmer zelf. De emmer is ondersteboven gehouden en veel heen en weer geschud, maar het cement blijft op zijn plek in de emmer. Het is dus te verwachten dat wanneer het mengsel hard is, het ook in de drifter op zijn plek zal blijven en niet op zal stuiten als gevolg van golven. Ook is het mengsel niet gaan uitzetten en zijn er dus geen scheurtjes in de wand van de emmer ontstaan. Een vloeibaarder cement mengsel zal om de drifter te vullen eenvoudiger zijn dan het huidige mengsel. Het cement heeft, eenmaal gemengd met water, de structuur van nat zand waardoor het goed aangedrukt moet worden en het niet vanzelf uitvlakt. Om een vlakke bodem te creëren waarop de meetapparatuur geplaatst kan worden zal dus nog een oplossing gevonden moeten worden. Een mogelijkheid is om de toplaag van het cement te bedekken met een dunne laag piepschuim.

#### 5.2.5 Krachttest dop

De ring heeft de test om tenminste een kracht van 100 N te kunnen weerstaan gehaald. Het gewicht dat aan het touw gehangen is, is opgelopen tot 14 kg waarbij de ring ook niet bezweek. Zoals ook vermeld in Appendix E kon de sterkte van de schroefdraad verbinding niet getest worden. Bij het ontwerp is geen/te weinig rekening gehouden met tolerantie waardoor de dop en de hals niet op elkaar geschroefd konden worden. De test zal alsnog uitgevoerd worden met het definitieve ontwerp.



## 6. Uitwerking definitief ontwerp

Aan de hand van de testresultaten uit sectie 5.2 zal er een definitief ontwerp van de drifter uitgewerkt worden. Gezien de beperkte mogelijkheid om de drifter in zijn geheel te 3D printen is voor het definitieve ontwerp gekozen om de PE bol te gebruiken en een nieuwe hals te printen die aan de bol geschroefd kan worden. De onderdelen en benodigdheden voor de drifter zullen benoemd worden in sectie 6.1. In sectie 6.2 is een stappenplan voor het in elkaar zetten van de drifter opgezet. De drifter zal nog geen behuizing binnen in bevatten waar de apparatuur veilig in geplaatst kan worden. De focus ligt nu op de waterdichtheid.

### 6.1 Opbouw van definitieve drifterontwerp

De opbouw van het definitieve ontwerp lijkt op die van de PE bol conceptvariant. De basis zal nu ook uit de PE bol bestaan. Aan de hals wordt een rand toegevoegd met voorgeboorde gaten zodat deze op de bol met bouten en moeren bevestigd kan worden. De dop wordt ook opnieuw geprint waarbij nu wel rekening wordt gehouden met tolerantie. Voor het fabriceren van het model zijn de volgende onderdelen/producten nodig:

- PE bol  $\varnothing$  300 mm, dikte 3 mm, opening  $\varnothing$  120 mm. Zie figuur 6.1
- 3D-print schroefdop van PLA. Zie figuur 6.2
- 3D-print hals van PLA inclusief halsrand met voorgeboorde gaten  $\varnothing$  4 mm. Zie figuur 6.3
- RVS/gegalvaniseerde M4 bout en moer. Lengte minimaal 16 mm voor werkruimte. Zie figuur 6.4
- Nylon sluitring voor M4 bout. Zie figuur 6.4
- Snelcement GAMMA, pak 5 kg. Zie figuur E13
- MESA industriekrachtlijm. Zie figuur E5
- Griffon HBS-200 kit. Zie figuur E8
- Rubberen o-ring met dikte 3 mm, buitendiameter 123 mm.

Het gebruik van RVS of gegalvaniseerde bouten is wenselijk aangezien de bouten veel in contact zullen komen met water waardoor deze snel kunnen gaan roesten. Bouten met een minimale lengte van 16 mm zijn nodig zodat genoeg werkruimte overblijft om de moer gemakkelijk te bevestigen. Bouten langer dan 30 mm zullen in de weg zitten bij het plaatsen van de meetapparatuur. De nylon sluitringen zullen net onder de schroefkop geplaatst worden om instroming van water langs de bout te voorkomen. Alles dient maat M4 te hebben door de geprefabriceerde 4 mm gaten in de hals.

Een enkel pak snelcement van 5 kg is voldoende aangezien hier een liter water aan toegevoegd zal worden. Het gewicht van ongeveer 6 kg is voldoende om de drifter de juiste diepteligging te geven.

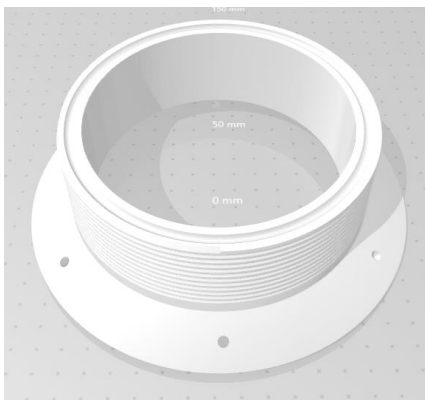
Voor dit ontwerp is gekozen om de hals eerst op de bol te lijmen met industriekrachtlijm en vervolgens de randen af te kitten zodat geen water onder de halsrand de drifter in kan stromen. Het is ook mogelijk om een rubberen ring of siliconen pakking onder de halsrand te plaatsen zodat een extra tussenlaag gecreëerd wordt tegen het water. Daarnaast is het plaatsen van een rubberen o-ring in de daarvoor ontworpen groef in de hals wenselijk. Eventuele instroming van water door het schroefdraad zal op deze manier alsnog tegengehouden worden.



Figuur 6.1: PE bol  $\varnothing$  300 mm.



Figuur 6.2: PLA 3D-print dop met schroefdraad (rechts).



Figuur 6.3: 3D model hals met voorgeboorde gaten.



Figuur 6.4: Gegalvaniseerde M4 bout en moer (links) en M4 nylon sluitring (rechts).

## 6.2 Realisatie drifterontwerp

Een stappenplan voor de volgorde van de realisatie van het drifterontwerp zal gegeven worden, zodat geïnteresseerden het stappenplan kunnen volgen om het ontwerp ook te kunnen maken. Het is van belang dat een aantal stappen in de juiste volgorde gedaan worden om problemen tijdens het proces te voorkomen. Het stappenplan bevat niet alleen een overzicht van de materialen die per stap nodig zijn, maar ook het gereedschap dat gebruikt kan worden om het fabricatieproces eenvoudiger te maken. Het volledige stappenplan is terug te vinden in Appendix F. Het eindresultaat van de drifter is te zien in figuur 6.5.



*Figuur 6.5: Eindresultaat drifter.*

## 7. Testen van de drifter

Het definitieve ontwerp van de drifter zal een aantal testen ondergaan om te controleren of het ontwerp voldoet aan het Programma van Eisen. De uitvoering van de testen zal beschreven worden in sectie 7.1 en de resultaten van de testen worden weergegeven in sectie 7.2. De drifter zal getest worden op stabiliteit in het water, waterdichtheid en op de treksterkte van de deksel. Naast de benoemde testen is ook gecheckt of de drifter nog genoeg ruimte heeft om de meetapparatuur te plaatsen. Voldoende ruimte in de drifter blijkt hiervoor nog beschikbaar. Voor een geoptimaliseerd ontwerp is het dus mogelijk om nog materialen in de drifter aan te brengen die de apparatuur vastzetten tijdens het gebruik.

### 7.1 Uitvoering test

De uitvoering van de verschillende proeven zullen hier kort beschreven worden. De volledige uitwerking is te vinden in Appendix G.

**Stabiliteitstest:** De drifter zal met een gewicht gelijk aan de antenne in de dop getest worden op stabiliteit. De drifter wordt in een bad gevuld met koud water gelegd waarna golven worden gemaakt om te checken of de drifter niet omslaat en goed met het water meebeweegt. Ook wordt aan de hand van een video de uitwijking van de dop gemeten.

**Waterdichtheidstest:** Er zal getest moeten worden of de drifter met de dop op de hals geschroefd daadwerkelijk waterdicht is. De drifter zal deels onder water gehouden worden en er zal water op de drifter gegooid worden om het effect van golven na te bootsen.

**Trekproef deksel:** De drifter moet opgetild kunnen worden aan de ring die bevestigd is aan de dop. De ring moet dus sterk genoeg zijn, maar het schroefdraad moet de kracht ook kunnen houden.

### 7.2 Testresultaten

De testresultaten zullen per proef apart beschreven worden.

#### 7.2.1 Stabiliteitstest

Tijdens de uitgevoerde test bleef de drifter door golfvorming redelijk stabiel in het water liggen. De uitwijking van de dop kan maximaal 150 mm per zijde worden doordat dat de radius van de bol is. Uit de testen bleek dat bij heftige golven de drifter niet helemaal omsloeg naar de zijkant en door schommeling maximaal 100 mm vanuit het centrum uitweek. Een voorbeeld van de maximale uitwijking tijdens de proef is te zien in figuur 7.1.



*Figuur 7.1: Screenshot van maximale schommeling tijdens de stabiliteitstest.*

### 7.2.2 Waterdichtheidstest

De drifter is met de huidige opbouw niet waterdicht. Via het schroefdraad komt water de bol ingelopen bij alle tests die uitgevoerd zijn. Via de bouten lijkt geen water naar binnen te lopen al is dit lastig te controleren doordat het water vanuit het schroefdraad langs de bouten en de kitrand binnen de bol verder naar beneden stroomt. De testen zijn nu uitgevoerd zonder o-ring in de hals en zonder siliconen pakking of rubberen ring tussen de halsrand en de bol. De verwachting is dat door deze toevoegingen de bol wel waterdicht is. Ook zal de juiste tolerantie voor het schroefdraad gevonden moeten worden. Een tolerantie van 0,2 mm tussen het schroefdraad van de hals en de dop bleek nog net niet voldoende waardoor een deel afgevijld moest worden om de dop te laten passen. Het gevolg was dat de dop te eenvoudig op de hals kon worden geschroefd door de hoeveelheid ruimte. In figuur 7.2 zijn enkele sporen van water na de proef te zien.



*Figuur 7.2: Intreding van water in de dop (links) en de bol (rechts).*

### 7.2.3 Trekproef deksel

De sterkte van de ring en het schroefdraad voldoen aan de gestelde eis van 100 N. Met een totaal gewicht van 10 kg kon de drifter via de ring opgetild worden. De test is meerdere keren gedaan en er zijn geen tekenen waargenomen van beschadiging aan de ring of het schroefdraad na afloop van de test.

## 8. Conclusie en aanbevelingen

Aan de hand van de testresultaten beschreven in sectie 7.2 kan geconcludeerd worden aan welke eisen in het Programma van Eisen de drifter voldoet. Daarnaast zullen de resultaten besproken worden en waar nodig aanbevelingen gegeven worden om het ontwerp te verbeteren. Als laatste worden enkele vervolgonderzoeken benoemd die nodig zijn om de drifter verder te optimaliseren.

### 8.1 Conclusie

Geconcludeerd kan worden dat het huidige ontwerp nog niet aan alle eisen gesteld in het Programma van Eisen voldoet. De drifter heeft nog geen test kunnen doorstaan zonder dat water naar binnen treedt al zijn er mogelijkheden die het probleem op kunnen lossen. De functionele eisen zijn nog niet getest en dus is het niet bekend of de drifter de watersnelheid nauwkeurig kan meten. Uit de stabiliteitstest blijkt dat de drifter wel goed meedrijft met de stroming, de nauwkeurigheid kon hierbij echter nog niet gemeten worden. Het huidige drifter ontwerp voldoet wel aan de andere eisen die gesteld zijn. De kosten van het project zijn onder de 1000 euro gebleven. De totale kosten kwamen uit op 305 euro. Het gewicht, materiaal en dimensies voldoen ook aan de eisen. Daarnaast is de drifter ook veilig voor gebruik door de sterke ring en zijn geen materialen gebruikt die niet makkelijk opnieuw besteld kunnen worden. Door de toevoeging van het stappenplan voor de opbouw kan de drifter ook makkelijk nagemaakt worden.

### 8.2 Discussie

Om verder te kunnen met het huidige ontwerp zal minimaal een o-ring voor in de hals nodig zijn. Daarnaast is het voor een volgende versie aan te raden dat tussen de halsrand en de bol een siliconen of rubberen pakking wordt toegevoegd. Voor de dop en hals geldt dat het materiaal met een waterdichte spray of epoxy hars bedekt moet worden om eventuele open delen op te vullen. Indien gekozen wordt om de bol compleet 3D te printen is dit ook van belang. Daarnaast dient voor een nieuw ontwerp de tolerantie van het schroefdraad op 0,3 mm genomen te worden. Indien de dop niet blijkt te passen zal door de beperkte nauwkeurigheid tijdens het 3D printen een van de draden dikker geprint kunnen zijn dan de overige draden. Deze draad kan lichtjes geveild worden zodat de dikte hetzelfde wordt als de andere naden. Ook is het aantal omwentelingen dat de dop nu maakt erg veel. De poer afstand tussen de draden kan daarom groter gemaakt worden. Ten slotte kan een karabijnhaak gebruikt worden om de dop aan de hals vast te maken als de dop niet vastgedraaid blijft. Zo kan voorkomen worden dat tijdens de proef de deksel van de hals afdraait.

Om de stabiliteit van de drifter te verbeteren zijn ook enkele toevoegingen noodzakelijk. Een relatief goedkope oplossing is het toevoegen van een brede ring aan de buitenkant van de drifter. De ring zal de op- en neerwaartse beweging door golven in beperkte mate dempen. De toevoeging van een gyroscoop in de drifter is een vergaande en erg dure optie, maar zal de drifter waarschijnlijk het meest stabiel maken.

### 8.3 Vervolgonderzoeken

Om de drifter uiteindelijk te optimaliseren kunnen een aantal vervolgonderzoeken uitgevoerd worden. Ten eerste moet gecontroleerd worden of de metalen bouten en kunststof geen ongewenst effect hebben op het signaal van de antenne. Ook kan de invloed van een laag water boven de antenne gecontroleerd worden zodat bekend is wanneer de antenne nog signalen ontvangt. Tenslotte kan de ideale diepteligging berekend worden door de optimale verhouding van de kracht van het water en de wind tegen elkaar uit te zetten. Zo kan bekeken worden of de huidige diepteligging voldoet of dat de invloed van wind teveel is en de drifter dus dieper moet komen te liggen.

Om de drifter uiteindelijk bruikbaar te maken voor experimenten zal het definitieve ontwerp dat is behandeld in dit rapport doorontwikkeld moeten worden. De focus zal hierbij in eerste instantie liggen op het waterdicht maken van de drifter door de eerder benoemde oplossingen toe te passen. Vervolgens dient de GPS apparatuur geïntegreerd te worden in de drifter waarna hiermee ook testen uitgevoerd kunnen worden.

Verder kan nog gekeken worden naar de meevoering van de drifter in het water. Indien de drifter veel gaat tollen in het water of niet naar wens met de snelheid van het water meegevoerd wordt, kunnen enkele toevoegingen aan de drifter getest worden. Een oplossing kan zijn door kleine vinnen aan de drifter te lassen om zo het tollen tegen te gaan en om een groter aanstroomoppervlak te creëren.

## Bibliografie

- Abazari, A., Behzad, M., Thiagarajan, K. (2021). Hydrodynamic damping enhancement by implementing a novel combined rigid-elastic heave plate. *Journal of Marine Science Technology* 26, 216–232. <https://doi.org/10.1007/s00773-020-00732-7>
- Argo. (n.d.). *Technological innovations*. Verkregen op 5 Mei 2021, van <https://argo.ucsd.edu/how-do-floats-work/technological-innovations/>
- Britannica. (2020). Archimedes' principle. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/Archimedes-principle>
- El-Sayed, A., Chassapis, C., Esche, S., Dai, S., Xu, S., Jia, R. (2008). Online Wind Tunnel Laboratory. <https://doi.org/10.18260/1-2--3402>
- Kennedy, J. (2020). Salinity: Definition and Importance to Marine Life. Verkregen van: <https://www.thoughtco.com/salinity-definition-2291679>
- Klemas, V. (2012). Remote Sensing of Coastal and Ocean Currents: An Overview, *Journal of Coastal Research* 28(3), 576-586, <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00197.1>
- Lumpkin, R., Özgökmen, T., Centurioni, L. (2017). Advances in the Application of Surface Drifters. *Annual review of Marine Science*, 9, 59-81. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060641>
- NOAA. (n.d.). *Global drifter program objectives*. Verkregen op 3 Mei 2021, van <https://www.aoml.noaa.gov/global-drifter-program/>
- NOAA. (n.d.). Weergave van de werking van een drifter van het GDP. (<https://www.vos.noaa.gov/MWL/201608/Images/ftv/figure3.jpg>)
- Novelli, G., Guigand, C. M., Cousin, C., Ryan, E. H., Laxague, N. J. M., Dai, H., Haus, B. K., & Özgökmen, T. M. (2017). A Biodegradable Surface Drifter for Ocean Sampling on a Massive Scale, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34(11), 2509-2532. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-17-0055.1>
- Richard, G. M., Menendez, M., Torano, J., Torno, S. (2011). Optimization of the recovery of plastics for recycling by density media separation cyclones, *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 472-482. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.12.010>
- Schofield, O., Aragon, D., Jones, C., Kohut, J., Roarty, H., Saba, G., Yi, X., Glenn, S. (2019). Challenges and Innovations in Ocean In Situ Sensors. *Measuring Inner Ocean Processes and Health in the Digital Age*, 173-288. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809886-8.00005-3>
- Solorio, J. (2018). How well do metals and plastics stand up to salts brine or seawater. Corzan. <https://www.corzan.com/blog/how-well-do-metals-and-plastics-stand-up-to-salts-brine-or-seawater>
- Subbaraya, S., Breitenmoser, A., Molchanov, A., Muller, J., Oberg, C., Caron, D.A., Sukhatme, G.S. (2016). Circling the Seas: Design of Lagrangian Drifters for Ocean Monitoring. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 23, 42-53, <https://doi.org/10.1109/MRA.2016.2535154>.
- SurfaceID. (2017). *Choosing the right type of seal*. Verkregen 6 Mei 2021, van <https://surfaceid.com/blog/choosing-right-type-seals/>
- Sybrandy, A. L., Niiler, P. P., Martin, C., Scuba, W., Charpentier, E., Meldrum, D. T. (2009). Global Drifter Programme, *Barometer Drifter Design Reference*, 4



Teunissen, P.J.G., Montenbruck, O. (2017). *Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1>

Tiberius, C.C.J.M. (2020). *Intro to GPS Positioning*. TU Delft.

Ton, A., Lee, M., Vos, S., Gawehn, M., den Heijer, K., Aarninkhof, S. (2020). Sandy Beach Morphodynamics. *Beach and nearshore monitoring techniques*, 659-687. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00027-8>

U-blox. (n.d.). CO99-F9P Application Board, Verkregen op 12 Mei 2021, van [https://www.u-blox.com/sites/default/files/CO99-F9P\\_ProductSummary\\_%28UBX-18022364%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/CO99-F9P_ProductSummary_%28UBX-18022364%29.pdf)

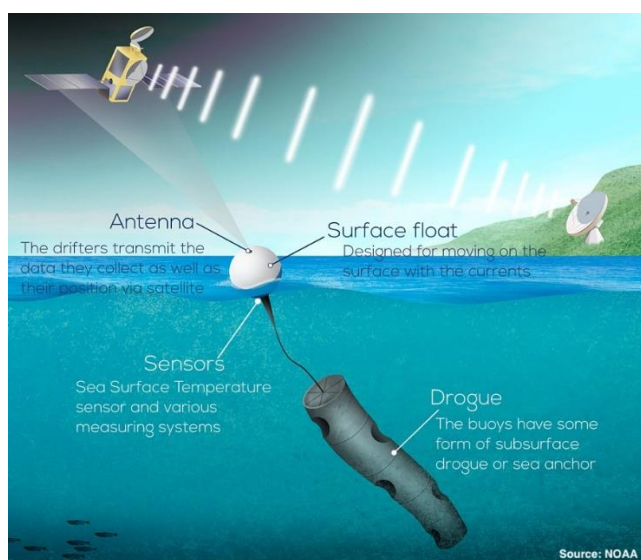
Unitpedia. (n.d.). *Overzicht volumebepaling van een ellipsoïde*. <https://www.unitpedia.com/ellipsoid-volume-and-area-calculator/>

Volkov, L.D., Dong, S., Foltz, G.R., Goni, G., Lumpkin, R. (2019). Observations of Near-Surface Salinity and Temperature Structure with Dual-Sensor Lagrangian Drifters During SPURS-2, *Oceanography*, 32, 66-75. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2019.214>

Wolfram Mathworld. (n.d.). *Weergave volumebepaling van een bolsegment*. <https://mathworld.wolfram.com/SphericalCap.html>.

## Appendix A1: Toepassingen huidige drifters

Drifters worden al langere tijd toegepast om verschillende metingen uit te voeren. Aan de drifters kunnen verschillende sensoren en een GPS ontvanger toegevoegd worden waarmee data verzameld kan worden. Op de website van NOAA (n.d.) staat dat het Global Drifter Program (GDP) is opgezet om op grote schaal meteorologische en oceanografische data te kunnen verzamelen. Rond de 1300 drifters zijn hierbij ingezet om een wereldwijde dekking te verzorgen. Een voorbeeld van een drifter gebruikt voor de GDP is te zien in figuur A1. Elke drifter is uitgerust met een GPS ontvanger waardoor, als gevolg van de locatiebepaling, de snelheid van de drifter berekend kan worden aangezien de drifters vrij meedrijven met de oceaanstroming. De stroomsnelheid en richting van de oceaanstromen kan hierdoor beter in kaart gebracht worden. Een nuttige toepassing van drifters met betrekking tot stroomsnelheid en richting is het voorspellen van het stromingstraject waarin een olie lek zal stromen. Zo kan er geschat worden waar de olie heen zal stromen en actie ondernomen worden om ergere vervuiling tegen te gaan (Schofield et al., 2019).



Figuur A1: Drifter van het GDP. (NOAA, n.d.)

Om de mogelijke toepassingen van drifters optimaal te benutten worden, zoals eerder vermeld, vaak meerdere sensoren toegevoegd. Op deze manier kan niet alleen de positie van de drifter vastgesteld worden, maar worden ook omgevingsfactoren gemeten. Onder andere de oppervlaktetemperatuur van het zeewater kan gemeten worden. De sensoren zorgen voor een accurate meting doordat het zeewater direct gemeten wordt. Door middel van deze 'ground truth' data kunnen satellieten gekalibreerd worden die daardoor ook nauwkeurig de temperatuur van het oppervlaktewater kunnen meten. Onder meer met deze gegevens kunnen weersvoorspellingen met nog meer precisie gemaakt worden. Naast het kalibreren van de satellieten bieden de drifters ook de mogelijkheid om metingen te blijven vergaren wanneer een dicht wolkenveld aanwezig is. Dit maakt meten met behulp van een satelliet namelijk onmogelijk doordat het wolkenveld de signalen reflecteert (Schofield et al., 2019). Barometers kunnen ook gebruikt worden op drifters om de luchtdruk te meten. Deze toepassing is alleen geschikt voor drifters waarbij een voldoende gedeelte boven water ligt. De instroom van water in de luchtinlaat van de barometer dient zo goed mogelijk voorkomen te worden voor accurate metingen (Schofield et al., 2019). Het gebruik van anemometers, welke gebruikt worden om windsnelheden te meten, is naast het plaatsen van een barometer ook een optie voor drifters waarbij een groter gedeelte van het systeem boven het wateroppervlak uitsteekt (Schofield et al., 2019). Het zoutgehalte van het zeewater kan ook gemeten worden door een salinometer toe te voegen. Met behulp van sensoren die de elektrische conductiviteit van het water

meten kan het zoutgehalte bepaald worden. Drifters die uitgerust zijn met een salinometer zijn duur in verhouding met andere sensoren, waardoor ze niet op grote schaal ingezet worden (Lumpkin et al., 2017). Het zoutgehalte van het water heeft invloed op de flora en fauna die in het gebied kunnen leven. Zo kunnen modellen gebruikt voor de visserij gemaakt worden die in kaart brengen waar bepaalde soorten zich waarschijnlijk bevinden. Verder kan het zoutgehalte invloed hebben op de stroming van het zeewater. Een hoog gemeten zoutgehalte kan hierdoor een verklaring zijn voor een verandering van de stroming (Kennedy, 2020).

De metingen die drifters verrichten zullen niet altijd foutloos zijn. Naast standaardmeetfouten van de sensoren zal de drifter ook beïnvloed worden door wind en golven. Nieuwe ontwikkelingen voor de drifters worden constant doorgevoerd. De meetfouten van de sensoren zijn door het continue verbeteren van de kwaliteit al significant verbeterd. Om de invloed van wind en golven te beperken dient allereerst gekeken te worden naar de toepassing van de drifter. Wanneer alleen de windsnelheid, oppervlaktetemperatuur en luchtdruk gemeten wordt zal de invloed van wind minder nadelig zijn dan dat van golven. Voor drifters die alleen een GPS ontvanger bij zich dragen om de oceaanstroming te volgen geldt dit echter precies omgekeerd. Hierbij kan de wind een rol spelen in de snelheid waarmee de drifter zich voortbeweegt. Een drifter die ver boven het waterniveau ligt zal meer hinder ondervinden van wind dan een drifter die dicht op het niveau van het wateroppervlak ligt (Klemas, 2012). Het voorbeeld van de invloed van wind en golven op verschillende drifters laat zien dat niet alle eerder genoemde metingen met één drifter gedaan zullen worden. Vaak zijn ze ontwikkeld om enkele metingen zo goed mogelijk uit te voeren (Klemas, 2012). Een 'drogue' is een voorbeeld van een ontwikkeling ten gevolge van specialisatie in drifter toepassingen. De drogue kan gezien worden als een onderwater zeil waardoor de drifter zich nog nauwkeuriger voortbeweegt met betrekking tot de stroming van het water. Het gevolg is dat eventuele invloeden van wind op de drifter nu minder impact op de metingen zullen hebben (Ton et al., 2020). Niet alle drifters bestaan uit een deel welke zich constant boven het wateroppervlak bevindt. De Argo float is een voorbeeld van een drifter die alleen boven water zal komen om verbinding te maken met een satelliet voor het versturen van data. Deze drifter meet de temperatuur en het zoutgehalte in de oceaan op dieptes van meer dan 2000 m (Argo Float, n.d.). Voor satellieten is het niet mogelijk dit te meten aangezien de signalen gereflecteerd worden door het water.

## Appendix A2: Opbouw huidige drifters

### A2.1 Vorm en dimensies

De vorm en dimensies van een drifter hangt van verschillende factoren af. Zo zal de grootte en diepteligging van de drifter beperkt worden voor ondieper water of smalle stroombreedtes. Alle meetapparatuur dient ook in de drifter te passen, waardoor de minimale dimensies van de drifter hierdoor mede bepaald worden. Ook de eerder benoemde invloed van wind heeft effect op het formaat van het ontwerp.

Ten eerste het drijfvermogen, waarop het principe van een drifter werkt. Het drijfvermogen wordt voornamelijk bepaald door het gewicht en volume van de drifter. Volgens het principe van Archimedes drijft een object wanneer de opwaarts werkende drijfkracht van een object gelijk is aan het gewicht van de vloeistof dat door het object verplaatst wordt (Britannica, 2020). De opwaartse kracht kan omschreven worden met de volgende formule:









$$F = \rho \cdot V \cdot g \quad \text{[A2.1]}$$

Waarin:

F = Opwaartse kracht	[N]
$\rho$ = Dichtheid verplaatste vloeistof	[kg/m <sup>3</sup> ]
V = Volume verplaatste vloeistof	[m <sup>3</sup> ]
g = valversnelling	[m/s <sup>2</sup> ]

Een drifter met een groter volume, gemaakt van een materiaal met lage dichtheid zal dus een groter drijfvermogen hebben dan een even groot object gemaakt van materiaal met hogere dichtheid. Verdere invloed van materiaalkeuze zal in sectie A2.2 verder worden behandeld. Naast drijfvermogen is de stabiliteit van een drifter ook belangrijk. Als het compartiment waarin de antenne zich bevindt door het omslaan van de drifter onder de waterspiegel ligt, zal er geen signaal van de satelliet naar de ontvanger kunnen gaan. De radiogolven worden gereflecteerd door het water waardoor de positiebepaling van de drifter op dat moment niet mogelijk is. Naast het voorkomen van het kantelen van de drifter, dient schommeling ook zoveel mogelijk tegengegaan te worden. Hiermee wordt schommeling in horizontale en verticale richting bedoelt. Horizontale schommeling dient tegengegaan te worden zodat de metingen niet teveel zijwaarts uitwijken. Dit gebeurt voornamelijk wanneer de antenne hoog boven het wateroppervlak wordt geplaatst, omdat op dit punt de zijwaartse beweging groter is vergeleken met een punt dichtbij het zwaartepunt van de drifter. Op- en neerwaartse bewegingen van de drifter kunnen, net als hoge golven, ervoor zorgen dat de drifter tijdelijk onder water komt. Een drifter waarbij de antenne dicht bij de waterspiegel geplaatst is kan hierdoor tijdelijk geen metingen doen doordat het signaal verbroken wordt. Eventuele waterdruppels die achterblijven op de behuizing van de drifter kunnen ook de metingen verstoren. Het beperken van de hoogte van de drifter boven (en onder) het wateroppervlak zal de zijwaartse schommeling al flink beperken. Daarnaast is een lagere weerstandscoefficiënt hierbij ook van belang. De drifter zal door de lagere weerstand niet alleen minder schommelen doordat de kracht op het object lager is, maar het zal ook zorgen voor watersnelheidsmetingen die meer waarheidsgetrouw zijn. Door een lagere weerstand wordt de drifter minder tegengehouden in het water en zal dus de echte stromingsnelheid van het water beter benaderen. Dit is ook de reden dat veel drifters een ronde vormen hebben, zoals de drifters gebruikt voor het Global Drifter Program (zie figuur A1). De weerstandscoefficiënt van een bol is erg laag vergeleken met andere vormen, zoals te zien is in figuur A2.1.

Op- en neerwaartse bewegingen kunnen voorkomen worden door een ronde schijf aan de behuizing van de drifter te maken. De schijf zal voor een dempend effect in verticale richting zorgen doordat het de weerstandscoefficiënt van de drifter in deze richting vergroot (Abazari et al., 2021). Doordat de schijf een dunne doorsnede heeft, zal de extra weerstand in horizontale richting minimaal zijn.

Type of body	Reference area $S$	Reynolds number $Re$	Drag coefficient $C_D$
Cube	 $S = D^2$	$Re > 10^4$	1.05
	 $S = D^2$	$Re > 10^4$	0.8
Solid hemisphere	 $S = \pi D^2 / 4$	$Re > 10^4$	$\rightarrow 0.42$ $\leftarrow 1.17$
Hollow hemisphere	 $S = \pi D^2 / 4$	$Re > 10^4$	$\rightarrow 0.38$ $\leftarrow 1.42$
Thin disk	 $S = \pi D^2 / 4$	$Re > 10^3$	1.1
Circular disk	 $S = \pi D^2 / 4$	$Re \leq 1$ $Re > 10^4$	$20.4/Re$ 1
Sphere	 $S = \pi D^2 / 4$	$Re \leq 1$ $1 < Re \leq 2 \times 10^5$ $Re > 2 \times 10^5$	$24.0/Re$ 0.45 0.2
Streamlined body	 $S = \pi D^2 / 4$	$Re > 10^5$	0.04

Figuur A2.1: Weerstandscoefficiënt van verschillende vormen. (El-Sayed et al., 2008)

## A2.2 Materiaal

De keuze voor het materiaal waaruit een drifter bestaat wordt eveneens beïnvloedt door diverse factoren. Ten eerste mag het materiaal niet te zwaar zijn, vanwege het drijvende principe waarop drifters werken. Indien gebruik gemaakt wordt van metalen of andere materialen met een hoog soortelijk gewicht zal de drifter niet functioneren. Het materiaal kan ook niet een te laag soortelijk gewicht, omdat hierdoor de invloed van wind en golven een nadelig effect kan hebben. De drifter zal dan hoger boven het wateroppervlak komen te liggen waardoor het meer wind zal vangen. Voor materiaal met een laag soortelijk gewicht kunnen echter oplossingen gevonden worden door extra gewicht binnen het omhulsel van de drifter te plaatsen of door extra gewichten aan de drifter te hangen. Kunststof wordt vaak voor het omhulsel van de drifter gebruikt door de lage dichtheid van het materiaal, namelijk tussen de 900 en 1.500 kg/m<sup>3</sup> (Richard et al., 2011). Vaak wordt bij drifters gekozen voor het gebruik van Acrylonitril-butadien-styreen (ABS) aangezien dit niet bros wordt bij temperaturen tot tenminste -10 °C. PVC wordt wel bros naarmate het materiaal kouder wordt waardoor er scheurtjes kunnen ontstaan en de drifter het risico heeft lek te raken (Sybrandy et al., 2009).

Vaak bestaat het omhulsel van de drifter uit meerdere onderdelen en dienen deze samengevoegd te worden tot een geheel, bijvoorbeeld met behulp van schroeven. Om roestvorming te voorkomen kan gewerkt worden met schroeven van roestvrijstaal (RVS) materiaal om de roestvorming langzamer te laten verlopen. Zout water versneld de roestvorming op materialen doordat het opgeloste zout de geleiding van elektronen in het water verhoogd (Solario, 2018). Aangezien zout water geen speciale invloed heeft op kunststof is dit ook een belangrijke reden voor het gebruik van dit type materiaal voor de drifters.

Door toenemende problemen met stukjes micro-plastic in de oceanen wordt er ook gekeken naar duurzamere alternatieven voor drifters. Experimenten met biologisch afbreekbaar materiaal zoals hout en kurk zijn al uitgevoerd en ook nieuwere materialen zoals polyhydroxyalkanoaat (PHA), een biopolymeer, worden gebruikt. Doordat deze materialen biologisch afbreekbaar zijn zal er na de levensduur van de drifter minder vuil in de oceaan achterblijven (Novelli et al., 2017). Voor een optimaal satelliet signaal zal er ook rekening gehouden moeten worden met het materiaal

dat zich boven de antenne bevindt. Metalen verstoren het signaal waardoor rekening gehouden moet worden met de plaatsing van de antenne en het materiaal dat de antenne omhuld.

### A2.3 Waterdichtheid

De behuizing van de drifter dient waterdicht te zijn om te voorkomen dat de meetapparatuur binnenin kapot gaat. Om dit te kunnen bereiken kan gebruik worden gemaakt van veel verschillende toepassingen. Twee manieren om de drifter waterdicht te maken worden onderscheiden. Een is het compleet afsluiten van een drifter die langdurig op de oceaan ingezet zal worden. De ander is een drifter die vaker opengemaakt zal moeten worden. Voor het compleet afsluiten van de drifter zijn er verschillende manieren. Een voorbeeld van een compleet gesloten drifter is die van het WOCE Surface Velocity Programme (Sybrandy et al., 2009). Deze drifter bestaat simpelweg uit twee halve bollen die op elkaar bevestigd zijn. De drifter wordt met kunststoflijm dichtgemaakt en vervolgens vacuüm gezogen. Als de druk voor langere tijd gelijk blijft zullen er geen gaatjes aanwezig zijn en kan ook het gat waardoor de vacuüm pomp komt dichtgemaakt worden met behulp van extra kunststof en waterdichte lijm (Sybrandy et al., 2009). Andere manieren om de drifter waterdicht te maken is het gebruik van een rubberen of roestvrijstalen o-ring. De o-ring zal om het omhulsel waar de twee delen samenkomen worden geplaatst in een groef om te verzekeren dat hier geen water door zal komen. De stalen o-ring kan vervolgens dichtgeklemd worden met behulp van clips, klemmen of schroeven (Subbaraya et al., 2016). Als alternatief voor de stalen o-ring kan ook gebruik worden gemaakt van pakkingen, waarna de twee delen vervolgens klem worden gezet (SurfaceID, 2017). Wanneer de drifter echter vaker opengemaakt dient te worden, bijvoorbeeld wanneer verkregen data achteraf overgezet dient te worden naar een laptop, zijn eerder genoemde methodes niet efficiënt. In dit geval kan een oplossing zijn om een schroefdop aan de bovenkant te plaatsen met een opening groot genoeg om de meetapparatuur uit de drifter te halen. Om zeker te zijn dat de apparatuur niet beschadigd door kleine druppels water die van de schroefdop afkomen kan de apparatuur in een aparte waterdichte behuizing worden geplaatst.

### A2.4 Handbaarheid

Drifters kunnen op verschillende manieren uitgezet worden waarbij met verschillende aspecten rekening moet worden gehouden. Bij het uitzetten van drifters vanaf zowel een boot als uit een vliegtuig dient bij het ontwerp rekening te worden gehouden met de impact van de klap waarmee de drifter op het water terecht komt. Door de grote hoogte zullen vanuit een vliegtuig de krachten op de drifter groter zijn bij het raken van het wateroppervlak. Om deze reden wordt de apparatuur binnen het omhulsel van de drifter vastgezet zodat de interne systemen elkaar niet beschadigen. Extra bescherming aan drifters die vanuit de lucht worden uitgezet wordt geboden door het gebruik van een parachute en kleine airbags die openen vlak voor het raken van het wateroppervlak (Schofield et al., 2019). Drifters die van een drogue (zie Appendix A1) gebruik maken worden verpakt in een doos zodat de drogue zich in het water pas zal onvouwen. Door de doos van biologisch afbreekbaar materiaal te maken dat vanzelf binnen korte tijd oplost, zal de drogue zich vanzelf onvouwen (Volkov et al., 2019). Drifters die zwaarder zijn, zoals boeien, kunnen met kranen vanaf een boot het water ingelaten worden.

Indien onderhoud nodig is zullen de kranen ook weer nodig zijn om de boei aan boord van het schip te halen. Lichtere drifters, vaak gebruikt voor kort durende experimenten, dienen ook makkelijk teruggehaald te kunnen worden. Voor zeer lichte drifters kan hiervoor een schepnet gebruikt worden, aangezien zij vaak in ondieper water ingezet worden en zeer waarschijnlijk geen lange drogue in het water hebben drijven.

## Appendix B: Afmetingen en gewicht meetapparatuur

**Gewicht:** Alleen het gewicht van de apparatuur die in de drifter geplaatst wordt is meegenomen.

Application board: 53,6 gram

Antenne inclusief draad: 174 gram

Metalen plaatje: 30,5 gram

Smartphone: 189,5 gram

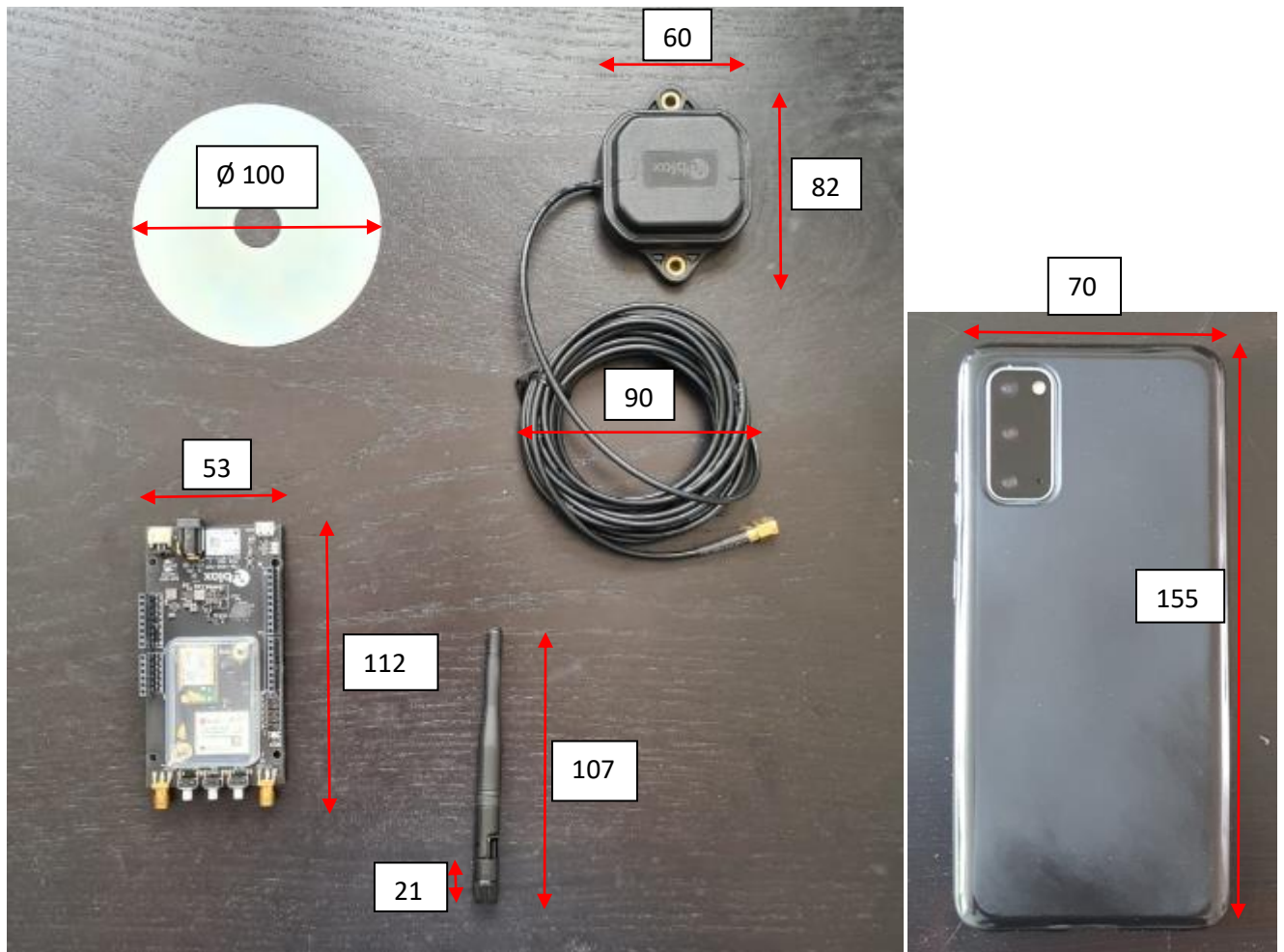
Bluetooth/Wi-Fi antenne: 10,2 gram

Power cable: 13,3 gram

Totaal: 471,1 gram

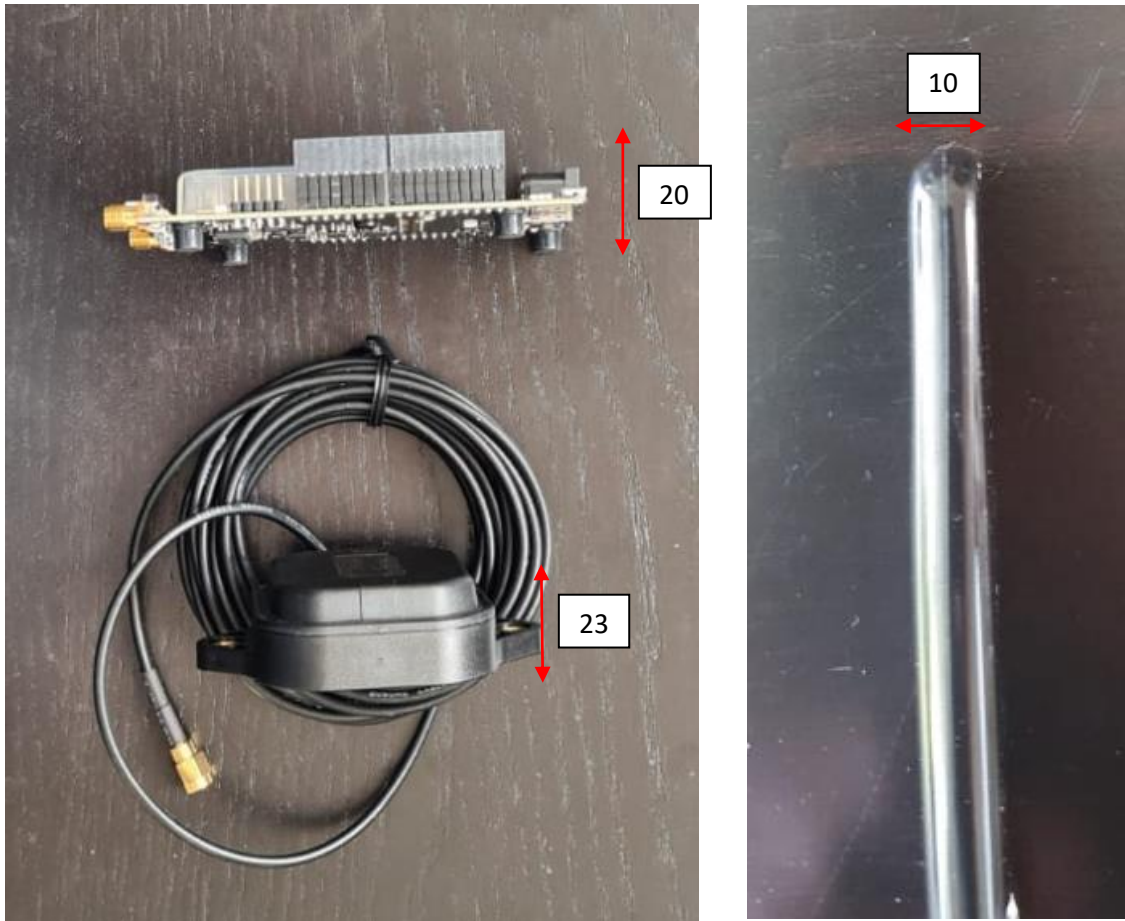
### Afmetingen:

De afmetingen zijn in figuur B1 en B2 aangegeven. Maten zijn aangegeven in mm. Afmetingen dienen niet uit de foto opgemeten te worden.



Figuur B1: Breedte en lengte afmetingen meetapparatuur.





*Figuur B2: Dikte afmetingen antenne, application board en smartphone.*



## Appendix C: Formule volumeberekening bol

Het volume van het verplaatste water moet gelijk staan aan de kracht van de drifter dat naar beneden werkt. Deze kracht bestaat uit het gewicht van de apparatuur en het kunststof omhulsel. Het gewicht van lucht is hierbij verwaarloosbaar klein. Formule A2.1 wordt hiervoor gebruikt. Om het volume van het kunststof te berekenen wordt voor zowel de bol als de ellipsoïde de volgende formule gebruikt:

$$V = \frac{4}{3} \pi a b c$$

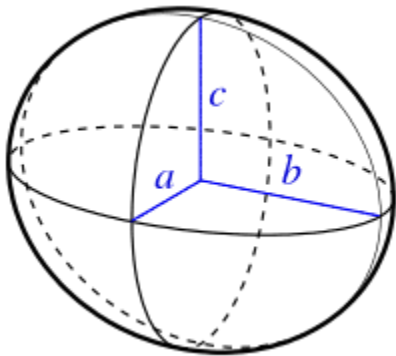
V = Volume bol/ellipsoïde

[m<sup>3</sup> ]

a, b, c = Radius

[m ]

Voor de bol geldt dat de waarde voor a, b en c gelijk is. Voor de ellipsoïde zullen de waardes van a en b hetzelfde worden. Voor de radius van c zal een kleinere waarde worden aangenomen dan die van a en b. Hierdoor is de bol over een groter gedeelte van het wateroppervlak verspreid zodat de stabiliteit toeneemt.



Figuur C1: Overzicht radius verdeling bol ( Unitpedia ,n.d.)

## Appendix D: Bol uitwerking berekening

De kracht geleverd door het gewicht van het kunststof van de bol wordt berekend door eerst het volume van het kunststof te bepalen. Dit is gelijk aan het volume met de buitenste diameter van de bol min het volume van de radius min de dikte van de plastic bol. Hier moet echter nog het volume van de opening in de bol ( $\varnothing$  120 mm) af gehaald worden. De diameter van de bestelde bol is 300 mm. De dikte  $t$  is 3 mm.

$$V_{outer} = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi 0,15^3 = 0,014 \text{ m}^3$$

$$V_{inner} = \frac{4}{3} \pi (r - t)^3 = \frac{4}{3} \pi (0,15 - 0,003)^3 = 0,0133 \text{ m}^3$$

$$V_{opening} \approx \pi r^2 \cdot t = \pi 0,12^2 \cdot 0,003 = 0,000136 \text{ m}^3$$

$$V_{kunststof} = V_{outer} - V_{inner} - V_{opening} = 0,000696 \text{ m}^3$$

Met het volume van het plastic en de dichtheid van het PE kunststof van de bol kan de kracht door het gewicht van het kunststof berekend worden.

De dichtheid van PE van de bol is  $\rho_{PE,bol} = 919 \text{ kg/m}^3$

$$F_{kunststof} = \rho V_{kunststof} g = 919 \cdot 0,000696 \cdot 9,81 = 7,495 \text{ N}$$

De kracht door het gewicht van de apparatuur wordt berekend met een totaal gewicht van de apparatuur van 471,1 gram (zie Appendix B).

$$F_{apparatuur} = W_{apparatuur} \cdot g = 0,4711 \cdot 9,81 = 4,621 \text{ N}$$

De totale kracht is dan de kracht van het kunststof en de apparatuur opgeteld. Het gewicht van lucht in de bol is hier verwaarloosbaar.

$$F_{totaal} = F_{kunststof} + F_{apparatuur} = 12,116 \text{ N}$$

Nu kan het volume van het water dat door de bol verplaatst is worden berekend:

$$V_{water,verplaatst} = \frac{F_{totaal}}{\rho \cdot g} = \frac{12,116}{1000 \cdot 9,81} = 0,001235 \text{ m}^3$$

Om de diepteligging van de bol nu te kunnen bepalen wordt gebruik gemaakt van de formule voor het berekenen van het volume van een bolsegment. Een weergave van de parameters is te zien in figuur D1:

$$V_{bolsegment} = \frac{\pi h^2}{3} (3r - h)$$

$h$  = Diepteligging in het water

[m]

$r$  = Radius bol

[m]

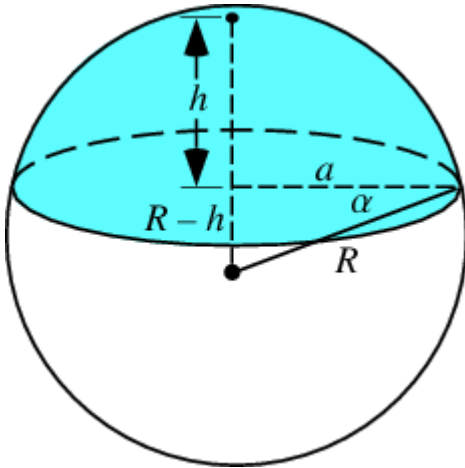


Figure D1: Volume bepaling van een bolsegment (Wolfram Mathworld. (n.d.).

Zo kan iteratief worden bepaald welk volume het bolsegment moet hebben voor een bepaalde diepteligging. Het volume van het verplaatste water moet hieraan gelijk zijn. Om de gewenste diepteligging van 0,15 m te krijgen zal het volume van het verplaatste water gelijk moeten zijn aan:

$$V_{bolsegment} = \frac{\pi 0,15^2}{3} (3 \cdot 0,15 - 0,15) = 0,00706 \text{ m}^3$$

Om het volume van het verplaatste water gelijk te brengen aan het volume van het bolsegment dient de drifter verzwaard te worden. De drifter zal binnenin opgevuld worden met een materiaal dat zorgt voor een gelijk verdeelde belasting over de hele breedte van het bolsegment. Voor een diepteligging van 0,15 m blijkt een extra gewicht van 6 kg aan de drifter toegevoegd te moeten worden. Hiermee wordt de totale kracht van de drifter naar beneden gericht 63,48 N. Het volume van het water dat hierdoor verplaatst wordt komt hiermee op  $0,007235 \text{ m}^3$ . Dit komt weer overeen met een diepteligging van 0,152 m, ongeveer 0,15 m.

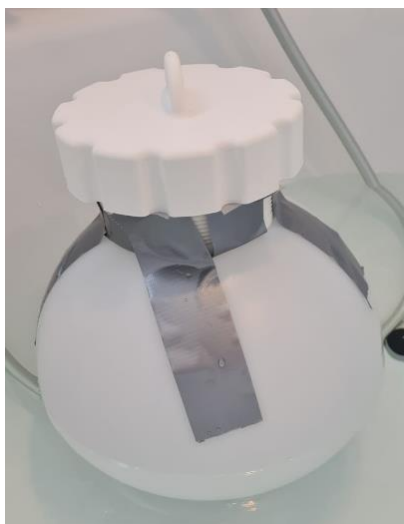
De drifter dient dus verzwaard te worden. Losse gewichten of stenen toevoegen is geen optie aangezien dit het lastig maakt het gewicht uniform te verdelen. Een opvulling door middel van cement of zand doordrenkt met epoxy hars is een betere oplossing. Cement zal uiteindelijk gebruikt worden aangezien het mengen van zand met epoxy hars een stuk lastiger is dan het storten van cement in de drifter. Afhankelijk van de beschikbare mengsels zal worden berekend wat de benodigde hoeveelheid is om 6 kg aan het gewicht van de drifter toe te voegen.

## Appendix E: Testmethodes conceptontwerp

### Stabiliteitstest:

Om de berekening van de diepteligging te controleren wordt aan de PE bol 6 kg aan gewichten toegevoegd om op deze manier ten eerste de diepteligging te controleren. De drifter zal in een bad gevuld met stilstaand koud water worden gelegd zodat de mogelijkheid wordt geboden om de diepteligging makkelijk te meten. Om het uiteindelijk gewicht van de drifter zo nauwkeurig mogelijk te benaderen worden de hals en dop op de bol geplakt met duct tape zoals te zien is in figuur E1. In de bol wordt een rolmaat geplaatst die ongeveer (benadering tot op een paar gram) hetzelfde gewicht als de antenne heeft. De berekening die voor de diepteligging is gemaakt kan zo worden gecontroleerd. De bol heeft aan de buitenzijde een zichtbare lijn op de helft door de samensmelting van twee delen bij de productie. Hieraan is te controleren of de bol daadwerkelijk tot op deze diepte in het water ligt.

Vervolgens zal gekeken worden naar de stabiliteit van de drifter in het water. Het is van belang dat de drifter niet om zal slaan. De drifter zal dus na een serie golven of een zucht wind zich weer moeten stabiliseren. Om te testen hoe groot de uitwijking is en of de drifter niet omslaat zullen golven gemaakt worden in het bad. Ook zal de dop van de drifter een aantal keer met kracht opzij worden geduwd om te kijken of de drifter bij een grotere kracht ook niet omslaat en zich weer stabiliseert.



*Figuur E1: Stabiliteitstest van de PE bol met PLA hals en dop.*

### PE lijm en kit test:

Om uitsluitsel te geven of het lijmen van PE kunststof met PLA mogelijk is zullen verschillende lijmen en een kit getest worden. Om de PE bol en PLA hals niet onnodig te beschadigen worden aparte plaatjes PE (figuur E2) en PLA (figuur E3) besteld. Twee verschillende industrielijmen worden getest: Loctite 401 snellijm en MESA industriekrachtlijm, weergegeven in figuur E4 en E5. Daarnaast zal bij enkele plaatjes ook een primer, speciaal gemaakt voor PE kunststof, gebruikt worden voor het lijmen. De primer die getest wordt is de MESA PE/PP primer, weergegeven in figuur E6. Voordat de plaatjes op elkaar worden gelijmd worden ze ontvet en vervolgens geschuurd. Hierna zullen de primer en de lijmen in verschillende combinaties toegepast worden. Zo zal de primer eerst op beide kunststoffen aangebracht worden en gedroogd laten worden waarna beide lijmen op aparte plaatjes getest worden. Ook zal de primer alleen op het PE plaatje aangebracht worden waarna vervolgens weer beide lijmen worden getest. Als laatste wordt voor 2 plaatjes alleen de lijm

gebruikt zonder primer. Een voorbeeld van de manier waarop de plaatjes gelijmd zijn is te zien in figuur E7.



*Figuur E2: PE proefstukken.*



*Figuur E3: PLA proefstuk*



*Figuur E4: Loctite 401 snellijm.*



*Figuur E5: MESA industriekrachtlijm.*



*Figuur E6: MESA PE/PP Primer.*



*Figuur E7: Combinaties van gelijmde kunststof plaatjes.*

De hechting van een kit om een waterdichte afsluiting te maken wordt ook getest op de PE plaatjes. De kit die wordt gebruikt is de Griffon HBS-200 rubber tix, te zien in figuur E8. De plaatjes worden ook weer schoongemaakt met alcohol en geschuurd voordat de kit aangebracht wordt. De kit wordt langs de rand gladgestreken zodat geen kleine openingen langs de rand ontstaan. Een voorbeeld van de kit aangebracht op de PE plaatjes is te zien in figuur E9.





Figuur E8: Griffon HBS-200 kit.



Figuur E9: Kit aangebracht op twee PE plaatjes.



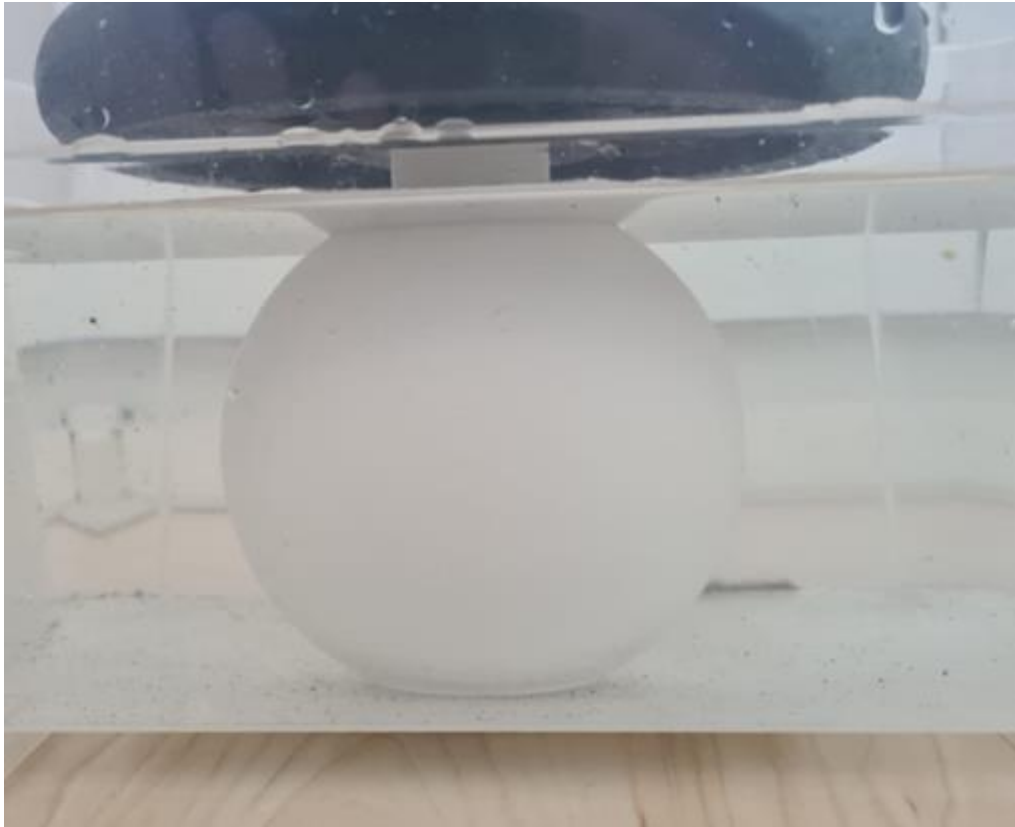
### **Waterdichtheidstest materialen:**

De waterdichtheid van de PE bol en het PLA model van de bol met een diameter van 100 mm zal ook getest moeten worden. De test voor de PE bol zal tegelijkertijd getest worden in bad met de test voor de diepteligging als eerder beschreven. Enkele vellen wc-papier zullen in de drifter gelegd worden om na afloop te zien of de vellen water op hebben genomen.

Het 3D model van de bol zal op twee manieren worden getest. De eerste manier is door de drifter in een bak water te laten staan voor enkele uren. De tweede manier zal zijn door de bol zelf te vullen en op een bord te plaatsen waar gekeken wordt of druppels uit de bol komen. Voor de eerste test zal de drifter worden gevuld met wc-papier. De bol zal een nacht in het water blijven staan waarna gekeken wordt of het wc-papier vochtig geworden is. In figuur E10 is de bol met de vellen wc-papier te zien. In figuur E11 is een overzicht van de opzet te zien waarmee de drifter onder water wordt gehouden.

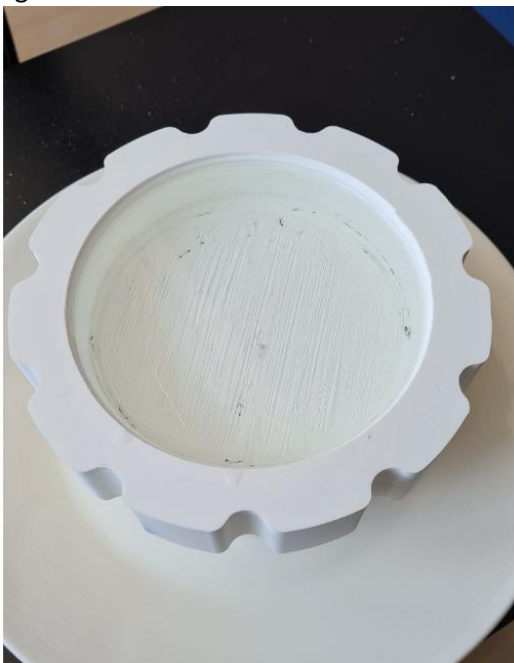


*Figuur E10: 3D  $\varnothing$ 100 mm bol gevuld met wc-papier.*



*Figuur E11: Onder water proefopzet 3D  $\varnothing$ 100 mm bol.*

Voor de dop en hals moet ook gecheckt worden of er kleine gaatjes in de afdichting zitten. Voor de hals wordt dit later gecheckt als de bol aan de drifter vastgemaakt is. De dop zal omgekeerd op een bord worden gezet en gevuld worden met water. Ook hier zal na enkele uren gekeken worden of het water door enkele kleine gaatjes naar buiten kan stromen. De opzet van deze proef is te zien in figuur E12.

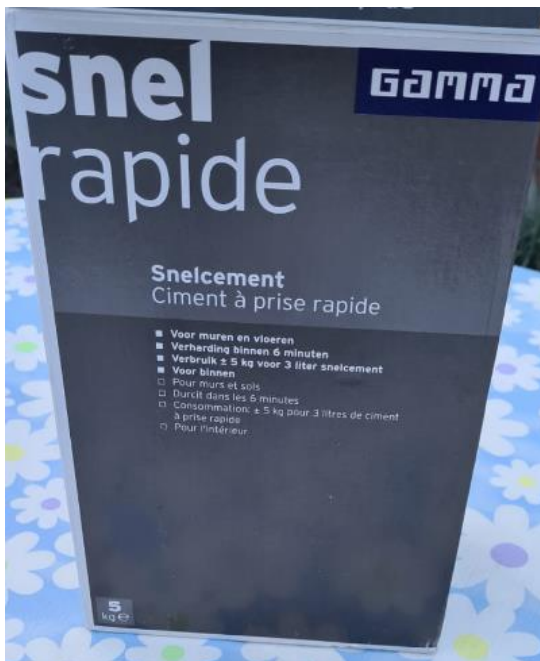


*Figuur E12: Proefopzet waterdichtheidstest PLA dop.*

### Cement test:

Een bruikbaar cement mengsel moet gevonden worden om de drifter mee te verzwaren. De voorkeur gaat uit naar een snel uithardend cement zodat het maken van de drifter geen dagen werk zal zijn. Het mengsel dient niet belast te worden en dus is een snel uitgeharde toplaag voldoende om mee verder te werken. Het mengsel zal eerst in een emmer getest worden om de hechting aan kunststof te testen.

Het gekozen cement is snelcement van de GAMMA, te zien in figuur E13. Het voordeel van het mengsel is niet alleen de snelle uithardingstijd, maar ook dat enkel water toegevoegd moet worden. De emmer zal eerst schoongemaakt worden met alcohol en vervolgens weer geschuurd worden voor een betere hechting. Vervolgens wordt het hele pak snelcement in de emmer gestort. Voor 5kg (het gehele pak) dient 1 L water toegevoegd te worden zodat het totale mengsel ongeveer 6 kg zal wegen. Dit is ook de hoeveelheid dat nodig zal zijn voor de drifter. Het cement wordt goed doorgeroerd met behulp van een troffel en vervolgens aangedrukt en gladgestreken. In figuur E14 is te zien hoe het cementmengsel in de emmer voor en na het drogen er uit ziet.



Figuur E13: GAMMA Snelcement.



*Figuur E14: Overzicht van het vloeibare cementmengsel (links) en het opgedroogde cement in de emmer (rechts).*

#### **Krachttest dop:**

De ring die aan de 3D geprinte deksel is gemaakt zal getest moeten worden op stevigheid. Aan de ring zal een stuk touw worden vastgemaakt en aan het uiteinde een gewicht. Het gewicht zal steeds zwaarder worden gemaakt om te kijken welke kracht de ring kan weerstaan. Er zal begonnen worden bij een kracht van 2 kg. Als de ring deze kracht houdt zal het gewicht telkens met 2 kg verzwaard worden. De ring zal minimaal een trekkracht van 100 N ( $\approx 10$  kg) moeten kunnen weerstaan. Een overzicht van de testopzet is te zien in figuur E15.

Ook zal getest moeten worden of het schroefdraad sterk genoeg is om een trekkracht van 100 N aan te kunnen. Dit zal bij het definitieve ontwerp getest moeten worden doordat bij het eerste ontwerp van de hals en de dop geen rekening gehouden is met tolerantie. Het gevolg is dat de dop niet goed op de hals gedraaid kan worden.



*Figuur E15: Testopzet krachttest dop.*

## Appendix F: Stappenplan realisatie definitief drifterontwerp

De realisatie van het definitieve drifterontwerp beschreven in sectie 6.1 is onderverdeeld in 3 stappen:

- Storten cementlaag
- Bevestigen hals
- Afkitten hals

Voor elke stap zal een overzicht van de benodigde materialen gegeven worden waarna met behulp van foto's de volgorde van de werkzaamheden en de uit te voeren handelingen beschreven staat.

### Stap 1: Storten cementlaag:

Voor het storten van het cementmengsel in de drifter zullen de volgende materialen nodig zijn. Een overzicht van de materialen is ook te zien in figuur F1:

- 5 kg Snelcement GAMMA
- 1 L water
- Troffel
- Schuurpapier
- Emmer
- Handschoenen
- Schoonmaakalcohol
- Keukenpapier
- Meetlint



Figuur F1: Overzicht materialen voor storten van cementmengsel.

Ten eerste zal, om het cementmengsel egaal te verdelen over de drifter, de bol gevuld moeten worden met water. Hiervoor dient de bol waterpas op een verhoging geplaatst te worden (zie figuur F2), of in een grote bak met water gelegd te worden. Zo zal de laag water in de drifter ook egaal verdeeld zijn. Met behulp van een pen of marker kunnen nu hulplijnen getekend worden op een hoogte van ongeveer 10 cm. De verwachting is dat het mengsel rond deze hoogte in de drifter zal komen.



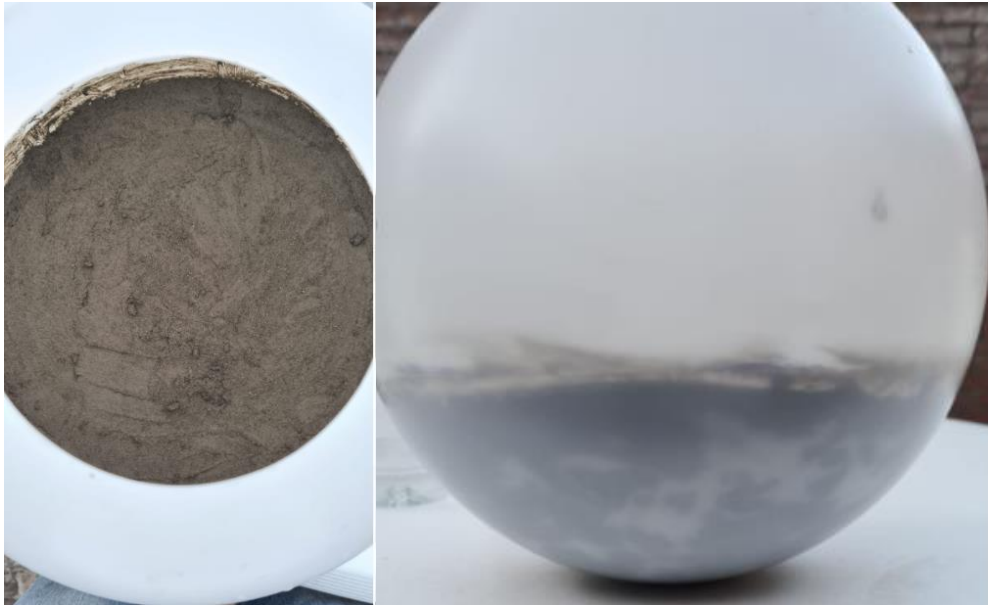
*Figuur F2: Bol geplaatst op de hals voor gelijke evenwichtsverdeling.*

Vervolgens kan de drifter van binnen schoongemaakt worden met alcohol om het oppervlak van de bol vetvrij te maken. Zodra de alcohol opgedroogd is kan het oppervlak licht opgeschuurd worden om voor een betere hechting van het cementmengsel te zorgen.

Voordat het cementmengsel gemaakt moet worden dient de bol weer op de hals geplaatst te worden en te controleren of deze waterpas staat. Het cementmengsel droogt snel op na het mengen dus is het belangrijk dat de bol al klaar staat in de juiste positie.

Nu kan het pak snelcement in zijn geheel in een lege emmer worden gestort. Vervolgens kan het water langzaam in de emmer gegoten worden terwijl met de troffel het mengsel doorgeroerd wordt. Hierbij moet ook de bodem goed doorgeroerd worden aangezien hier nog veel poeder achter kan blijven. Als het mengsel goed doorgeroerd is kan begonnen worden met het scheppen van het cement in de drifter. Ook deze stap dient binnen 5 minuten uitgevoerd te worden doordat het cement snel hard wordt. Het cement dat in de bol wordt gestort moet vervolgens goed aangedrukt worden zodat de hele bodem goed gevuld is en goed aan het kunststof hecht. Als laatste stap moet het mengsel met de troffel glad gestreken worden. Als de troffel te groot is om makkelijk te kunnen werken in de bol kan het mengsel ook relatief goed gladgestreken worden met de hand. Het cementmengsel zal snel uitharden maar dient minimaal twee uur te staan voordat verder gegaan kan worden met stap 2. Een voorbeeld van het cementmengsel gestort in de drifter is te zien in figuur F3.





*Figuur F3: Overzicht van cementmengsel gestort in de bol.*

## **Stap 2: Bevestigen hals**

Voor het bevestigen van de hals op de bol zullen de volgende materialen nodig zijn:

- PE bol gevuld met cement
- PLA hals
- MESA industriekrachtlijm
- Griffon HBS-200 kit
- Kitpistool
- Schoonmaakalcohol
- Keukenpapier/schoonmaakdoek
- Standaard voor de bol (vaas/emmer/bakje)
- Waterpas
- Boormachine met boorkopje (metaalboor)  $\varnothing$  4 mm
- 6x M4 RVS/gegalvaniseerde bouten en moeren. Lengte minimaal 16 mm, maximaal 30 mm
- 6x Nylon/rubberen M4 sluitringen
- Handschoenen
- Schuurpapier
- Kruiskopschroevendraaier
- Tang

De eerste stap is het lijmen van de hals op de bol zodat de hals op de juiste plek blijft zitten wanneer gaatjes in de bol worden geboord. Eerst dient de onderkant van de halsrand ontvet te worden met schoonmaakalcohol en vervolgens geschuurd te worden. Zoals te zien is in figuur F4 bevat de rand veel oneffenheden door het 3D printen. De rand dient daarom zo egaal mogelijk gemaakt te worden voor een goede fitting op de bol.



*Figuur F4: Oneffenheden op de onderkant van de PLA halsrand.*

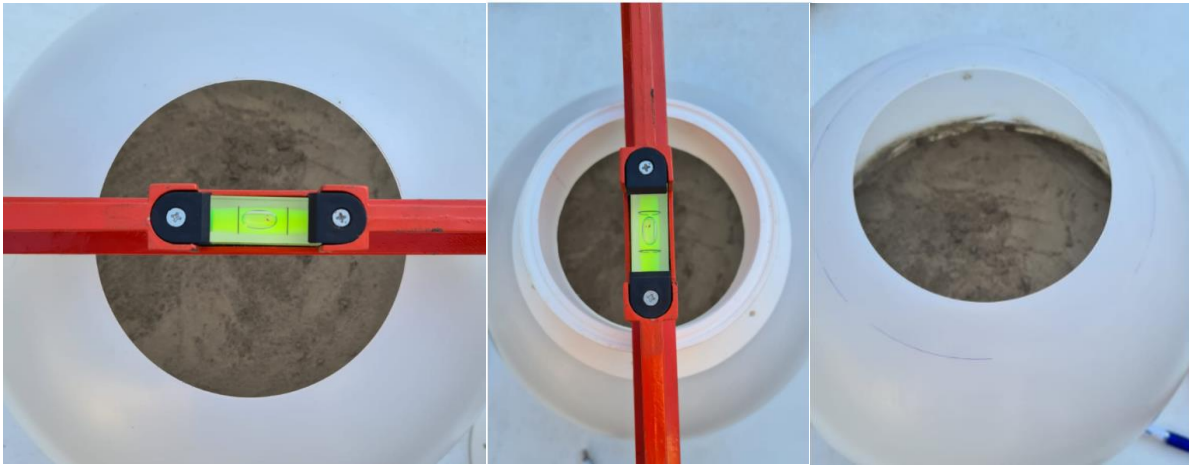
Nu kan begonnen worden met de stappen voor het lijmen van de hals. De benodigdheden voor deze stap zijn te zien in figuur F5.



*Figuur F5: Benodigdheden lijmen hals op de bol.*

Ten eerste zal de bol onttvet moeten worden met alcohol en vervolgens geschuurd worden. Vervolgens wordt de hals eerst op de bol geplaatst om te controleren in welke positie de hals waterpas op de bol bevestigd wordt, zie figuur F6.





*Figuur F6: Controle waterpas positie bol (links), waterpas positie hals (midden) en markering van de positie (rechts).*

Vervolgens kan de lijm aangebracht worden op de bol. Door de lage viscositeit van de lijm loopt de lijm snel langs de bol omlaag. Een stuk keukenpapier of een doek kan naast de plek waar gelijmd wordt gehouden worden om dit te voorkomen. Het gebruik van handschoenen bij deze stap is noodzakelijk doordat de lijm binnen enkele seconden al oppervlakten aan elkaar vast laat kleven. Hierna moet direct de hals op de bol geplaatst worden binnen de eerder afgetekende lijnen. Het resultaat is te zien in figuur F7. Hier zijn ook enkele lijmresten langs de bol te zien. Met behulp van een lijmoplossing kunnen deze verwijderd worden of de delen waar lijm op zit kunnen licht geschuurd worden.



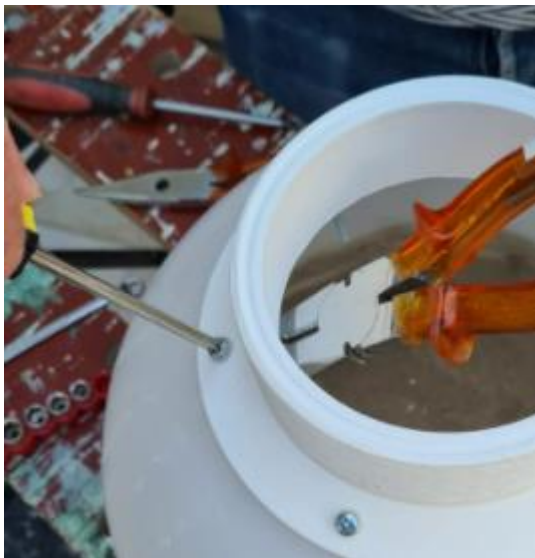
*Figuur F7: Hals gelijmd op de bol met enkele druipsporen van de lijm.*

Na een uur drogen zit de dop voldoende vast om door te gaan met de volgende stap, het boren van de gaten in de bol. Het boren van de gaten in de PE bol dient met een handboor met daarop een metaalboor  $\varnothing$  4 mm gedaan te worden. Het is niet nodig om eerst een gat te boren met een kleinere diameter aangezien de afstand van de opening van de bol tot het te boren gat groot genoeg is. Vervolgens kunnen de bout en moer met de sluitring bevestigd worden. De sluitring dient onder het boutkopje geplaatst te worden, op de bovenkant van de bol. De volgorde is ook te zien in figuur F8.



*Figuur F8: Overzicht van de M4 bout en moer met sluitring.*

De bout en moer kunnen vastgedraaid worden door de moer met een tang vast te houden zoals te zien is in figuur F9. Het is van belang dat de bouten naar binnen uitsteken, omdat anders de dop niet meer op de hals past. Het eindresultaat met alle bevestigde bouten is te zien in figuur F10.



*Figuur F9: Overzicht van methode voor het vastdraaien van de bout en moer.*



*Figuur F10: Bol met alle vastgedraaide bouten.*

### Stap 3: Afkitten hals

Voor de laatste stap, het afkitten van de hals, zijn de volgende materialen nodig:

- Bol met hals al bevestigd
- Griffon HBS-200 kit
- Kitpistool
- Keukenpapier/doek
- Handschoenen
- Schoonmaakalcohol

De eerste stap is het schoonmaken van de randen met alcohol aan de binnen en buitenkant waar de hals met de bol bevestigd is. Vervolgens kan de kit langs de randen aangebracht worden met het kitpistool, zie figuur F11. De kit kan iets aangedrukt worden en gladstrekken door met de vinger erlangs te gaan. Zo wordt voor een goede afsluiting aan de randen gezorgd.



*Figuur F11: Griffon kit geplaatst in het kitpistool.*

Dezelfde stappen dienen herhaald te worden voor de binnenkant van de bol waar de hals en de bol samenkomen. Een overzicht van de afgewerkte kitranden is te zien in figuur F12. De kit moet 48 uur drogen voordat de drifter klaar is voor gebruik.



*Figuur F12: Afgewerkte kitrand rond de hals.*

### **Onderhoud en reparatie:**

De bouten en moeren zullen na elk gebruik gecontroleerd moeten worden op roestvorming. Indien dit het geval is moet voor volgend gebruik de bout en moer die verroest is vervangen worden. Vervolgens moet eerst gecontroleerd worden of de drifter nog waterdicht is voordat deze bij een experiment gebruikt kan worden.

Voor de eventueel gebruikte o-ring in de hals geldt dat deze ook regelmatig vervangen moet worden. Haarscheurtjes in de ring zijn niet altijd met het blote oog te zien, terwijl de dop hier wel door kan lekken.

## Appendix G: Testmethodes definitief ontwerp

### Stabiliteitstest:

De drifter zal getest moeten worden op stabiliteit. Het is van belang dat de drifter niet omslaat in het water, goed meebeweegt met de stroming en daarbij, zo ver als mogelijk, een minimale schommeling heeft. In de dop zal een meetlint met hetzelfde gewicht als de antenne geplakt worden om het gewicht in de dop zo goed als mogelijk na te bootsen. Zie figuur G1.



*Figuur G1: Meetlint als gewicht in de dop geplaatst.*

Vervolgens wordt de dop op de hals gedraaid en wordt de drifter in een bad gevuld met koud water gelaten. Golven worden gemaakt in het bad om de situatie in de natuur zo goed mogelijk na te bootsen. De bol zal gefilmd worden terwijl deze heen en weer schommelt door de golven in het water. Aan de ring van de dop wordt gekleurde tape vastgemaakt zodat de uitwijking van de dop goed gemonitord kan worden. Dit is te zien in figuur G2.



*Figuur G2: Oranje tape bevestigd aan de ring als referentiepunt.*

### **Waterdichtheidstest:**

De mate van waterdichtheid van de drifter zal getest moeten worden. Er mag geen water door het schroefdraad de bol inlopen en ook moet gecontroleerd worden of er via de kitrand en de bouten geen water de bol in kan lopen. De bol zal gevuld worden met vellen wc-papier zodat deze het water opvangen en gecontroleerd kan worden of water in de bol gelopen is, zie figuur G3. Ook zullen er enkele watjes om de bouten aan de binnenkant van de bol geplaatst worden zodat water wat hierlangs naar binnen loopt door de watjes opgevangen wordt, zie figuur G4. Op deze manier valt te controleren via welke weg het water de drifter instroomt.



*Figuur G3: Drifter gevuld met wc-papier om de instroom van water te controleren.*



*Figuur G4: Watjes geplaatst rondom de bouten om instromend water op te vangen.*

De drifter zal niet alleen deels onderwater worden gehouden om de instroom van water te kunnen controleren, maar ook zal op specifieke plekken water gegoten worden zoals op de bout, maar ook over de gehele dop van de drifter. Verschillende manieren zijn weergegeven in figuur G5.





*Figuur G5: Waterdichtheidstest van de drifter.*

### **Trekproef deksel:**

Om zeker te zijn dat de drifter makkelijk uit het water gehaald kan worden moet de deksel van de drifter goed vastzitten. Zo zal de ring sterk genoeg moeten zijn en moet de schroefdraad verbinding ook het gewicht van de drifter kunnen houden. De eis is gesteld dat de verbinding een kracht van 100 N aan moet kunnen. Om de ring en het schroefdraad te testen wordt eerst de lege drifter, met een gewicht van 6 kg opgetild aan de ring terwijl de dop op de hals gedraaid zit. Vervolgens zal telkens 2 kg aan de drifter toegevoegd worden totdat de 10 kg is bereikt. Een overzicht is te zien in figuur G6.



*Figuur G6: Overzicht van de trekproef voor de deksel.*