



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

FACULTEIT WETENSCHAPPEN

# KENTERING NA HOOGWATER IN DE BELGISCHE BADZONE

EMIEL VAN DRIESSCHE

Scriptie voorgedragen tot het behalen  
van de graad van  
master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Deirdre Luyckx  
Pieter Decancq  
Academiejaar: 2016 – 2017

# Voorwoord

Bij het schrijven van dit eindwerk wil ik graag een woordje van dank neerschrijven voor de mensen die mij geholpen hebben bij de uitwerking van deze masterproef.

Allereerst wil ik mijn promotor, mevrouw Deirdre Luyckx, bedanken voor de raad en steun die ze mij heeft gegeven tijdens het schrijven van dit eindwerk. Ze stuurde mijn ideeën bij en hielp mij om de rode draad duidelijker te maken. Ik wil haar ook uitdrukkelijk bedanken voor haar taaladvies, tips voor de lay-out van mijn werk en de programmeercode voor het softwareprogramma 'R' dat werd gebruikt voor de analyse van de gemeten resultaten in Blankenberge. Ik kon bij haar ook meerdere keren terecht om het verloop van mijn masterthesis mondeling te evalueren.

Daarnaast wil ik ook mijn dank richten aan mijn copromotor, de heer Pieter Decancq. Als lid van de strandreddingsdienst van Blankenberge kon hij mij een zeer duidelijk beeld geven van wat de problematiek was over de kentering van hoog water aan de kust van Blankenberge. Hij zorgde ook voor een digitaal exemplaar met resultaten van de studie door het Waterbouwkundig Laboratorium. De heer Decancq zorgde er ook voor dat ik in contact kon komen met de hoofdredder van Blankenberge, De heer Tom Cocle, die ik via deze weg ook graag wil bedanken voor de zeer nuttige informatie die ik heb kunnen verwerven tijdens ons interview en voor de coördinatie van de praktische proef in Blankenberge met redder Thomas.

Graag wil ik ook de heer Peter Bueken en Stefaan Bueken bedanken voor het realiseren van mijn 3D-boei. Zo kon ik gebruikmaken van de 3D-printer op school en heeft de heer Peter Bueken de finale versies van de 3D-tekening gemaakt. Bij het waterdicht maken van deze 3D-boei kon ik bij de heer Stefaan Bueken terecht voor het aanbrengen van een epoxycoating.

Voor een nazicht van de elektronica kon ik terecht bij de heer Kris Verbeeck en de heer Tim Geerts, waarvoor dank.

Als laatste wil ik ook mijn ouders, vriendin Lotte, Gert Van den Berghe, Didier De Locht, Pierre Van Broeck en Piet Verriest bedanken voor het nalezen van mijn thesis en voor het verstrekken van materiaal bij de ontwikkeling van de drifterboei.

# Samenvatting

In de cursus van redders in opleiding in Blankenberge wordt gesteld dat de kentering drie uur na hoogwater begint. In de praktijk merkt men dat de kentering soms al veel vroeger kan worden waargenomen. In 2013 werd hiernaar al een onderzoek gedaan door het Waterbouwkundig Laboratorium waaruit kon worden geconcludeerd dat deze waarnemingen kloppen. Het doel van deze thesis is om het onderzoek te repliceren, door middel van een zelf ontworpen meettoestel en vervolgens de resultaten te vergelijken. Hiervoor werd een drifterboei gebruikt die posities registreert. Deze wordt gedurende enkele uren voor en na hoogwater in Blankenberge geplaatst. Uit de geregistreeerde posities kan worden afgeleid hoe de richting en snelheid van de stroming in tijd verandert. Het onderzoek leverde volgende resultaten op:

- De vloedstroom stopt vanaf 00:36:00 na hoogwater.
- De ebstroom begint vanaf 01:28:00 na hoogwater.
- De kentering vindt plaats ergens tussen 00:36:00 en 01:28:00 na hoogwater.

Deze resultaten bevestigen de bevindingen van het Waterbouwkundig Laboratorium. De stelling in de cursus van WOBRA dat de kentering pas drie uur na hoogwater gebeurt, is niet volledig correct.

# Abstract

In the course of WOBRA, it is stated that the slack tide after high water occurs three hours after high tide. In practice, one notices that the slack tide can be noticed earlier. In 2013, Flanders Hydraulics Research had done research about this topic leading in which these observations are confirmed. The purpose of this thesis is to replicate the findings of the investigation by means of a self designed measuring device and to compare the results. This thesis investigates whether the slack tide after high tide can be determined by means of a self-built measuring device. A drifter buoy was deployed at the Blankenberge bath area. The time frame wherein slack tide occurs could be determined by analysing positions.

The investigation provided the following results:

- The flood flow stops at 00:36:00 after high tide.
- The ebb flow begins at 01:28:00 after high tide.
- Slack tide occurs somewhere between 00:36:00 and 01:28:00.

These results confirm the findings of Flanders Hydraulic Research and proves that the study can be replicated. The information about tidal flow in the course of WOBRA is not always correct.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>Lijst van figuren</b>	<b>xi</b>
<b>Lijst van tabellen</b>	<b>xiii</b>
<b>Lijst van afkortingen</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Probleemstelling en achtergrondinformatie</b>	<b>4</b>
2.1 Probleemstelling . . . . .	4
2.2 Interview met Dhr. Cocle, hoofdredder reddingsdienst Blankenberge . . . . .	5
2.3 Conclusie interview en afbakening onderzoeksvragen . . . . .	10
2.4 Cursus WOBRA . . . . .	11
<b>3 Studie van het Waterbouwkundig Laboratorium</b>	<b>13</b>
<b>4 Meetprincipes van een eigen meettoestel</b>	<b>22</b>
4.1 Euleriaanse snelheidsmeting . . . . .	22
4.2 Lagrangiaanse snelheidsmeting . . . . .	23

---

<b>5</b>	<b>Prototypes Euleriaanse snelheidsmeting</b>	<b>24</b>
5.1	Twee mechanische watersnelheidsmeters boven elkaar op een stationaire constructie . . . . .	24
5.2	Raymarine DST-800 in een stationaire constructie . . . . .	25
5.2.1	Het uitgangssignaal . . . . .	26
5.2.2	Het capteren van de NMEA ‘talker sentences’ . . . . .	30
5.2.3	Plaatsing in het water . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Prototypes Lagrangiaanse snelheidsmeting</b>	<b>44</b>
6.1	Elektronica . . . . .	45
6.1.1	Arduino Uno GPS-logger . . . . .	45
6.1.2	Canmore GT 730-FL . . . . .	46
6.2	3D boei . . . . .	50
6.2.1	95 mm boei door Nick Raymond . . . . .	50
6.2.2	150 mm boei door Nick Raymond . . . . .	52
6.2.3	Eerste prototype . . . . .	54
6.2.4	Tweede prototype . . . . .	56
6.2.5	Derde prototype . . . . .	59
6.2.6	Waterdichtheid . . . . .	60
6.2.7	Plaatsing in het water . . . . .	63
6.3	Ankerboei . . . . .	64
6.3.1	Plaatsing in het water . . . . .	66
6.3.2	Verbeteringen na tests in de praktijk . . . . .	67
<b>7</b>	<b>Vergelijking van de prototypes</b>	<b>70</b>

---

<b>8</b>	<b>Het onderzoek</b>	<b>73</b>
8.1	Drijftest in Oostende . . . . .	73
8.2	Metingen in Blankenberge . . . . .	74
8.3	Resultaten . . . . .	78
8.4	Conclusie eigen meetcampagne . . . . .	85
<b>9</b>	<b>Besluit</b>	<b>87</b>
	<b>Bibliografie</b>	<b>88</b>
<b>A</b>	<b>Mail OpenSeaMap</b>	<b>96</b>
<b>B</b>	<b>Tabellen met prijzen</b>	<b>100</b>
<b>C</b>	<b>Broncode GPS-data naar vectoren met ‘R’</b>	<b>106</b>



# Lijst van figuren

Figuur 1	Kentering hoogwater . . . . .	12
Figuur 2	Drifters van het Waterbouwkundig Laboratorium . . . . .	14
Figuur 3	Onderzoeksgebied studie Waterbouwkundig Laboratorium . . . . .	14
Figuur 4	Verplaatsing van de drifters tussen 14:43:04 en 15:13:04 . . . . .	16
Figuur 5	Verplaatsing van de drifters tussen 15:13:04 en 15:43:04 . . . . .	16
Figuur 6	Verplaatsing van de drifters tussen 15:43:04 en 16:13:04 . . . . .	17
Figuur 7	Verplaatsing van de drifters tussen 16:13:04 en 16:43:04 . . . . .	17
Figuur 8	Verplaatsing van de drifters tussen 16:43:04 en 17:13:04 . . . . .	18
Figuur 9	Verplaatsing van de drifters tussen 17:13:04 en 17:43:04 . . . . .	18
Figuur 10	Verplaatsing van de drifters tussen 17:43:04 en 17:58:04 . . . . .	19
Figuur 11	Propeller-type rotor . . . . .	25
Figuur 12	Cup-type rotor . . . . .	25
Figuur 13	Raymarine DST-800 . . . . .	26
Figuur 14	Structuur van een ‘talker sentence’ met GGA ‘sentence identifier’ . . . . .	28
Figuur 15	Structuur van een ‘talker sentence’ met een GLC ‘sentence identifier’ . . . . .	29
Figuur 16	Structuur van een ‘talker sentence’ met VHW ‘sentence identifier’ . . . . .	30
Figuur 17	Arduino Uno board . . . . .	31
Figuur 18	Sparkfun MicroSD-shield . . . . .	32

---

Figuur 19	Sparkfun Real Time Clock module . . . . .	32
Figuur 20	Uitgangen GPS-module . . . . .	34
Figuur 21	Elektronisch schema Raymarine DST-800 . . . . .	34
Figuur 22	Bedradingsdiagram Raymarine DST-800 in combinatie met een Arduino Uno board . . . . .	36
Figuur 23	Bedradingsdiagram Raymarine DST-800 in combinatie met een Arduino Uno board . . . . .	36
Figuur 24	Bedradingsdiagram Arduino Uno en Sparkfun MicroSD-shield . . . . .	37
Figuur 25	OpenSeaMap NMEA-logger . . . . .	39
Figuur 26	NMEA-0183 aansluitingen per pin van de RJ45-stekker . . . . .	39
Figuur 27	Nummering RJ-45 aansluiting . . . . .	40
Figuur 28	Bedradingsdiagram Raymarine DST-800 in combinatie met de OpenSeaMap NMEA-logger . . . . .	40
Figuur 29	Elektronisch schema Raymarine DST-800 in combinatie met de OpenSeaMap NMEA-logger . . . . .	41
Figuur 30	Raymarine DST-800 in een waterdichte doos in een balkstructuur . . . . .	42
Figuur 31	Raymarine DST-800 in een waterdichte ton in een reddingsboei . . . . .	43
Figuur 32	Bedradingsdiagram Arduino Uno GPS-logger . . . . .	46
Figuur 33	Arduino Uno GPS-logger . . . . .	46
Figuur 34	Canmore GT 730-FL GPS-logger . . . . .	47
Figuur 35	Batterijduur Canmore GT 730-FL GPS-logger . . . . .	48
Figuur 36	Gestapte parcours bij de nauwkeurigheidstest van de Canmore GT 730-FL GPS-logger . . . . .	49
Figuur 37	Waargenomen parcours bij de nauwkeurigheidstest van de Canmore GT 730-FL GPS-logger . . . . .	50
Figuur 38	95 mm boei van Nick Raymond 3D-tekeningen . . . . .	51
Figuur 39	95 mm boei van Nick Raymond 3D-print . . . . .	52

---

Figuur 40	150 mm boei van Nick Raymond 3D-tekeningen . . . . .	52
Figuur 41	Prototype 1 3D-print . . . . .	54
Figuur 42	M6 x 60 mm bout met inbuskop en M6 moer . . . . .	55
Figuur 43	3D-print testplaatje afmetingen bout- en moeropeningen van proto- type 2 . . . . .	57
Figuur 44	3D-print testplaatje opening boutschroefkop van prototype 2 . . . . .	57
Figuur 45	3D-print prototype 2 . . . . .	59
Figuur 46	Drijftest prototype 2 . . . . .	59
Figuur 47	Dwarsdoorsnede 3D-print prototype 3 . . . . .	60
Figuur 48	Toevoeging epoxycoating prototype 3 . . . . .	62
Figuur 49	Crêpepapier binnenin prototype 3 . . . . .	62
Figuur 50	Drijftest prototype 3 . . . . .	63
Figuur 51	3D boei in combinatie met de Canmore GT-730 FL . . . . .	64
Figuur 52	Ankerboei met waterdichte capsule en touw . . . . .	65
Figuur 53	Ankerboei in combinatie met de Canmore GT-730 FL . . . . .	66
Figuur 54	Test in een vijver . . . . .	67
Figuur 55	Loden gewicht van één kg . . . . .	67
Figuur 56	Test in de Schelde . . . . .	68
Figuur 57	Verbeterde versie ankerboei . . . . .	69
Figuur 58	Verbeterde versie ankerboei . . . . .	69
Figuur 59	Kostprijs per modelnummer . . . . .	71
Figuur 60	Traject in Oostende . . . . .	74
Figuur 61	Onderzoeksgebied praktische proef Blankenberge . . . . .	75
Figuur 62	Het plaatsen van de drifterboei . . . . .	75
Figuur 63	Meetpaal MOW1 . . . . .	75

---

Figuur 64	Getij Blankenberge 22/05/17 . . . . .	76
Figuur 65	Gemiddelde windsnelheid Blankenberge 22/05/17 . . . . .	77
Figuur 66	Gemiddelde windrichting Blankenberge 22/05/17 . . . . .	77
Figuur 67	Snelheden datalijnen 3634-5500 . . . . .	79
Figuur 68	Traject drifterboei tussen 08:11:24 en 08:26:27 . . . . .	81
Figuur 69	Traject drifterboei tussen 08:28:57 en 09:04:36 . . . . .	81
Figuur 70	Traject drifterboei tussen 09:06:15 en 09:34:17 . . . . .	82
Figuur 71	Traject drifterboei tussen 09:35:57 en 10:10:57 . . . . .	82
Figuur 72	Traject drifterboei tussen 10:11:52 en 11:02:13 . . . . .	83
Figuur 73	Traject drifterboei tussen 11:03:18 en 11:17:09 . . . . .	83
Figuur 74	Traject drifterboei tussen 11:18:03 en 11:24:37 . . . . .	84
Figuur 75	Traject drifterboei tussen 11:32:16 en 11:38:47 . . . . .	84

# Lijst van tabellen

Tabel 2	Stromingsrichting in functie van de tijd . . . . .	12
Tabel 3	‘Talker identifiers’ . . . . .	27
Tabel 4	NMEA-0183 data van een ‘talker sentence’ met GGA ‘sentence identifier’ . . . . .	28
Tabel 5	NMEA-0183 data van een ‘talker sentence’ met een GLC ‘sentence identifier’ . . . . .	29
Tabel 6	NMEA-0183 data van een ‘talker sentence’ met VHW ‘sentence identifier’ . . . . .	30
Tabel 7	Vergelijking meting Waterbouwkundig Laboratorium met eigen meting	78
Tabel 8	Eigenschappen metingen . . . . .	85
Tabel 9	Prijzen Raymarine DST-800 met Arduino Uno en bevestiging in het water optie één . . . . .	101
Tabel 10	Prijzen Raymarine DST-800 met Arduino Uno en bevestiging in het water optie twee . . . . .	101
Tabel 11	Prijzen Raymarine DST-800 met NMEA-logger met bevestiging in het water optie één . . . . .	102
Tabel 12	Prijzen Raymarine DST-800 met NMEA-logger met bevestiging in het water optie twee . . . . .	102
Tabel 13	Prijzen Arduino Uno GPS-logger in combinatie met een 3D-geprinte boei . . . . .	103
Tabel 14	Prijzen Arduino Uno GPS-logger in combinatie met een ankerboei .	104

---

Tabel 15	Prijzen Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een 3D-geprinte boei . . . . .	104
Tabel 16	Prijzen Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een ankerboei . . . . .	105
Tabel 17	Prijzen Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een verbeterde ankerboei . . . . .	105

# Lijst van afkortingen

3D	driedimensionaal
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
cm	centimeter
dhr.	de heer
E	oost
ENE	oostnoordoost
FR	Frankrijk
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
GRI	Group Repitition Interval
HW	hoogwater
IKWV	Intercommunale Kustreddingsdienst van West-Vlaanderen
ir.	ingenieur
km	kilometer
LED	Light-Emitting Diode
LW	laagwater
m	meter
m/s	meter per seconde
ml	milliliter

---

mm	millimeter
MRCC	Maritiem Reddings- en Coördinatiecentrum
NE	noordoost
NL	Nederland
NMEA	Nautical Marine Electronics Association
NNO	noordnoordoost
NNW	noordnoordwest
ONO	oostnoordoost
PLA	Polyactic Acid
prof.	professor
PVC	Polyvinylchloride
RJ45	Registered Jack 45
Rx	Receiver
SD	Secure Digital
STL	Surface Tessellation Language
TOA	Time Of Arrival
Tx	Transmitter
UTC	Universal Time Corrected
V	Volt
VCC	positive supply voltage
W	west
WOBRA	West-Vlaams opleidingscentrum voor Brandweer-, Reddings- en Ambulancediensten
ZZO	zuidzuidoost



# Hoofdstuk 1

## Inleiding

Deze thesis gaat over stromingen in de badzone van Blankenberge, meer bepaald over de kentering van de vloedstroom in het werkgebied van de redders. Wanneer de vloedstroom overgaat in de ebstroom, kunnen baders dieper in de zee getrokken worden. Het is van groot belang om een goede kennis te hebben van deze materie om de richting van de stroming te kunnen inschatten. In de cursus van redders die in opleiding zijn in Blankenberge, wordt gesteld dat de kentering drie uur na hoogwater gebeurt. Deze cursus wordt uitgegeven door het West-Vlaams opleidingscentrum voor Brandweer-, Reddings- en Ambulancediensten (WOBRA). In de praktijk merkt men dat deze waarden in de cursus niet altijd kloppen en dat in realiteit de kentering soms al 10 minuten na hoogwater kan worden vastgesteld. Het tijdstip waarop de kentering plaatsvindt, is van belang voor het bepalen van de mogelijke drijfrichting van een drenkeling. Redders die voor het eerst op het strand staan, wordt dus foute informatie aangeleerd.

De waarde van 3 uur na hoogwater in de cursus van WOBRA is gebaseerd op metingen ter hoogte van meetpaal MOW1, welke vijf mijl diep in zee staat. In de cursus staat vermeld dat deze waarden ook van toepassing zijn ter hoogte van onze Belgische kust.

Om dus te vermijden dat nieuwe redders deze foute informatie instuderen, moet deze worden aangepast in de cursus. De auteur van deze cursus wil echter deze waarde pas aanpassen indien deze stelling bewezen wordt door middel van wetenschappelijk onderzoek.

In 2013 werd er hiernaar al een onderzoek gedaan door het Waterbouwkundig Laboratorium waaruit kon worden geconcludeerd dat het verschil tussen de waargenomen en theoretische kentering na hoogwater wel degelijk klopt. Hoewel er dus al wetenschappelijk bewijs geleverd werd, zijn de waarden in de cursus om een nog onbekende reden nooit aangepast.

Het doel van mijn thesis is om de bevindingen van het onderzoek van het Waterbouwkundig Laboratorium te repliceren, door middel van een zelf ontworpen meettoestel. Een potentiële bevestiging van de bevindingen van het Waterbouwkundig Laboratorium versterkt het dossier om een wijziging in de cursus van WOBRA door te voeren.

De centrale onderzoeksvragen zijn als volgt:

- Kan met een zo goedkoop mogelijk zelfgebouwd meettoestel de kentering na hoogwater worden waargenomen?
- Bevestigen deze waarden de bevindingen van de studie door het Waterbouwkundig Laboratorium?
- Zijn de gegevens over de getijstromingen in de cursus van WOBRA correct?

In mijn thesis beschrijf ik enkele prototypes om dit te kunnen realiseren. Een algemene eigenschap is dat op het moment van de kentering de watersnelheid ongeveer gelijk is aan nul. Daarom hebben al mijn prototypes als doel de watersnelheid te meten en deze te registreren. Bijkomend heb ik geprobeerd om aan te tonen dat het bepalen van de kentering mogelijks via andere methodes kan worden gerealiseerd. Ik bekijk het probleem vanuit een andere invalshoek door ook prototypes te ontwerpen die op een verschillend meetprincipe zijn gebaseerd, in vergelijking met de gebruikte apparatuur in de eerste studie van het Waterbouwkundig Laboratorium.

In hoofdstuk 2 wordt er aan de hand van een interview verduidelijkt wat juist de problematiek is rond de kentering na hoogwater, waar deze kan worden waargenomen en wat de oorzaak zou kunnen zijn van dit verschil. Uit dit interview worden de onderzoeksvragen van mijn masterthesis verder afgebakend. Hoofdstuk 2 beschrijft ook de informatie over de kentering uit de cursus van WOBRA [63]. Hoofdstuk 3 analyseert de studie die is uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium. Hierin wordt beschreven waar, op welke manier en met welke middelen het onderzoek werd uitgevoerd. Nadien wordt een analyse gemaakt van de waargenomen resultaten en vergeleken met de waarden die terug te vinden zijn in de cursus van WOBRA. In hoofdstuk 4 wordt een korte uitleg gegeven over twee mogelijke manieren om watersnelheden te meten. In hoofdstukken 5 en 6 worden deze twee manieren uit hoofdstuk 4 in de praktijk omgezet. In hoofdstuk 5 wordt de ontwikkeling van prototypes van een eigen meettoestel uitgelegd die gebaseerd zijn op het principe van een Euleriaanse snelheidsmeting. Hoofdstuk 6 bevat de informatie over prototypes van een eigen meettoestel die gebaseerd zijn op een Lagrangiaanse snelheidsmeting. In hoofdstukken 5 en 6 wordt er besproken hoe deze prototypes tot stand kwamen, welke problemen zich stelden, hoe deze problemen kunnen worden

---

opgelost en hoe deze prototypes nuttig kunnen zijn in het bepalen van de kentering na hoogwater. In hoofdstuk 7 wordt een opsomming gemaakt van alle onderdelen van elk prototype. Per prototype wordt in dit hoofdstuk de totaalprijs gegeven om dit prototype te bouwen. Hoofdstuk 8 beschrijft hoe het onderzoek van het Waterbouwkundig Laboratorium werd gerepliceerd. Het omvat onder andere een beschrijving van welk prototype van een eigen meettoestel uiteindelijk de voorkeur kreeg, op welke manier het onderzoek werd uitgevoerd en wat de resultaten zijn van de gemeten waarden. In hoofdstuk 8.4 wordt er beschreven hoe de gevonden resultaten zich verhouden tot de resultaten van het Waterbouwkundig Laboratorium en de gegevens in de cursus van WOBRA. In hoofdstuk 9 worden de onderzoeksvragen beantwoord.

# Hoofdstuk 2

## Probleemstelling en achtergrondinformatie

### 2.1 Probleemstelling

Bij het kiezen van mijn onderwerp heb ik me gebaseerd op onderstaande tekst, die terug te vinden is in de scriptiedatabase van de Hogere Zeevaartschool.

“Er bestaat een verschil in stromingswaarden op de Noordzee, tussen volle zee en de badzone. In de cursussen van de WOBRA, die in opdracht van IKWV de opleiding verzorgt van de Belgische kustredders, wordt gesteld dat de vloed tot 3 uur na HW doorgaat. Die vaststelling is gebaseerd op officiële meetwaarden van het centrum Vlaamse Hydrografie (ir. H. Poppe) op volle zee. Een nieuwe studie, “Hydrodynamic climate for the vicinity of Blankenberge harbor” [22], uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium, stelt echter afwijkende meetwaarden vast, waarbij op bepaalde plaatsen in de badzone al een kentering wordt vastgesteld 10 minuten na HW. Die laatste bevinding is in overeenstemming met waarnemingen die kustredders in de dagelijkse praktijk maken, namelijk dat de ebstroom veel vroeger wordt ingezet in de badzone (dixit hoofdredder Tom Cocle, Blankenberge).”

Volgende definities uit de cursus van WOBRA [63] verduidelijken de waterbewegingen die aan de Belgische kust kunnen worden waargenomen.

*Eb* is de zuidwestelijk gerichte stroom (richting Frankrijk) welke zich langs onze Belgische kust gemiddeld voortdoet van ongeveer 2 uur vóór tot ongeveer 3 uur na laagwater.

De *vloed* is de noordoostelijk gerichte stroom (richting Nederland) welke zich langs onze Belgische kust gemiddeld voortdoet van ongeveer twee uur voor tot ongeveer 3 uur na hoogwater.

De *kentering* is het ogenblik waarop de stroom van richting gaat veranderen, ongeveer 3 uur na hoog- of laagwater.

## 2.2 Interview met Dhr. Cocle, hoofdredder reddingsdienst Blankenberge

Om deze probleemstelling van het verschil in kentering na hoogwater te verduidelijken heb ik met Tom Cocle, hoofdredder van de reddingsdienst van Blankenberge, een interview gehad. Het doel van dit interview is om te achterhalen hoe de redders deze problematiek ervaren, of ze hiermee bekend zijn en wat eventuele mogelijke oorzaken zouden kunnen zijn. Dit interview dateert van april 2016.

### **Wat is juist de problematiek omtrent de kentering na hoogwater?**

Alles draait bij de reddingsdienst om stromingen, zoals uit het water halen en positioneren van de drenkelingen, plaatsen van uitkijktorens, uitsmijten van ankers en de manier van varen. Daarom is dit een heel belangrijk gegeven. We stellen vast dat er een verschil bestaat tussen de theoretische waarden van het moment waarop de kentering begint zoals beschreven in de cursus van WOBRA en de werkelijke toestand.

In de cursus van WOBRA wordt professor Poppe voortdurend geciteerd. Dit is de persoon waar de coördinator van het vak stromingsleer in de redderschool op terugvalt. Prof. Poppe is bij ons niet bekend en we zouden dan ook graag een afspraak regelen met hem om deze zaak te bespreken. Het probleem is dat de praktijk zeer ver van de theorie staat en dat jobstudenten verkeerd worden opgeleid. De coördinator is tevens ook een academicus en baseert zich terecht graag op feiten, waarden die gemeten kunnen worden. De studenten leren de foute waarden, maar het is wel van essentieel belang dat ze de realistische waarden kennen. Indien je stromingen verkeerd interpreteert, kun je interventies uitlokken, en als er een is, zal deze naar alle waarschijnlijkheid ook verkeerd uitgevoerd worden. De bedoeling bij een interventie is om met de stroom mee te zwemmen, als je dit verkeerd interpreteert, zijn de redders direct uitgeput. Het is dan ook voor ons van groot belang te kunnen aantonen dat we het anders ervaren dan dat het wordt gedoceerd.

De theoretische waarden zijn gebaseerd op gegevens van meetpalen in de zee. Ter hoogte van de meetpalen is deze kentering inderdaad 3 uur na HW, maar ons werkgebied ligt

veel dichtter, tot slechts een halve mijl in zee. Theoretische stromingen kloppen dus niet in ons werkgebied. Deze metingen worden kort gezegd te diep gemeten om als waarheid te worden aanzien.

Jobstudenten moeten zowel mentaal als fysiek zeer hoge inspanningen leveren. Het is jammer dat deze inspanningen op theoretisch vlak niet besteed worden aan de juiste dingen leren.

### **Heeft u een idee van de oorzaak van dit probleem?**

De oorzaak is dat alleen wordt vasthouden aan theoretische benaderingen. Men gebruikt stromingsgegevens van de meetpalen dieper in de zee en deze worden geprojecteerd en verder berekend naar het werkgebied van de redders. Dit is in de realiteit een verkeerde interpretatie. Daarom ben ik blij dat het Waterbouwkundig Laboratorium dan uiteindelijk in 2013 een studie heeft gedaan die dit fenomeen bevestigt. Het resultaat was zelfs erger dan ik vermoedde. Zo keerden bijvoorbeeld na 10 minuten de eerste uitgezette pylonen al terug, ze waren ook ontworpen om wind en stromingen te combineren bij het meten. De gegevens die worden gemeten aan de meetpalen kloppen dan ook wel perfect met de realiteit, op die specifieke plaats zelf.

De oorzaak van het verschil in tijdstippen van de start van de kentering komt grotendeels door wrijving. Hoe dichtter tegen de kust, hoe meer verval van de stromingskracht. Ter hoogte van de meetpaal heeft de stroom weinig hindernissen en wrijving en kan hier op deze manier vlot doorlopen. Dichtter bij de kust heb je golfbrekers, strand en logisch gezien zal de stroom dan sterker afzwakken en sneller draaien. Je kunt dit ook zien aan de oriëntering van de zandbanken. Dit is hetzelfde principe als in een rivier. Hierin stroomt het water tegen de kant minder snel dan in het midden, want in het midden is er een groter debiet.

### **Waar staan die meetpalen juist?**

Ongeveer een vijftal kilometer in zee. Voor Blankenberge is de dichtstbijzijnde meetpaal MOW1. Het registreert onder andere windsnelheid, golfhoogte, windintensiteit en stromingen. Een NE-stroom wordt op dit punt weinig gehinderd door de muur van Zeebrugge.

### **Zijn er bepaalde periodes waarin dit probleem zich meer voordoet dan gewoonlijk?**

Niet echt, maar sterke stromingen geven uiteraard sterke bewegingen. Wanneer het springtij is, is het verschil tussen HW en LW het grootst. Als we gaan verwijzen naar tijdstippen, is er in de praktijk geen verschil.

**Heeft u een idee van wat de bedoeling was van de studie ‘Hydrodynamic climate for the vicinity of Blankenberge Harbour?’**

De metingen werden initieel aangekondigd met als doel om de problematiek van de haven van Blankenberge te bekijken. Het was de bedoeling om de stromingsleer beter in kaart te brengen en vooral om waterbewegingen binnen de geul na te gaan omdat er steeds een grote verzanding is van de geul. Licht zand met een kleine diameter wordt continu van Wenduine naar hier aangevoerd. Dit zand wordt ook later hergebruikt voor de strandsuppletie van Blankenberge. De initiële studie werd uitgevoerd met behulp van frames. Dit zijn aluminium constructies met allerlei meetapparatuur. Deze frames werden in de haven van Blankenberge en Oostende geplaatst en het is ook de eerste keer dat er metingen gebeuren zo dicht bij de dijk, daar waar er baders zijn.

Omdat we zo goed contact hadden met de mensen die deze studie uitvoerden, hebben zij op onze vraag een tweede studie bijgevoegd die in de branding plaatsvond. De bedoeling was om de beweging van baders in de zee te kunnen nabootsen. Ze maakten hierbij gebruik van pylonen die werden ontworpen door een Oekraïense ingenieur, Lionel. Hij is ook helemaal anders opgeleid dan wij. Zijn vorige job was boten maken voor het leger. Deze tweede studie werd dan zo'n 300 tot 400 meter aan de westkant en oostkant van het staketsel aan de haveningang uitgevoerd. Na analyse van de meetwaarden werd er bevestigd dat de invloed van de havengeul heel beperkt is op de beweging, omdat de meetwaarden identiek hetzelfde waren aan beide kanten.

De coördinator van het vak stromingsleer heeft de voorlopige meetresultaten ook al doorgenomen, maar wil deze nog niet in de cursus verwerken omdat deze nog niet waren bevestigd.

**Hoe wordt het moment van de kentering bij jullie bepaald? Baseren jullie zich hierbij bijvoorbeeld op elektronische waarnemingen?**

Wij baseren ons vooral op het getijdenboekje en kijken naar de morfologie van het strand. Kellen hebben bijvoorbeeld een grote invloed. Je hebt kellen en muien, de kel is de put tussen twee zandbanken. Het water loopt leeg via de mui naar de volgende zandbank. Als de kel leegloopt, gaat dat allemaal via dezelfde mui. Bij ebstroom na de kentering, als het water zich terugtrekt, dan lopen deze kellen normaal gezien leeg richting Frankrijk. Redders weten dit en dit is heel belangrijk voor het positioneren van de baders.

Elektronische waarnemingen worden bij ons niet gebruikt. In het geval van een interventie is er wel contact met het MRCC. Zij geven dan aan de hand van theoretische berekeningen een idee van hoe de stroming zou kunnen zijn. Dit is van belang om samen met de zoekhelikopters de reddingsactie te coördineren. Voor de rest baseren wij ons vooral

op eigen waarnemingen en getijdenboekjes. De zoekgebieden met zoekschema's worden opgesteld door het MRCC.

**Wordt de informatie over de stromingsrichtingen in de cursus van WOBRA in de praktijk ook toegepast? Houden jullie zich strikt aan deze theoretische waarden?**

Ja, wanneer de vloed erin komt, kloppen deze waarden wel, deze start 2 uur voor HW. Alles na HW tot en met de kentering en de ebstroom is niet correct. Elke student die hier toekomt wordt, nog voor hij begint te werken, erop gewezen dat de waarden in de cursus van WOBRA slechts van toepassing zijn aan de meetpalen en niet in ons werkgebied.

**Wat hebben de kentering en veranderende stromingsrichtingen, zoals beschreven in jullie cursus, als gevolg voor de plaatsing van de redders?**

De gevolgen zijn massaal, het plaatsen van baders in de zone, de interventie regelen, het varen ... Als dit allemaal niet klopt, hebben we een probleem. Zeker als je baders in groep op een plaats zet, en je zet die verkeerd, komen er gegarandeerd interventies. Een drenkeling haal je bijvoorbeeld uit het water aan de kant waar de stromingen de drenkeling naar u duwt. Na 3 maand werken begin je de gang van zaken goed door te hebben van richting van de wind, de topografie van het strand enzovoort.

**Kan u mij iets meer vertellen over de topografie van Blankenberge?**

Aan de westkant heb je een haven, Blankenberge heeft weinig diepe kellen zoals in De Haan en Blankenberge heeft golfbrekers die niet zo diep liggen zoals wel het geval is in Knokke. Onze golfbrekers komen meer en meer onder zand door onder andere de strandsuppletie. We hebben ook een pier en situeren ons dicht bij de haven van Zeebrugge. De pier heeft, buiten in de nabijheid van de pier zelf, weinig invloed op de stromingen. De muur van Zeebrugge is nu bijna verdubbeld, maar dit heeft, denk ik, geen directe invloed gehad op de stromingen.

**Op de website van kustveiligheid.be las ik iets over de Sinterklaasstorm van 2013. Kan u mij daar iets meer over vertellen? Heeft deze ook invloed gehad op jullie reddingsdiensten of op het moment van kentering?**

Deze was niet aangekondigd, het water is toen zeer hoog gekomen. Er was een springtij en westelijke storm van 9 beaufort. Het scheelde toen 4 cm of het water was 's nachts overgelopen aan één kant van de haven. Het is de eerste keer dat ik gezien heb dat water tot tegen de dijk was gekomen aan de westkant, aan de zone waar de hierboven vernoemde metingen werden gedaan. Heel de hoek van de haveningang stond onder water tot tegen de dijk. Vroeger is dit blijkbaar al vaker gebeurd, en men noemt deze zone daarom ook het waterhoofd. Het was meer een wake-up call voor de duizendjarige storm.



### **Wat is de duizendjarige storm?**

Al de maatregelen van kustveiligheid hebben als doel de duizendjarige storm het hoofd te kunnen bieden. Deze storm komt statistisch gezien om de 12 generaties voor. We spreken hierbij van een storm met een hoogwaterpeil van boven de 8 meter. Bij de sinterklaasstorm hadden we in Blankenberge een waterhoogte van 5,60 meter ongeveer. Dit is nog 2,5 meter te gaan. Indien de duizendjarige storm zich voordoet, is er schade aan de gebouwen, zijn er overstromingen en het rampenplan zal dan worden aangekondigd met evacuaties als gevolg. De extra duw van de wind op het hoge water op springtij was nu maar 80 cm tot 1 meter, maar bij een duizendjarige storm zal deze 2,5 meter zijn. Nu zijn er al heel veel aanpassingen gebeurd aan de kust om zich te verdedigen tegen deze storm. Ons strand wordt momenteel verbreed. De afstand tussen dijk en zowel hoogwaterlijn als laagwaterlijn worden beiden vergroot. Vroeger was de hoogwaterlijn tot 70 meter van de dijk, maar de bedoeling is om deze uit te breiden tot 120 meter. Nu bedraagt deze ongeveer 100 meter. Vroeger stonden onze douches bijna onder water bij HW, nu staan deze verder ten opzichte van de waterlijn. Niet alleen het vrijhouden van de geul is de oorzaak van de strandsuppletie, maar tevens ook het willen verbreden van het strand om zich te beschermen tegen de duizendjarige storm. In Wenduine doen ze dit ook, hier worden er bijvoorbeeld banken gezet om het water te breken.

Op het moment van de sinterklaasstorm is iedereen 's nachts van wacht geweest. Indien een overstroming zich zou hebben voorgedaan, zouden we onze boten en jeeps zelfs niet meer naar buiten gekregen hebben. Bijgevolg zijn er dus een aantal maatregelen doorgekomen, in de haven is er bijvoorbeeld een stormmuur opgebouwd.

### **Was dit te voorspellen?**

Nee, niemand had dit verwacht. 's Middags hadden we al zeer hoogwater, maar 's nachts werd dit waterpeil nog hoger.

De dag erna was het waterpeil iets gezakt, maar je zag het water tegen de dijk inbeuken. Het water zakte over het algemeen heel weinig, maar je zag echt heel goed de drift op het water. Het heeft ook schade berokkend.

### **Op diezelfde website wordt er ook vermeld dat het strand van Blankenberge werd of wordt opgespoten. Kan u mij hier iets meer over vertellen?**

De strandsuppletie van Blankenberge gebeurt op 2 manieren. De zandbank van in de havengeul kan ofwel via een baggerschip worden weggezogen en via een buizensysteem op een stortplaats gelegd op het strand, waarbij vervolgens het water wegloopt en het zand zakt. Op deze stortplaats bevindt zich nu een berg zand die alsmaar groter en groter

wordt, tot zelfs 200 meter lang en 8 meter hoog. Dat zand wordt vervolgens door een bulldozer opgescheept en via dumpers vervoerd naar de juiste plaats.

Een andere manier is het ook via hetzelfde buizensysteem het zand op te zuigen, maar er wordt dan een langere buis aangelegd tot daar waar er moet opgespoten worden. Om de zoveel tijd word er een stuk buis achteraan weggenomen zodat op dat moment dat deel van het strand wordt opgespoten. De dumpers worden op deze manier geëlimineerd. Het nadeel is wel dat het ganse strand moet worden afgesloten. Normaal gezien wordt het strand jaarlijks opgespoten, maar door de stormen en het meermaals vormen van zandbanken in de havengeul hebben we dat dit jaar vier keer moeten doen.

Indien het zand niet kan worden afgevoerd op het strand, omdat het hier vol zit met toeristen, wordt het zand naar dumpingplaatsen in zee afgevoerd. Deze situeren zich ongeveer 20 km in zee. Van dat zand worden stalen genomen, zodat enkel proper en gecertificeerd zand kan worden gedumpt. Dit zijn vaak ook zeer dure werken. Deze strandsuppletie heeft geen enkel invloed gehad op de kentering van HW.

## 2.3 Conclusie interview en afbakening onderzoeksvragen

Het probleem van het verschil in meetwaarden van de kentering na hoogwater is louter gebaseerd op een incorrecte interpretatie in de cursus van WOBRA. De meetwaarden die aan de meetpaal werden waargenomen, worden verkeerdelijk geëxtrapoleerd naar de badzone en opgenomen in deze cursus. De auteur van de cursus gaat ervan uit dat het gemeten moment van de kentering na hoogwater onveranderd blijft in het werkgebied van de redders. Door het feit dat in de cursus van WOBRA het moment van de kentering anders vermeld staat dan dat er door de redders in werkelijkheid wordt waargenomen, hebben nieuwe leden van de reddingsdienst een fout idee van de afdrijfrichting van drenkelingen. Hierdoor is er dus nood aan een ommezwaai in hun reeds geleerde kennis. In figuur 1 en tabel 2 staat de informatie uit de cursus van WOBRA die nieuwe redders wordt aangeleerd. Daarin staat vermeld dat de kentering 3 uur na hoogwater wordt ingezet. Hiermee wordt het moment bedoeld dat de vloedstroom overgaat naar de ebstroom, met andere woorden wanneer het water van een oostnoordoostelijke stromingsrichting naar een westzuidwestelijke stromingsrichting verandert.

Uit het interview met hoofdredder Tom Cocle blijkt dat door de studie die uitgevoerd is door het Waterbouwkundig Laboratorium, er reeds wetenschappelijk bewijs is dat er effectief een verschil bestaat tussen de meetwaarden bij de meetpaal die vijf mijl in zee staat

en de meetwaarden dicht bij het strand, daar waar de reddingsdienst actief is. Hierdoor was de opzet van mijn thesis om deze waarnemingen op een zo wetenschappelijk mogelijke manier te bevestigen door het onderzoek met andere middelen te repliceren. Dit vormde de basis om op zoek te gaan naar een manier om een eigen meettoestel of combinatie van meetapparatuur te ontwikkelen, waarbij het belangrijk is de kosten zo laag mogelijk te houden. Door het feit dat er met een ander onderzoek het moment van de kentering na hoogwater wordt bepaald, heeft een potentiële bevestiging van de resultaten van het Waterbouwkundig Laboratorium een hogere wetenschappelijke waarde. Repliceerbaarheid is een belangrijke factor die de geldigheid van wetenschappelijk onderzoek bepaalt.

De kans bestaat dat mijn eigen meetresultaten minder nauwkeurig kunnen zijn, maar indien de resultaten in de lijn liggen van de resultaten van de metingen, uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium, kunnen de resultaten van hun studie vanuit een wetenschappelijke visie als waarheid worden aanzien.

De centrale onderzoeksvragen van mijn thesis zijn als volgt:

- Kan met een zo goedkoop mogelijk zelfgebouwd meettoestel de kentering na hoogwater worden waargenomen?
- Bevestigen deze waarden de bevindingen van de studie door het Waterbouwkundig Laboratorium?
- Zijn de gegevens over de getijstromingen in de cursus van WOBRA correct?

## 2.4 Cursus WOBRA

In volgend deel wordt weergegeven wat de redders via de cursus van WOBRA wordt aangeleerd in het vak stromingsleer.

In Blankenberge heeft men twee kenteringen, wanneer de vloedstroom overgaat in de ebstroom en omgekeerd. De richting van de stroom draait, net zoals het getij, in wijzerzin[63]. In tabel 2 wordt, zoals dit beschreven staat in de cursus van WOBRA, het moment van de twee kenteringen weergegeven, in relatie tot hoog- en laagwater. In deze tabel worden ook nog de richtingen van de ebstroom en de vloedstroom beschreven. De richtingen naar waar het water stroomt wordt gevisualiseerd in figuur 1. Deze figuur illustreert de gegevens van tabel 2.

**Tabel 2** Stromingsrichting in functie van de tijdBron: **WOBRA** [63]

TIJDSTIP	STROMING	RICHTING
hoogwater	vloedstroom (oostnoordooststroming)	richting Nederland
één uur na hoogwater	vloedstroom (oostnoordooststroming)	richting Nederland
twee uur na hoogwater	vloedstroom (oostnoordooststroming)	richting Nederland
drie uur na hoogwater	kentering	richting zee NNW
vier uur na hoogwater / twee uur voor laagwater	ebstroom (westzuidweststroming)	richting Frankrijk
vijf uur na hoogwater / één uur voor laagwater	ebstroom (westzuidweststroming)	richting Frankrijk
laagwater	ebstroom (westzuidweststroming)	richting Frankrijk
één uur na laagwater	ebstroom (westzuidweststroming)	richting Frankrijk
twee uur na laagwater	ebstroom (westzuidweststroming)	richting Frankrijk
drie uur na laagwater	kentering	richting strand ZZO
vier uur na laagwater / twee uur voor hoogwater	vloedstroom (oostnoordooststroming)	richting Nederland
vijf uur na laagwater / één uur voor hoogwater	vloedstroom (oostnoordooststroming)	richting Nederland

**Figuur 1** Kentering hoogwaterBron: **WOBRA** [63]

## Hoofdstuk 3

# Studie van het Waterbouwkundig Laboratorium

In sectie 2.1 werd reeds vermeld dat de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium met als titel 'Hydrodynamic climate for the vicinity of Blankenberge harbor' afwijkende meetwaarden heeft vastgesteld van de kentering na hoogwater. Dit wordt ook bevestigd in het interview met Dhr. Cocle in sectie 2.2. Deze studie van Dan e.a. [22] bestaat uit twee luiken. Oorspronkelijk was de bedoeling van de studie om de stromingsleer beter in kaart te brengen en om waterbewegingen binnen de geul van Blankenberge na te gaan omdat hier steeds een grote verzanding is. Op vraag van de strandreddingsdienst van Blankenberge werd er ook een tweede studie bijgevoegd die zich in de branding plaatsvond. De bedoeling was om de wisselende stromingen en het moment van de kentering te bepalen en dus indirect om de beweging van baders in de zee te kunnen nabootsen. Dit tweede luik moest de waarnemingen van de kentering na hoogwater door de redders bevestigen.

In het tweede luik van deze studie gebruikt men twee toestellen. Enerzijds gebruikt men een Aquadopp profiler, een toestel waarmee zeer accuraat watersnelheden en stromingsrichtingen gemeten kunnen worden door gebruik te maken van akoestische dopplermetingen. Anderzijds maakt men gebruik van drifters. De drifters die in deze studie gebruikt worden zijn eigenlijk drijvende toestellen gemaakt van PVC-buizen, waarin een GPS-toestel is bevestigd. Figuur 2 toont hoe deze drifters er uitzien. De drifter drijft als het ware op het water en zijn positie kan zeer accuraat worden geregistreerd. De drifter zit, wanneer die in het water wordt geplaatst, 116,5 cm onder het waterniveau, heeft een maximale breedte van 25 cm en heeft een gewicht van 6,4 kg. Rond de onderkant van de PVC-buis zit een metalen constructie die ervoor zorgt dat de stroming beter kan inwerken op de drifter. De metalen constructie verhoogt het oppervlak waarop de stroming kan aangrijpen. Het gebruikte type GPS-toestel is een Garmin 60 Cx en wordt in het onder-

ste deel van de PVC-buis geplaatst. Bij deze drifters gebruikt men een externe antenne die boven de waterlijn bevestigd is in het bovenste deel van de PVC-buis. Het Garmin GPS-toestel heeft een nauwkeurigheid van 3,5 meter en een batterijduur van 18 uur in combinatie met twee 1,5 V batterijen.

In figuur 3 wordt het onderzoeksgebied van het tweede luik van deze studie geïllustreerd. De gele rechthoek in deze figuur toont waar deze drifters werden geplaatst. De Aquadopp profiler werd net buiten dit vierkant geplaatst, verder van het strand. De exacte coördinaten van de grenzen van dit vierkant werden niet vermeld in het rapport van deze studie. De metingen werden uitgevoerd op 27 juni 2013 tussen 13:4:00 UTC en 18:00:00 UTC. Bij aanvang van het onderzoek met de drifters werden deze op één verticale lijn van het gele vierkant geplaatst. De zes drifters werden vervolgens op deze verticale lijn geplaatst met 50 meter afstand tussen elkaar. Telkens wanneer een drifter het onderzoeksgebied verlaat als gevolg van verplaatsing door de stroming, werd deze opgehaald met een reddingsboot van de strandredders en vervolgens terug op deze lijn geplaatst. Het GPS-toestel registreert telkens de posities van de drifters met een interval van drie seconden. In totaal werden er op deze dag volgens deze werkwijze 43 metingen gedaan. Na de proef met de drifters werden de geregistreerde posities geanalyseerd en kon hieruit de verplaatsingsrichting en verplaatsingssnelheid van de drifters worden afgeleid.



**Figuur 2** Drifters van het Waterbouwkundig Laboratorium  
Bron: Dan e.a. [22]

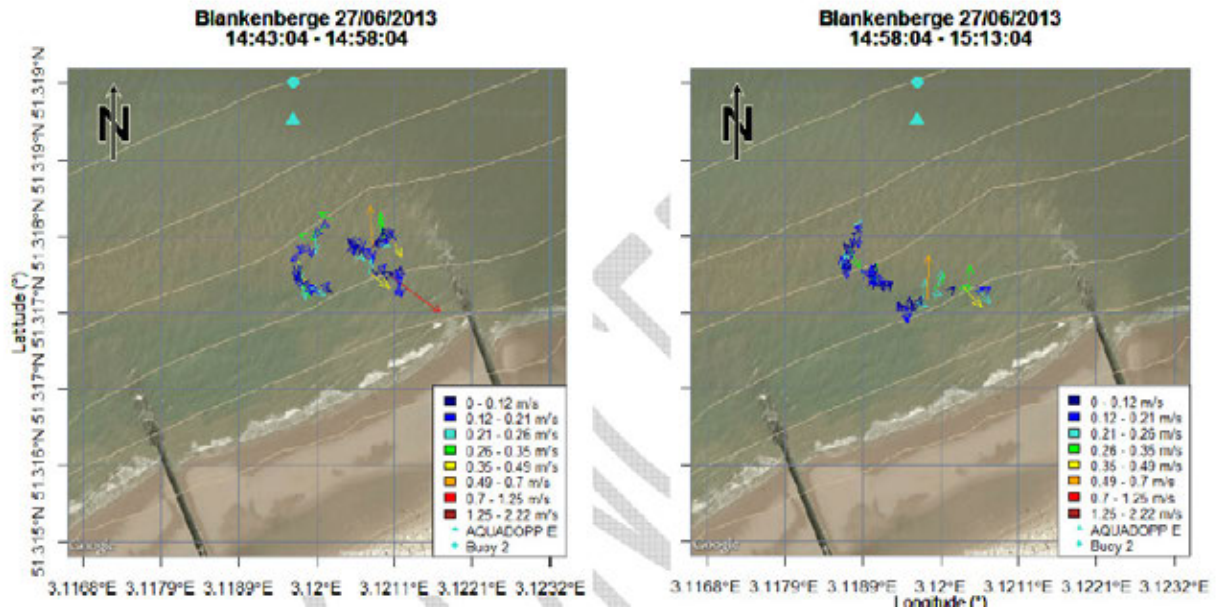


**Figuur 3** Onderzoeksgebied studie Waterbouwkundig Laboratorium  
Bron: Dan e.a. [22]

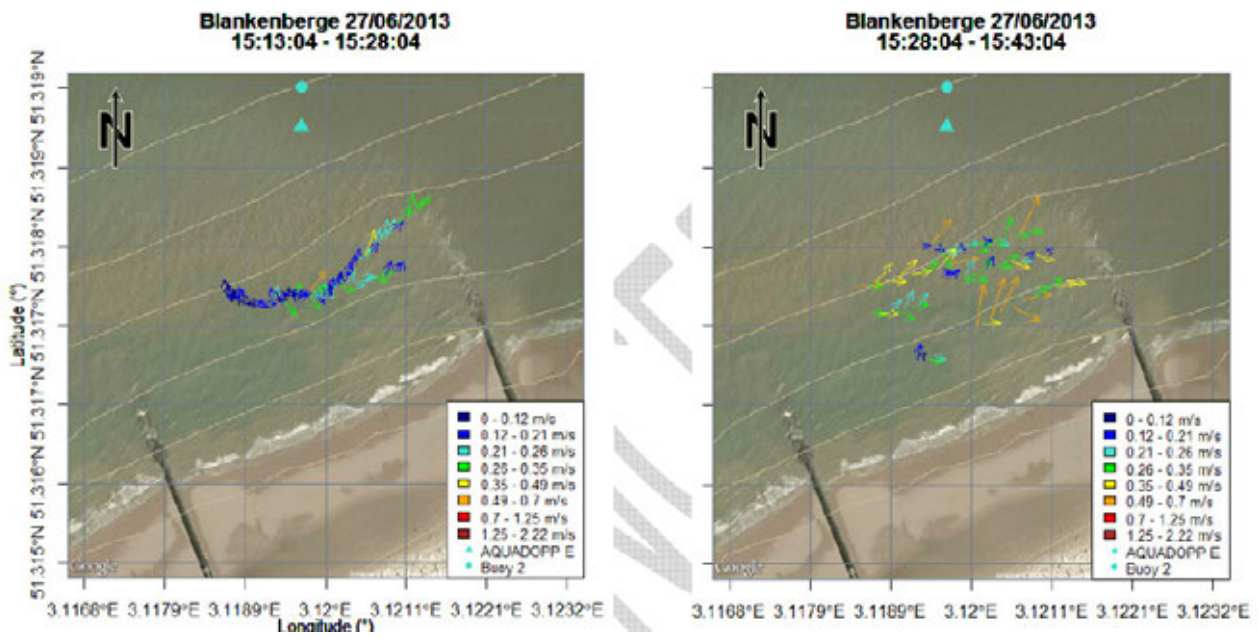
De GPS-posities van de drifters werden in deze studie verwerkt en geanalyseerd met de softwareprogramma's 'ArcGis' en 'R'. Voor de gegevens van het getij tijdens de metingen werd er gebruikgemaakt van de database van Meetnet Vlaamse Banken. Informatie over de aanwezige wind werd gehaald uit metingen van Meetpaal 4 Scheur Wielingen. Deze meetpaal ligt ten oosten van de haven van Zeebrugge.

De resultaten van het onderzoek zijn als volgt:

- Interval tussen 14:43:04 en 15:13:04: de gemeten stroomsnelheden hebben lage waarden die variëren van 0,1 tot 0,2 m/s en de stroomrichtingen zijn zeer verschillend. Dit komt door het feit dat de stroomrichting op dat moment gaat veranderen, zie figuur 4.
- Interval tussen 15:13:04 en 15:43:04: de snelheid van de stroming verhoogt van 0,1 tot 0,5 m/s en richt zich ENE, zie figuur 5.
- Interval tussen 15:43:04 en 16:13:04: de gemeten stroming heeft een snelheid die varieert tussen de 0,25 tot 0,5 m/s heeft richting NE tot ENE, zie figuur 6.
- Interval tussen 16:13:04 en 16:43:04: enkele drifters bevinden zich nu verder van de kust en meten een stroomsnelheid die varieert tussen de 0,5 en 1 m/s met een stroomrichting naar het ENE. De andere drifters blijven dicht bij de kust en beginnen invloed te krijgen van brekende golven. Om die reden registreerden deze drifters een lagere snelheid en een stromingsrichting richting de kust, zie figuur 7.
- Interval tussen 16:43:04 en 17:13:04: de drifters splitsen zich opnieuw op in twee groepen. De eerste groep dicht bij de kust meet ze lage stroomsnelheden die variëren tussen de 0,1 en 0,4 m/s met afwisselende stroomrichtingen tussen N en S. De andere groep verder van het strand meet een constante stroomrichting richting ENE tot NE met snelheden die variëren tussen de 0,3 en 0,7 m/s, zie figuur 8.
- Interval tussen 17:13:04 en 17:43:04: de gemeten stroomsnelheden van beide groepen drifters verminderen tot bijna 0 m/s en er worden stroomrichtingen in alle richtingen gemeten. Het Aquadopp-meettoestel dat nog verder in zee geplaatst is registreert constante stroming richting het noordoosten, zie figuur 9.
- Interval tussen 17:43:04 en 17:58:04: de gemeten snelheden van beide groepen blijven zeer laag en stroomrichtingen variëren. De groep verder van de kust heeft een snelheid van ongeveer 0 m/s. Men kan wel opmerken dat de groep die dicht bij de kust meer van elkaar wegdrijft. Dit komt door het effect van de brekende golven. Het Aquadopp-meettoestel, dat nog verder in zee geplaatst is registreert een stromingsrichting tussen het noorden en het noordoosten, zie figuur 10.

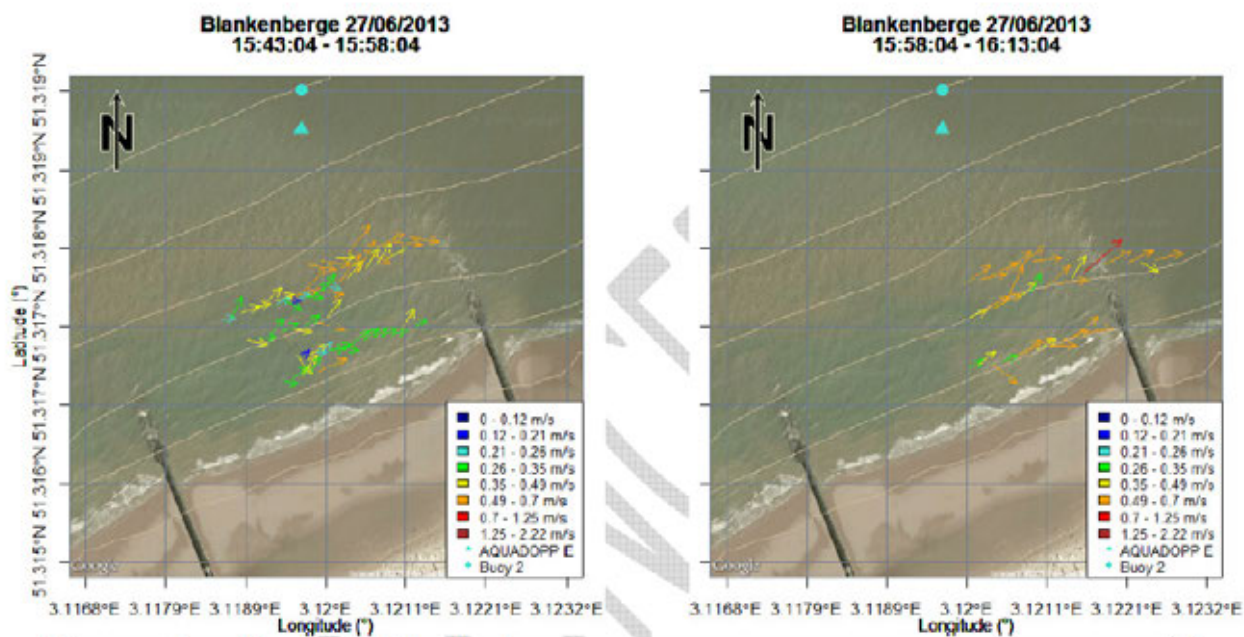


Figuur 4 Verplaatsing van de drifters tussen 14:43:04 en 15:13:04  
Bron: Dan e.a. [22]

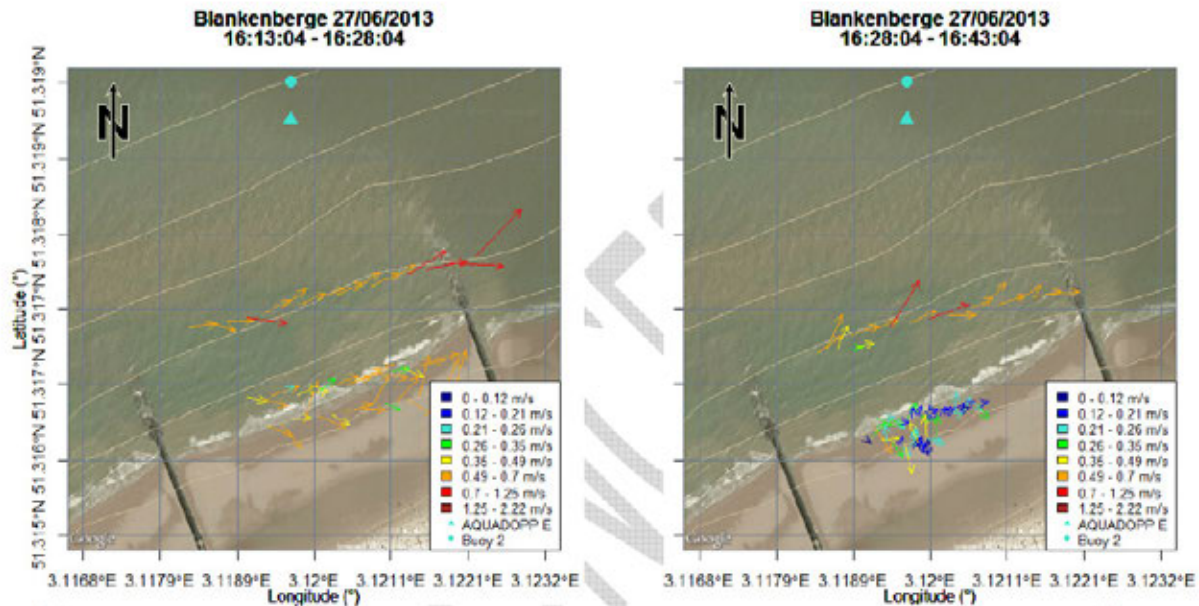


Figuur 5 Verplaatsing van de drifters tussen 15:13:04 en 15:43:04  
Bron: Dan e.a. [22]

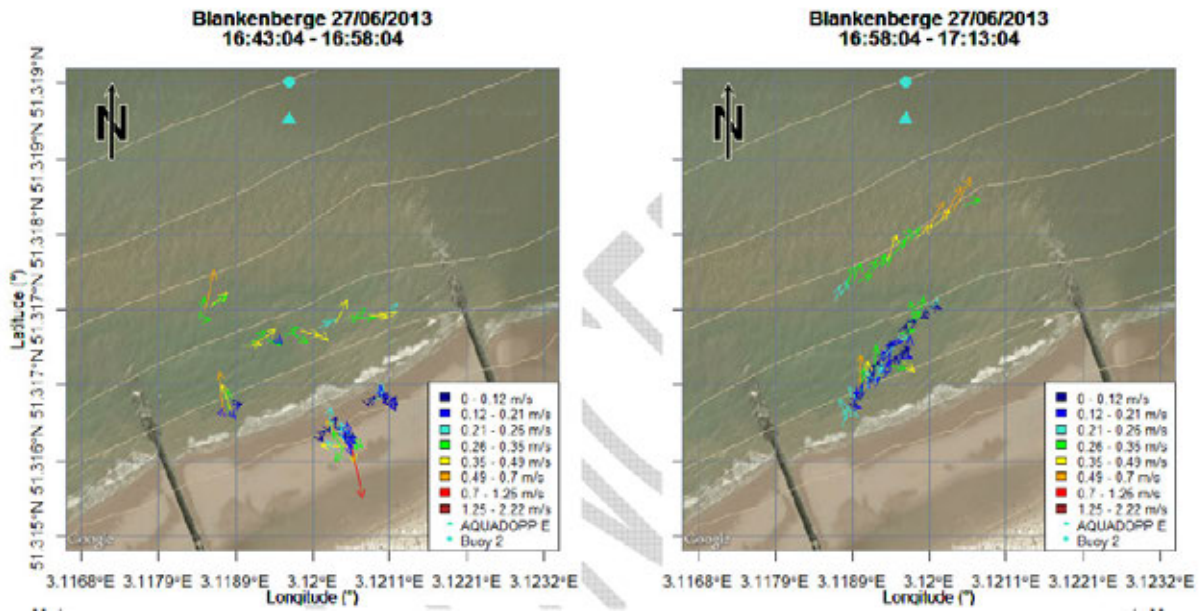




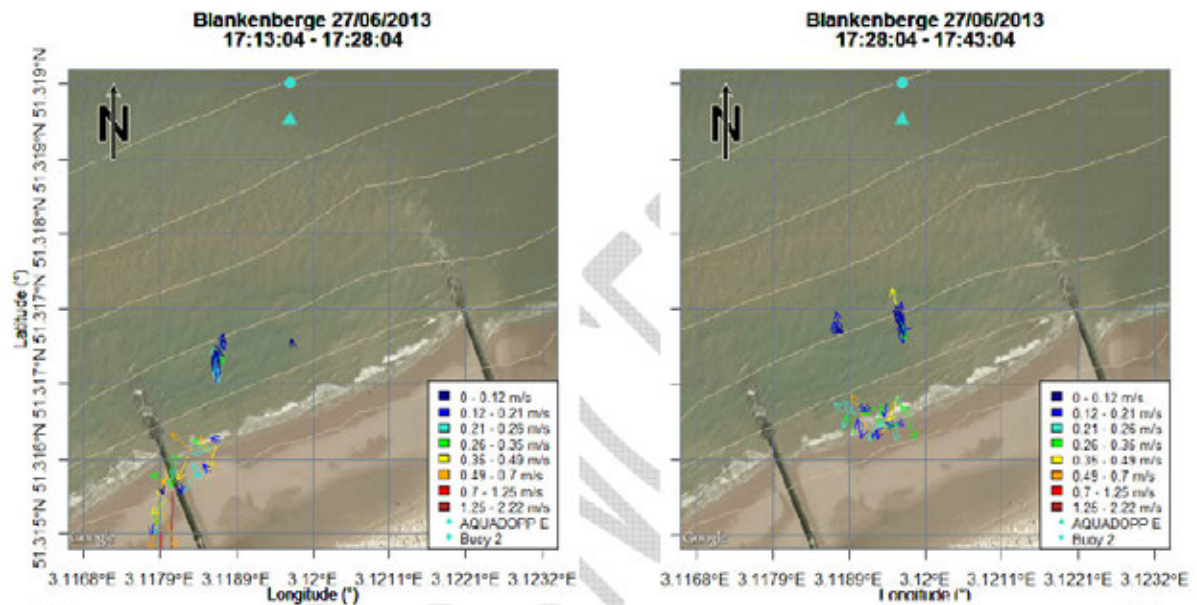
Figuur 6 Verplaatsing van de drifters tussen 15:43:04 en 16:13:04  
Bron: Dan e.a. [22]



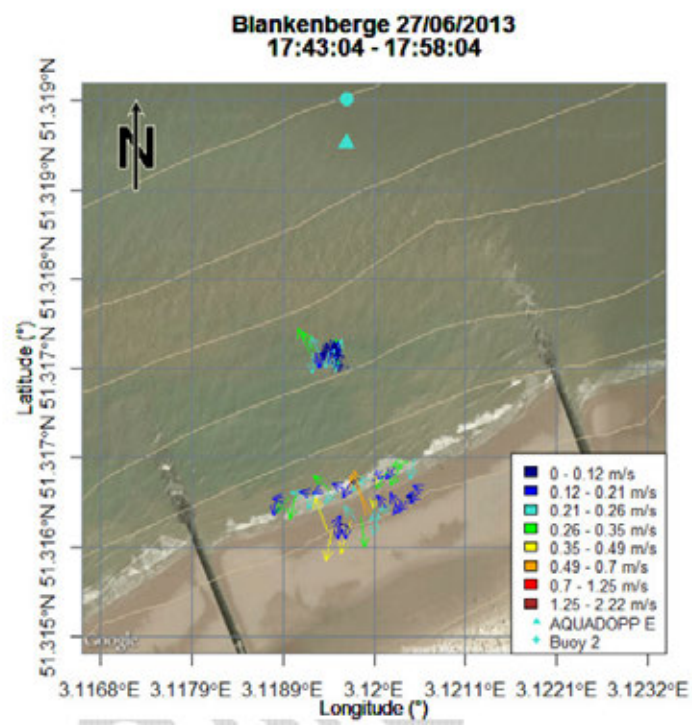
Figuur 7 Verplaatsing van de drifters tussen 16:13:04 en 16:43:04  
Bron: Dan e.a. [22]



Figuur 8 Verplaatsing van de drifters tussen 16:43:04 en 17:13:04  
Bron: Dan e.a. [22]



Figuur 9 Verplaatsing van de drifters tussen 17:13:04 en 17:43:04  
Bron: Dan e.a. [22]



**Figuur 10** Verplaatsing van de drifters tussen 17:43:04 en 17:58:04  
Bron: Dan e.a. [22]

Volgende informatie werd verkregen van onder andere het Aquadopp-meettoestel, de database van Meetnet Vlaamse Banken en metingen van Meetpaal 4 Scheur Wielingen. Deze gegevens schetsen een beter beeld van de heersende omstandigheden waarin de proef met de drifters werd gedaan.

- Het hoogste waterniveau op 27/06/2013 was 4,584 m om 16:15:00 UTC.
- Het waterniveau aan de start van de metingen om 14:40:00 UTC bedraagt 2,94 m.
- Het waterniveau aan het einde van de metingen om 18:00:00 UTC bedraagt 3,89 m.
- De significante golfhoogte gedurende de proef is 0,8 m en de maximale golfhoogte bedraagt 1,5 m.
- De windsnelheid verandert van 4,5 m/s tijdens de start van de proef naar 1,5 m/s tijdens het einde van de proef. De wind kwam vanuit het westen aan de start van de proef en komt van het zuidwesten aan het eind van de proef.

Uit de resultaten van het onderzoek met de drifters werden hieruit volgende conclusies getrokken door het Waterbouwkundig Laboratorium:

- De gemeten stromingen hebben een gemiddelde snelheid tussen de 0,4 en 1,2 m/s.
- De gemiddelde gemeten stromingsrichting is naar het ZW tussen 14:40:00 UTC en 15:30:00 UTC en naar het NE tussen 15:30:00 UTC en 18:00:00 UTC.

In de conclusie van deze proef in het rapport van het Waterbouwkundig Laboratorium wordt niet expliciet vermeld wanneer exact de kentering na hoogwater plaatsvindt. Er werd wel bewezen dat tijdens de vloedstroom voornamelijk een noordoostelijke stroming en bij de ebstroom voornamelijk een zuidwestelijke stroming kan worden waargenomen in de badzone. Een persoonlijke interpretatie van de gemeten resultaten was noodzakelijk om een tijdsinterval toe te kennen waarin de kentering na hoogwater gebeurt.

Tussen 16:43:04 UTC en 17:13:04 UTC registreren de drifters die zich dicht bij het strand bevinden al lagere snelheden van de stroming. Men kan opmerken dat dus dicht bij het strand de noordoostelijk tot oostnoordoostelijke stroming verdwijnt. Deze stroming werd voordien nog waargenomen tussen 15:43:04 UTC en 16:43:04 UTC, zie figuur 6 en figuur 7. Tussen 17:13:04 UTC en 17:43:04 UTC registreren beide groepen van drifters een stroomsnelheid die nagenoeg gelijk is aan nul. Dit wil zeggen dat nu ook de groep drifters die zich verder van het strand bevinden een veranderende stroomrichting ondervinden.

Zoals reeds vermeld in sectie 2.1 definieert WOBRA de kentering als het moment waarop de stroming van richting begint te veranderen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat, volgens deze definitie, dichterbij het strand de kentering begint rond 16:43:04 UTC. Dit is 00:28:04 later dan hoogwater om 16:15:00 UTC. In het rapport van de studie wordt ook vermeld dat deze verlaagde snelheden deels hun oorzaak vinden in het effect van brekende golven. Daarom lijkt het beter te stellen dat de kentering ergens tussen 00:28:00 en 01:28:04 na hoogwater plaatsvindt, omdat tussen 17:13:04 UTC en 17:43:04 UTC beide groepen drifters dezelfde kenmerken van beweging vertonen.

# Hoofdstuk 4

## Meetprincipes van een eigen meettoestel

Zoals reeds vermeld in sectie 2.4 is op het moment van de kentering de stroomsnelheid gelijk aan nul. Deze eigenschap is het makkelijkst meetbaar en daarom werd deze verder uitgediept bij de ontwikkeling van enkele prototypes van een eigen meettoestel.

Als er kan worden gezien op welk ogenblik de watersnelheid gelijk is aan nul of een sterkere vermindering vertoont na het plaatsen van deze gegevens op een grafiek, zou hieruit kunnen afgeleid worden dat dit het moment van de kentering is.

De snelheid van het water kan op twee manieren worden meten: via het Euleriaanse of het Lagrangiaanse principe.

### 4.1 Euleriaanse snelheidsmeting

Een Euleriaanse snelheidsmeting van het water gebeurt op een vaste locatie. Het meettoestel meet hoe snel het water voorbij het meetpunt stroomt. Men kan dit principe het best vergelijken met iemand die op een bank zit en meet hoeveel fietsers er per tijdseenheid voorbij rijden. Meettoestellen die op deze manier de snelheid van het water meten zijn altijd verankerd en blijven stationair in positie hangen in het water. De meetapparatuur zelf is meestal op een bepaalde diepte in het water bevestigd aan de ankerkabel. Bovenaan bevindt zich een boei die ervoor zorgt dat de spanning op de kabel te allen tijde voldoende groot blijft. Deze toestellen zijn eveneens uitgerust met een radiotransmitter die rechtstreeks data uitzendt [23].

## 4.2 Lagrangiaanse snelheidsmeting

Bij een Lagrangiaanse snelheidsmeting van het water wordt de verplaatsing van een groep waterdeeltjes gevolgd. Men kan dit principe het best vergelijken met een fietser die je achtervolgt. Om de watersnelheid op deze manier te meten gebruikt men drifters. Dit zijn meettoestellen die ofwel onder ofwel boven water kunnen drijven en die al dan niet verankerd kunnen zitten aan de grond. Om de snelheid van het water te berekenen, moet men de locaties van de drifters kennen om de verplaatsing te kunnen registreren. Hieruit wordt dan de snelheid van de verplaatsing berekend en als gevolg dus ook de snelheid van de waterverplaatsing. Deze meettoestellen zijn uitgerust met radiotransmitters die rechtstreeks data kunnen uitzenden [23].

# Hoofdstuk 5

## Prototypes Euleriaanse snelheidsmeting

In dit hoofdstuk worden twee prototypes besproken die gebruikmaken van een Euleriaanse snelheidsmeting. Deze zijn een combinatie van twee mechanische snelheidsmeters boven elkaar en een meettoestel met een Raymarine DST-800. Deze worden beiden in een stationaire constructie geplaatst.

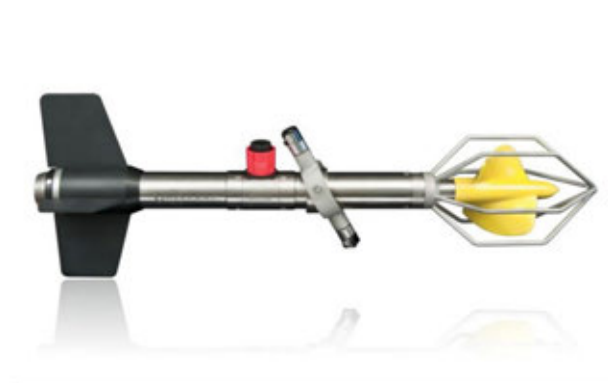
### 5.1 Twee mechanische watersnelheidsmeters boven elkaar op een stationaire constructie

De mechanische snelheidsmeter maakt gebruik van een roterend onderdeel waarmee de snelheid van het water dat er langsloopt kan worden bepaald aan de hand van het aantal rotaties per tijdseenheid. Per keer dat het roterend onderdeel draait, wordt een elektronisch circuit gesloten. Door dit circuit kan nu een stroom vloeien die geregistreerd wordt. Aan de hand van het aantal keer dat het elektronisch circuit gesloten wordt per tijdseenheid, kan de snelheid van het langsstromende water worden bepaald. Dit analoog signaal moet wel nog kunnen geregistreerd worden met een aparte leeseenheid en kunnen worden omgezet in een watersnelheid [52].

De bedoeling was om twee toestellen te gebruiken om zo de stroomsnelheid op verschillende hoogtes te meten. Hierdoor kan er bij de analyse van de gegevens nog een bijkomend onderscheid worden gemaakt tussen oppervlaktestroming en diepere stroming. Een voorbeeld van zo'n snelheidsmeter is een 'propeller-type' rotor met een vleugel, zie figuur 11. Deze soort snelheidsmeter heeft een vleugel die ervoor zorgt dat het toestel zich tegen de richting van de stroom richt, zodat de rotor steeds de hoogste snelheid kan registreren. Een ander type is bijvoorbeeld de 'cup-type' rotor. Dit meettoestel heeft ook een vleugel,



maar gebruikt meerdere schepraderen, zie figuur 12. De meettoestellen zouden dan boven elkaar aan een stationaire constructie in het water hangen.



**Figuur 11** Propeller-type rotor  
Bron: Rshydro [56]



**Figuur 12** Cup-type rotor  
Bron: Cwprs [19]

Het probleem bij deze mogelijkheid is dat het uitgangssignaal analoog is. Concreet wil dit zeggen dat de gegenereerde stroom nog moet worden geconverteerd naar snelheden van het water. Hiervoor is nog een externe analysator nodig. Bovendien moeten de gemeten snelheden ook kunnen worden voorzien van tijdstippen om hieruit de relatie met het tijdstip van hoogwater te kunnen onderzoeken. Omdat er niet direct een manier werd gevonden om dit te verwezenlijken, werd de mogelijkheid onderzocht om een prototype te maken met een snelheidsmeter die geen analoog signaal, maar een digitaal signaal uitzendt. Een voorbeeld van zo'n snelheidsmeter is de Raymarine DST-800 zoals in figuur 13. Een voordeel van dit toestel is dat het uitgangssignaal reeds berekende informatie bevat.

## 5.2 Raymarine DST-800 in een stationaire constructie

In deze sectie wordt onderzocht op welke manier de Raymarine DST-800 nuttig kan zijn in het bepalen van de kentering na hoogwater. Allereerst wordt er besproken wat dit toestel juist is en welke mogelijkheden dit toestel biedt. Vervolgens wordt de structuur van het uitgangssignaal grondig ontleed en wordt er bekeken hoe dit signaal kan worden vertaald in bruikbare data. Tot slot wordt er bekeken op welke wijze dit toestel in het water kan worden geplaatst om gemeten data zo betrouwbaar mogelijk te maken.

De Raymarine DST-800 is een navigatiehulpmiddel dat wordt gebruikt op pleziervaartschepen. Het wordt van binnen naar buiten ingeschroefd in de romp en is in staat om drie parameters te meten ter hoogte van het water onder de kiel: watersnelheid, watertemperatuur en waterdiepte [3].

1) De watersnelheid wordt bepaald door hetzelfde principe zoals beschreven in sectie 5.1, namelijk met een scheprad. In de informatiebrochure van het toestel beweert men dat de nauwkeurigheid met snelheden onder de vijf knopen zeer groot is. Een specifieke waarde werd helaas niet geadverteerd.

2) De watertemperatuur wordt gemeten met een ingebouwde temperatuursensor.

3) De waterdiepte wordt gemeten door middel van een transducer. Een transducer converteert een elektronisch opgewekt signaal naar geluidsgolven. Deze geluidsgolven worden uitgezonden en weerkaatst op de bodem. De transducer converteert vervolgens de ontvangen weerkaatste geluidsgolven terug in de vorm van een elektronisch signaal. De frequentie van de geluidsgolven is gekend en blijft zowel bij het uitzenden als het ontvangen dezelfde. Uit het tijdsverschil tussen uitzenden en ontvangen kan de uiteindelijke diepte worden berekend, op basis van het dopplereffect [33].



**Figuur 13** Raymarine DST-800  
Bron: SvB24 [60]

### 5.2.1 Het uitgangssignaal

Het uitgangssignaal van de Raymarine DST-800 is een digitaal signaal in een universele vorm, het NMEA-0183 protocol [3], in tegenstelling tot de hierboven vernoemde snelheidsmeters die een analoog signaal uitzendt. Het NMEA-signaal kan door verscheidene toestellen worden geanalyseerd en weergegeven worden op bijvoorbeeld een monitor, radar of computer [43].

Voor mijn onderzoek zijn de watertemperatuur en waterdiepte niet zozeer van belang. Het enige wat wel belangrijk is, is het digitale uitgangssignaal van de watersnelheid. Een enkelvoudig meettoestel dat enkel de watersnelheid meet en een digitaal uitgangssignaal heeft, kon ik niet vinden in webshops op het internet.

## NMEA-0183

NMEA-0183 werd uitgevonden door de National Marine Electronics Association [11]. Het is een protocol dat standaard wordt gebruikt om elektronische communicatie tussen verschillende navigatiehulpmiddelen en andere apparatuur te verwezenlijken. Toestellen die gebruikmaken van het NMEA-protocol worden ingedeeld in de zogenaamde ‘talkers’ en ‘listeners’ of een combinatie van beiden. ‘Talkers’ zenden stukjes informatie uit, ‘listeners’ kunnen deze informatie vertalen in iets bruikbaar. Eenzelfde ‘talker’ kan meerdere ‘listeners’ hebben. Bijvoorbeeld: een positie uitgezonden door de GPS-ontvanger wordt weergegeven op een monitor en ook op de radar. De GPS-ontvanger is de ‘talker’, de monitor en radar zijn de ‘listeners’ [43].

### ‘Talker sentences’ [11]

Alle NMEA-data wordt uitgezonden in de vorm van ‘talker sentences’. Een ‘talker sentence’ begint altijd met \$ en eindigt met <CR><LF> en ziet er in het algemeen als volgt uit: \$ttsss,d1,d2,...<CR><LF>

De eerste twee letters ‘tt’ zijn de ‘talker identifier’. Elk ander soort toestel heeft zijn eigen code. Op deze manier weet de ‘listener’ welk toestel er informatie uitzendt. Een overzicht van alle ‘talker identifiers’ wordt weergegeven in tabel 3.

**Tabel 3** ‘Talker identifiers’

Bron: **Fort21** [11]

AG	Autopilot - General	IN	Integrated Navigation
AP	Autopilot - Magnetic	LC	Loran C
CD	Communications Digital Selective Calling (DSC)	P	Proprietary Code
CR	Communications Receiver/Beacon Receiver	RA	RADAR and/or ARPA
CS	Communications Satellite	SD	Sounder, Depth
CT	Communications Radio-Telephone (MF/HF)	SN	Electronic Positioning System, other/general
CV	Communications Radio-Telephone (VHF)	SS	Sounder, Scanning
CX	Communications Scanning Receiver	TI	Turn Rate Indicator
DF	Direction Finder	VD	Velocity Sensor, Doppler, other/general
EC	Electronic Chart Display & Information System (ECDIS)	DM	Velocity Sensor, Speed Log, Water, Magnetic
EP	Emergency Position Indicating Beacon (EPIRB)	VW	Velocity Sensor, Speed Log, Water, Mechanical
ER	Engine Room Monitoring Systems	WI	Weather Instruments
GP	Global Positioning System (GPS)	YX	Transducer
HC	Heading - Magnetic Compass	ZA	Timekeeper - Atomic Clock
HE	Heading - North Seeking Gyro	ZC	Timekeeper - Chronometer
HN	Heading - Non- Seeking Gyro	ZQ	Timekeeper - Quartz
II	Integrated Instrumentation	ZV	Timekeeper - Radio Update, WWV or WWVH

De volgende drie letters ‘sss’ vormen de ‘sentence identifier’. Dit is een code van drie letters waardoor de ‘listener’ weet welke soort informatie er vervolgens wordt weergegeven in ‘d1’, ‘d2’ en verder.

‘Talker sentences’ kunnen verschillende soorten informatie bevatten. De inhoud van deze informatie is afhankelijk van de ‘sentence identifier’. Om het verschil in deze informatie aan te tonen werden de sentence identifiers die bij GPS-data en Loran-C-data horen met elkaar vergeleken. Voor GPS-data wordt de sentence identifier ‘GGA’ gebruikt. Bij Loran-C-data is deze gelijk aan ‘GLC’. De structuur van ‘talker sentences’ met deze twee ‘sentence identifiers’ kunnen worden teruggevonden in figuur 14 en figuur 15. Men kan opmerken dat de ‘talker sentences’ die in deze twee figuren worden getoond een verschillende structuur hebben. Tabel 4 en tabel 5 verduidelijken de verschillende segmenten van de ‘talker sentences’ met ‘sentence identifiers’ GGA en GLC, weergegeven in figuur 14 en figuur 15. Merk op dat bij de ‘talker sentence’ met ‘sentence identifier’ GGA de tijd in UTC wordt weergegeven. Bij de ‘talker sentence’ met ‘sentence identifier’ GLC is dit niet het geval. De oorzaak van dit verschil is de volgende: Loran-C is een plaatsbepalingssysteem dat gebruik maakt van grondstations die enkel radiosignalen uitzenden. De locatie van de Loran-C-ontvanger kan worden bepaald aan de hand van het tijdsverschil tussen het moment van ontvangst van die radiosignalen van verschillende grondstations. Deze vorm van plaatsbepaling heeft daarom geen exacte tijdsindicatie nodig. Om die reden wordt deze vanuit de grondstations ook niet meegestuurd en wordt deze ook niet vermeld in de NMEA-data met ‘sentence identifier’ GLC, die Loran-C-data bevat [64]. Waarom dit zozeer van belang is voor mijn prototype, wordt besproken in subsectie 5.2.2.

```

          11
          |
    1     2     3 4     5 6 7 8     9 10 | 12 13 14 15
    |     |     | |     | | | | | | | | | | | |
$--GGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh

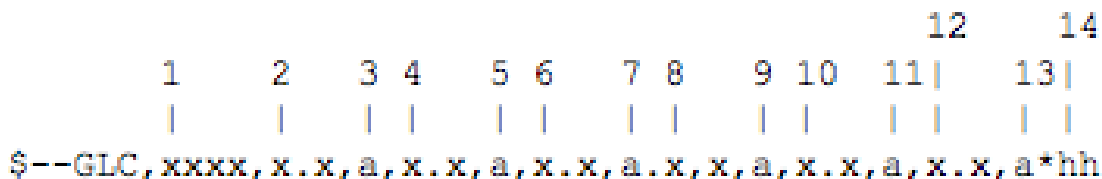
```

**Figuur 14** Structuur van een ‘talker sentence’ met GGA ‘sentence identifier’  
Bron: Fort21 [11]

**Tabel 4** NMEA-0183 data van een ‘talker sentence’ met GGA ‘sentence identifier’

Bron: Fort21 [11]

1)	Time (UTC)	8)	Horizontal Dilution of precision
2)	Latitude	9)	Antenna Altitude
3)	N or S (North or South)	10)	Units of antenna altitude
4)	Longitude	11)	Geoidal separation
5)	E or W (East or West)	12)	Units of geoidal separation, meters
6)	GPS Quality Indicator	13)	Age of differential GPS data
7)	Number of satellites in view		



**Figuur 15** Structuur van een ‘talker sentence’ met een GLC ‘sentence identifier’  
Bron: Fort21 [11]

**Tabel 5** NMEA-0183 data van een ‘talker sentence’ met een GLC ‘sentence identifier’

Bron: Fort21 [11]

1)	GRI Microseconds/10	8)	Time Difference 3 Microseconds
2)	Master TOA Microseconds	9)	Time Difference 3 Signal Status
3)	Master TOA Signal Status	10)	Time Difference 4 Microseconds
4)	Time Difference 1 Microseconds	11)	Time Difference 4 Signal Status
5)	Time Difference 1 Signal Status	12)	Time Difference 5 Microseconds
6)	Time Difference 2 Microseconds	13)	Time Difference 5 Signal Status
7)	Time Difference 2 Signal Status	14)	Checksum

De Raymarine DST-800 zendt voor elke parameter die in het begin van sectie 5.2 wordt vermeld een aparte ‘talker sentence’ uit met informatie. Volgende ‘talker sentences’ worden door de Raymarine DST-800 verzonden [3]:

- 1)\$SDDBT geeft informatie over de geregistreerde diepte
- 2)\$VWVHW geeft informatie over de snelheid door het water
- 3)\$VWVLW geeft informatie over de afgelegde afstand door het water
- 4)\$YXMTW geeft informatie over de watertemperatuur.

Om de snelheid van het water te bepalen kan alleen maar de ‘talker sentence’ die informatie geeft over de snelheid door het water worden gebruikt. Deze moet van de rest worden gefilterd bij het analyseren van de data. Nadat deze ‘talker sentence’ gefilterd is, moet de inhoud hiervan worden geanalyseerd om daaruit de gemeten snelheid te kunnen bepalen, gezien een ‘talker sentence’ uit meerdere soorten informatie bestaat. In figuur 16 wordt de structuur van deze ‘talker sentence’ met ‘talker identifier’ VW en ‘sentence identifier’ VHW weergegeven. Tabel 6 identificeert de verschillende segmenten van deze structuur. De informatie uit de ‘talker sentence’ in posities vijf en zeven geven de absolute waarde van de waargenomen watersnelheid. De waarde in positie vijf geeft de snelheid van het water in knopen per uur, de informatie in positie zeven geeft de snelheid van het water in kilometer per uur.

## VHW Water Speed and Heading

```

      1   2 3   4 5   6 7   8 9
      |   | |   | |   | |   | |
$--VHW,x.x,T,x.x,M,x.x,N,x.x,K*hh

```

**Figuur 16** Structuur van een 'talker sentence' met VHW 'sentence identifier'

Bron: **Fort21** [11]

**Tabel 6** NMEA-0183 data van een 'talker sentence' met VHW 'sentence identifier'

Bron: **Fort21** [11]

1)	Degrees True
2)	T = True
3)	Degrees Magnetic
4)	M = Magnetic
5)	Knots (speed of vessel relative to the water)
6)	N = Knots
7)	Kilometers (speed of vessel relative to the water)
8)	K = Kilometres
9)	Checksum

### 5.2.2 Het capteren van de NMEA 'talker sentences'

De Raymarine DST-800 zendt zoals hierboven beschreven NMEA 'talker sentences' uit. Deze data moet kunnen worden gelezen en opgeslagen om deze vervolgens te kunnen analyseren. Bovendien moet dit een klein toestel zijn en moet het kunnen opereren op batterijspanning. Ook de prijs moet zo laag mogelijk zijn. Hieronder worden twee toestellen besproken die aan deze eisen voldoen. Het betreft een zelfgebouwde configuratie met een Arduino Uno board en de OpenSeaMap NMEA-logger.

#### Raymarine DST-800 in combinatie met een Arduino Uno board

Arduino is een open-source platform gebaseerd op makkelijk te gebruiken hardware en software. 'Arduino boards' zijn eigenlijk een soort minicomputers die programmeerbaar zijn. Figuur 17 geeft weer hoe een Arduino Uno board er uitziet. Zo kunnen ook verschillende andere elektronische componenten worden aangesloten. De mogelijkheden met

dit toestel zijn eindeloos en door de grote gemeenschap van professionelen, hobbyisten, leerkrachten en studenten kan je met al je vragen terecht in verscheidene fora. Enkele voorbeelden van creaties met Arduino-onderdelen zijn een binaire klok, een thermostaat voor de koelkast, een bewegingsdetector...



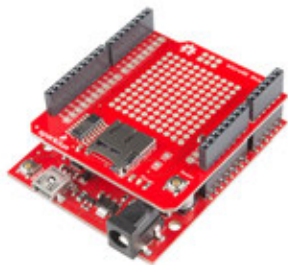
**Figuur 17** Arduino Uno board  
Bron: **Arduino** [9]

In deze subsectie wordt er onderzocht of het mogelijk is de ‘talker sentences’ van de Raymarine DST-800 met behulp van een Arduino Uno board op te slaan. Allereerst werd er onderzocht of het theoretisch mogelijk was dit idee te realiseren. Hiervoor werd er bekeken welke soortgelijke configuraties met de Arduino Uno te vinden waren op het internet. Vervolgens werd er bekeken of er aanpassingen nodig waren in de samenstelling van de gebruikte elektronische componenten. Ook werd de compatibiliteit onderzocht van de Raymarine DST-800 in combinatie met het Arduino Uno board. Hiervoor werden de uitgangen van de elektronische componenten met elkaar vergeleken en bekeken op welke manier deze kunnen worden aangesloten op de Arduino Uno.

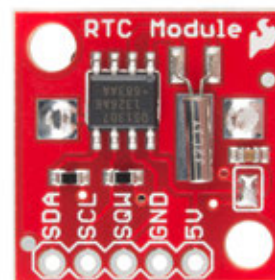
Om ‘talker sentences’ te kunnen registreren werd de mogelijkheid onderzocht om hiervoor een Arduino Uno board te gebruiken. Dit idee ontstond na het bekijken van enkele handleidingen op het internet die instructies geven over hoe je een GPS-logger kan bouwen met behulp van een Arduino Uno board. De GPS-logger die in een handleiding behandeld wordt, bestaat uit verschillende componenten. Deze zijn een Arduino Uno board, een SD-kaartmodule en een GPS-module [34]. In figuur 18 wordt zo’n SD-kaartmodule getoond. Dit model is zo ontworpen dat het gewoon op het Arduino Uno board kan worden geplaatst. Het principe van dit gecombineerd toestel is als volgt: de GPS-module berekent posities aan de hand van informatie die het van satellieten ontvangt. Deze informatie wordt door de GPS-module volgens het NMEA-protocol omgezet in data. Deze data, in de vorm van ‘talker sentences’, bevat niet enkel posities, maar ook alle informatie die in tabel 4 beschreven wordt. Het Arduino Uno board is zo geprogrammeerd dat



het deze ‘talker sentences’ kan ontvangen en lezen. Vervolgens worden deze ontvangen ‘talker sentences’ op een SD-kaart geschreven met behulp van de SD-kaartmodule. Deze handleiding bewijst dat de Arduino Uno kan worden geprogrammeerd om ‘talker sentences’ te ontvangen en op te slaan. Indien in deze configuratie de GPS-module vervangen wordt door de Raymarine DST-800, zou hiermee een datalogger kunnen worden gebouwd die de ‘talker sentences’ van de Raymarine DST-800 kan ontvangen, herkennen en registreren. Hiervoor werd er bekeken of de combinatie van hardware, bestaande uit een Arduino Uno board, SD-kaartmodule en de Raymarine DST-800, voldoende was om met geregistreerde gegevens de snelheid van de stroom te kunnen afleiden. Door de ‘talker sentences’ van de GPS-module en die van de Raymarine DST-800 te vergelijken stelde zich volgend probleem: in figuur 4 zien we dat een ‘talker sentence’ met GPS-data standaard al het juiste uur in UTC bevat. Deze wordt door satellieten mee doorgestuurd. Bij het uitlezen van de ‘talker sentences’ van de GPS-module, staat bij elke geregistreerde positie afzonderlijk het uur van ontvangst vermeld. In tabel 6 zien we dat er in de ‘talker sentences’ met ‘sentence identifier’ VHW, uitgezonden door de Raymarine DST-800, geen tijdsindicatie wordt meegestuurd. De geanalyseerde ‘talker sentences’ van de Raymarine DST-800 zouden daardoor compleet onbruikbaar zijn voor het bepalen van het moment van de kentering, gezien er geen tijdstip wordt toegekend aan de gemeten watersnelheden. Een manier om toch het ware tijdstip aan de data van de Raymarine DST-800 toe te voegen, is door gebruik te maken van een bijkomende elektronische tijdsmodule die aan het Arduino Uno board wordt aangesloten. Een voorbeeld hiervan is de ‘Sparkfun Real Time Clock module’, weergegeven in figuur 19. De Arduino Uno ontvangt dan zowel data van de Raymarine DST-800 als van de tijdsmodule. Het is dan wel noodzakelijk de Arduino Uno zo te programmeren dat de data van beide elementen met elkaar worden gesynchroniseerd en dat deze data gelijktijdig op de SD-kaart wordt geschreven. De tijd kan bijvoorbeeld bij elke ‘talker sentence’ van de Raymarine DST-800 op het einde worden bijgevoegd. De data die dan uiteindelijk op de SD-kaart wordt opgeslagen, bevat dus een bepaalde watersnelheid, met daaraan een tijdstip gekoppeld wanneer deze waarde geregistreerd werd.



**Figuur 18** Sparkfun MicroSD-shield  
Bron: **Sparkfun** [58]



**Figuur 19** Sparkfun Real Time Clock module  
Bron: **Sparkfun** [59]

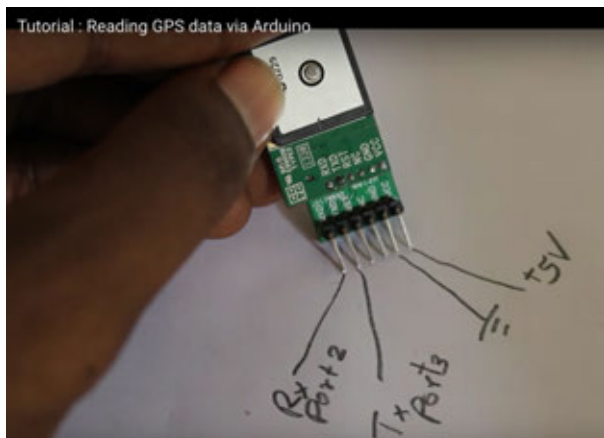


Een andere mogelijkheid is om de Raymarine DST-800 toch zonder extra tijdsmodule aan te sluiten op de Arduino Uno en dan op een gekend uur in het water te plaatsen. Als men ervan uitgaat dat de Raymarine DST-800 doorlopend data uitzendt en dat de Arduino Uno zo wordt geprogrammeerd dat deze data met een vast tijdsinterval van één seconde wordt geregistreerd, kan door middel van enkelvoudige bewerkingen het tijdstip dat bij elke ‘talker sentence’ hoort worden berekend. Een voorbeeld om deze redenering te duiden is als volgt: het meettoestel wordt om stipt 13:00:00 UTC in het water gelegd. Men gaat ervan uit dat de Arduino Uno pas vanaf dit moment posities begint te registreren. De Arduino Uno registreert nu per tijdsinterval van één seconde een ‘talker sentence’ op de SD-kaart. Tussen elke geregistreerde ‘talker sentence’ zit dus één seconde. Bij de eerste ‘talker sentence’ hoort dan het tijdstip 13:00:00 UTC. Bij de volgende lijn data hoort dan het tijdstip 13:00:01 UTC, bij de derde lijn data 13:00:02 UTC, enzovoort.

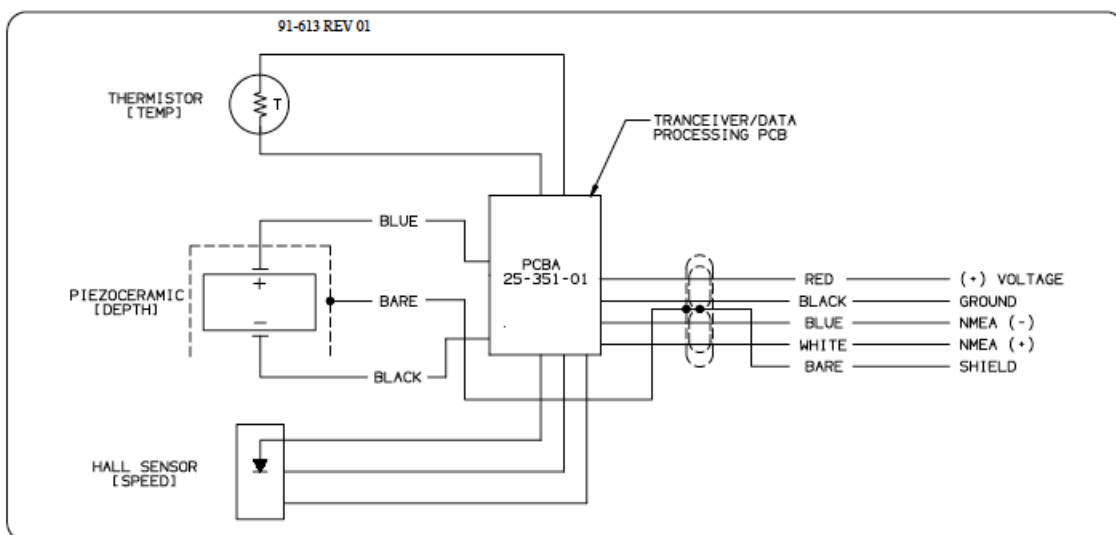
Omdat het om praktische redenen zeer moeilijk is het registreren van de ‘talker sentences’ pas te laten starten op het moment dat het toestel in het water wordt bevestigd, wordt de voorkeur gegeven aan een configuratie met een tijdsmodule.

Nu de verschillende onderdelen gekend zijn, moet worden bekeken hoe deze aan elkaar kunnen worden aangesloten en op welke wijze deze van energie kunnen worden voorzien. Dit is van belang omdat bepaalde stukken programmeercode specifiek worden toegeëigend aan afzonderlijke aansluitpunten van het Arduino Uno board. Deze worden ‘pins’ genoemd. Niet elke ‘pin’ heeft dezelfde functie.

Op internet vindt men allerlei handleidingen en videomateriaal die tonen hoe bijvoorbeeld een aparte GPS-module wordt aangesloten op de Arduino Uno [41]. De uitgangen van de GPS-module die als voorbeeld wordt gebruikt in een videohandleiding zijn te zien in figuur 20. Op deze figuur kan men zien dat enkel de uitgangen ‘Tx’, ‘Rx’, ‘GND’ en ‘VCC’ worden aangesloten op de Arduino Uno. Figuur 21 geeft schematisch de uitgangen van de Raymarine DST-800 weer. Indien men de uitgangen van de GPS-module en de Raymarine DST-800 vergelijkt, kan men zien dat deze grotendeels overeenkomen. De uitgangen ‘NMEA (+)’ en ‘NMEA (-)’ zijn andere benamingen voor respectievelijk ‘Tx’ en ‘Rx’ [12]. Hieruit kan worden afgeleid dat de uitgangen van de Raymarine DST-800 met benamingen ‘NMEA (+)’ en ‘NMEA (-)’ respectievelijk op ‘pin 2’ en ‘pin 3’ kunnen worden aangesloten op het Arduino Uno board. Omdat het voltage op de uitgangen ‘NMEA (+)’ en ‘NMEA (-)’ niet gespecificeerd staat in de technische fiche van de Raymarine DST-800, kon hierdoor niet worden nagegaan of het voltage binnen de limieten ligt van de Arduino Uno. Indien deze erboven ligt, moet het voltage van het uitgangssignaal eerst worden afgezwakt door middel van een transformator. Dit werd in deze thesis niet meer verder onderzocht omdat de OpenSeaMap NMEA-logger een beter alternatief is. Dit wordt verder besproken in subsubsectie 5.2.2.



**Figuur 20** Uitgangen GPS-module  
Bron: Youtube [41]



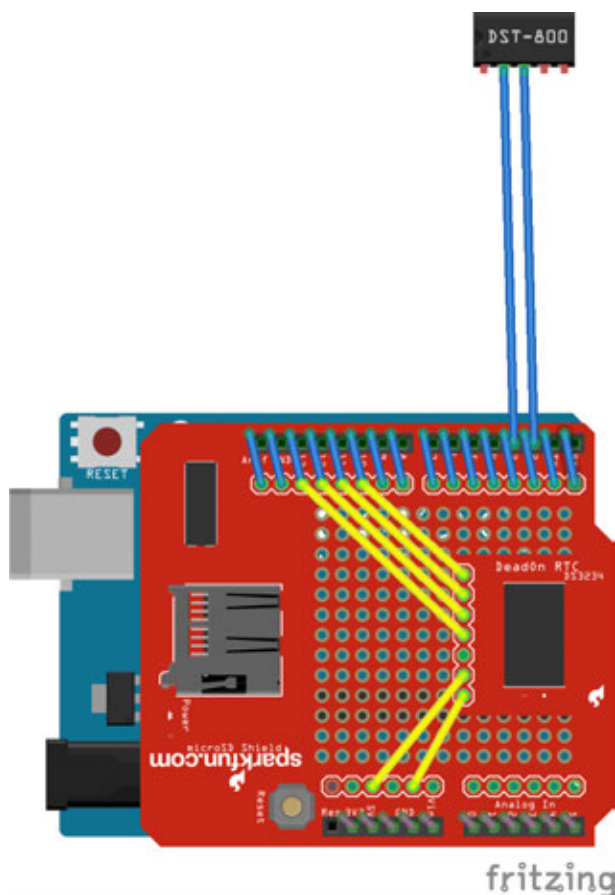
Garmin

**Figuur 21** Elektronisch schema Raymarine DST-800  
Bron: Airmartechnology [4]

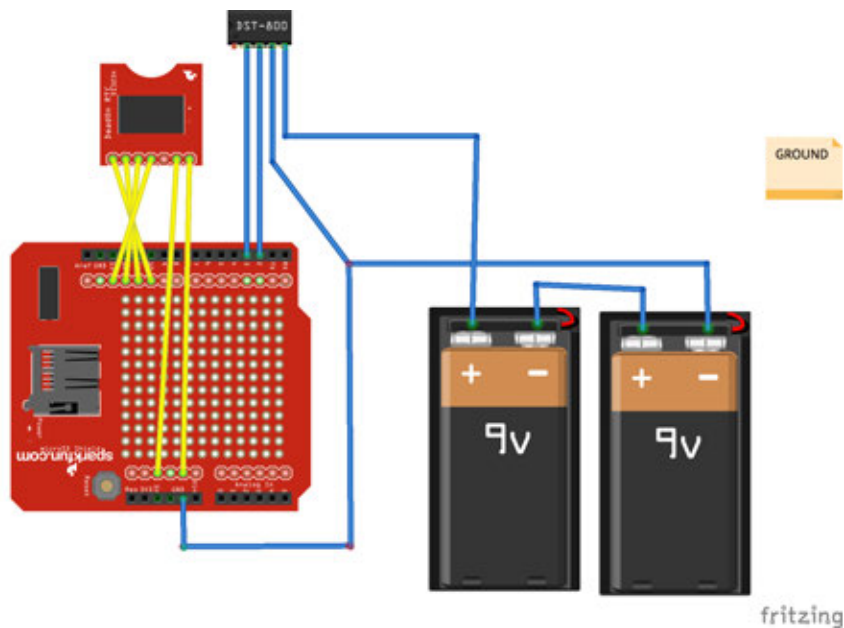
Een ander probleem doet zich voor bij de voeding. In de videohandleiding kan men zien dat het aansluitpunt ‘VCC’ van de GPS-module wordt aangesloten op de 5 V uitgang van de Arduino Uno. De meeste elektronische componenten, die specifiek voor de Arduino Uno worden gebouwd, werken met een spanning tot 5 V. Op deze manier hoeft enkel het Arduino Uno board van energie worden voorzien en kan het een deel van deze energie verdelen over de aangesloten componenten via de ingebouwde 5 V uitgang. Het Arduino

Uno board zelf krijgt een spanningsinvoer tussen de 9 en 12 V. Echter, de Raymarine DST-800 werkt pas met een voltage tussen de 10 en 25 V [3]. Daardoor kan deze dus niet rechtstreeks op de 5 V uitgang van het Arduino Uno board worden aangesloten. Dit heeft tot gevolg dat de aansluitpunten ‘GROUND’ en ‘VOLTAGE (+)’ van de Raymarine DST-800 moeten worden aangesloten op een aparte batterij, een combinatie van batterijen of op de batterij die de Arduino Uno van energie voorziet. Deze moet dan wel een voltage leveren van boven de 9 V.

Alvorens deze theorie om te zetten in de praktijk, werden alle onderdelen aan elkaar aangesloten in het softwareprogramma ‘Fritzing’. Het was de bedoeling de werking te simuleren alvorens over te gaan tot de aankoop van de verschillende componenten. ‘Fritzing’ is een programma dat het mogelijk maakt om tekeningen te maken van allerlei elektronische componenten [30]. Standaard bevat het programma een bibliotheek van Arduino boards, Arduino componenten, modules, batterijen, connectoren ... In deze software kan de programmeercode van de Arduino Uno worden ingegeven, zodat de werking van de aan elkaar aangesloten componenten ook daadwerkelijk kan worden gesimuleerd. Figuur 22, figuur 23 en figuur 24 werden in deze software gemaakt. Omdat de Raymarine DST-800 standaard niet in de bibliotheek van ‘Fritzing’ staat, wordt deze in volgende tekeningen voorgesteld door een chip met 5 aansluitpunten. Elke ‘pin’ van deze chip heeft een naam van een uitgang gekregen, zoals deze beschreven staan in figuur 21. Deze component kan dus helaas niet worden gebruikt bij een mogelijke simulatie, omdat deze niet de eigenschappen van de Raymarine DST-800 bezit. Als gevolg werd deze software enkel gebruikt als voorbereiding en om in deze scriptie te visualiseren hoe het geheel er in realiteit zou uitzien, welke batterijen er nodig zijn en hoe deze geconfigureerd moeten worden. Bovendien vatten deze tekeningen samen op welke plaats welke component moet worden aangesloten, gezien hierover in de handleiding van elke component vaak specifieke instructies terug te vinden zijn.



**Figuur 22** Bedradingsdiagram Raymarine DST-800 in combinatie met een Arduino Uno board  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 23** Bedradingsdiagram Raymarine DST-800 in combinatie met een Arduino Uno board  
Bron: **Eigen werk**



Uit ondervinding blijkt het programmeren van de Arduino Uno een grote hoeveelheid tijd in beslag te nemen. Op internet en fora zijn er al grote stukken code vrij beschikbaar, maar het vereist toch enige kennis om ervoor te zorgen dat deze met elkaar compatibel zijn. Bovendien ligt de totaalprijs van deze configuratie nogal aan de hoge kant. Bij het zoeken naar andere opties leek de OpenSeaMap NMEA-logger de moeite waard om verder te bestuderen. Dit toestel elimineert de tijd die moet worden gestoken in het schrijven van de programmeercode en is een goedkopere optie.

### **Raymarine DST-800 in combinatie met de OpenSeaMap NMEA-logger**

Een tweede mogelijke optie om de ‘talker sentences’ van de DST-800 op te slaan, is door gebruik te maken van de OpenSeaMap NMEA-logger, zoals in figuur 25. OpenSeaMap is een wereldwijd open-source project met als doel gratis zeekaarten te maken, die geschikt zijn voor navigatie. Iedereen die wil, kan eenvoudig meewerken aan dit project. Data wordt door vrijwilligers ingezonden. Iedereen kan een OpenSeaMap datalogger kopen waaraan bijvoorbeeld een GPS of dieptemeter kan worden aangesloten. De ‘talker sentences’ worden dan opgeslagen en doorgestuurd naar OpenSeaMap. Vervolgens wordt deze data geanalyseerd om te gebruiken in hun zeekaarten [47] [45].

Gezien de uitgebreide invoermogelijkheden, zou dit toestel ook de data van de Raymarine DST-800 kunnen registreren. Na contact met de verantwoordelijke van het OpenSeaMap-project, werd bevestigd dat dit mogelijk is. De communicatie via mail kan gevonden worden in bijlage A.

De OpenSeaMap NMEA-logger is in staat om twee verschillende NMEA-ingangen te registreren op een SD-kaart. Er zit ook een ingebouwde accelerometer in die beweging in x-, y- en z-as registreert. Door de ingebouwde klok kan eender welke soort geregistreerde ‘talker sentences’ worden voorzien een tijdsindicatie. Om de NMEA-logger van een 12 V spanningsinvoer te voorzien, moet deze worden aangesloten op een reeks batterijen die samen een spanning van 12 V leveren. Vergeleken met een Arduino, heeft de NMEA-logger een aantal voordelen. Er moet bijvoorbeeld niet meer geprogrammeerd worden, de logger is standaard al voorzien van een SD-kaartmodule en de tijd wordt automatisch geregistreerd. Dit alles maakt het veel gemakkelijker om mee te werken, in vergelijking met de Arduino Uno. De prijs is, in tegenstelling tot de combinatie van de Raymarine DST-800 met de Arduino Uno, bijzonder laag, namelijk niet meer dan 30 euro [48]. De ‘talker-sentences’ die worden gelogd op een SD-kaart met deze NMEA-logger kunnen op <http://freenmea.net/decoder> worden geanalyseerd. De ‘talker sentences’ moeten worden gekopieerd in het daarvoor voorziene tekstvak en vervolgens stelt deze website een tabel op met alle informatie. Indien er posities in de NMEA-code staan, worden deze visueel

weergegeven op een kaart. Deze gegevens kunnen in Microsoft Excel worden gekopieerd om de snelheden met tijdstip grafisch weer te geven.



**Figuur 25** OpenSeaMap NMEA-logger  
Bron: [Wiki.openseamap.org](http://Wiki.openseamap.org) [46]

In de handleiding op de website van OpenSeaMap staat vermeld op welke manier de uitgangen van een navigatiehulpmiddel met een NMEA-0183-uitgangssignaal kan worden aangesloten. De aansluiting van toestellen die NMEA-signalen uitzenden naar de NMEA-logger gebeurt via een RJ-45 connector. Deze heeft acht ‘pins’. Figuur 26 verduidelijkt welke aansluiting er op welke ‘pin’ van de RJ-45 stekker moet worden bevestigd. De ‘pins’ van de RJ-45 stekker worden hiervoor genummerd. Dit kan je zien in figuur 27. Uit figuur 26 kan men afleiden dat de ‘NMEA (+)’ en ‘NMEA (-)’ uitgang op ‘pins’ vier en vijf moeten worden aangesloten. De positieve pool van de 12 V batterij wordt aangesloten op ‘pin’ acht, de negatieve pool op ‘pin’ 4.

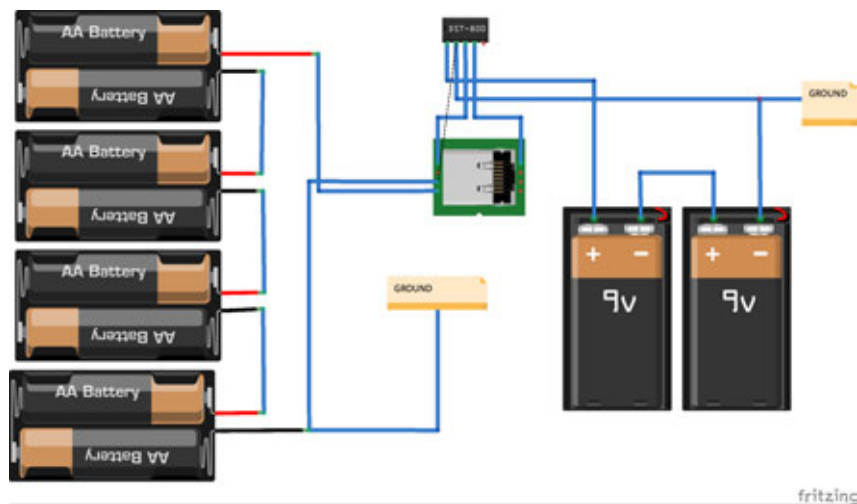
Pin	-568A pairno.	-568B pairno.	-568A color (Europ. cable)	-568B (AT&T 258A) color (American cable)	Logger meaning
1	3	2	white/green line	white/orange line	Seatalk -
2	3	2	green/white or green	orange/white line or orange	Seatalk +
3	2	3	white/orange line	white/green line	NMEA B -
4	1	1	blue/white line or blue	blue/white line or blue	NMEA A +
5	1	1	Pair 1 Ring white/blue line	white/blue line	NMEA A -
6	2	3	orange/white line or orange	green/white line or green	NMEA B +
7	4	4	white/brown line	white/brown line	GND
8	4	4	brown/white line or brown	brown/white line or brown	+12V

**Figuur 26** NMEA-0183 aansluitingen per pin van de RJ45-stekker  
Bron: [OpenSeaMap](http://OpenSeaMap) [48]



**Figuur 27** Nummering RJ-45 aansluiting  
Bron: **OpenSeaMap** [48]

Om de configuratie met de Raymarine DST-800 en de OpenSeaMap NMEA-logger duidelijker weer te geven, werd met het programma ‘Fritzing’ figuur 28 gemaakt. Zoals reeds vermeld, kan men zien dat de ‘NMEA (+)’ en ‘NMEA (-)’ uitgangen worden aangesloten op ‘pins’ 4 en 5. Er worden vier keer twee AA batterijen van elk 1,5 volt gebruikt die in serie geschakeld worden tot ze een voltage bereiken van 12 V. Hiermee wordt de NMEA-logger van energie voorzien. Deze acht AA batterijen kunnen ook worden vervangen door één 9V batterij, maar deze heeft een lagere autonomie. Acht AA batterijen hebben samen een hoeveelheid energie van ongeveer 118.800 Joule. Een 9 V batterij slechts ongeveer 19.440 J [40]. De Raymarine DST-800 krijgt een spanningsinvoer van 18 V door middel van twee 9 V batterijen. Mijnheer Verbeek schat met deze opstelling een autonomie van maximaal 10 uur.

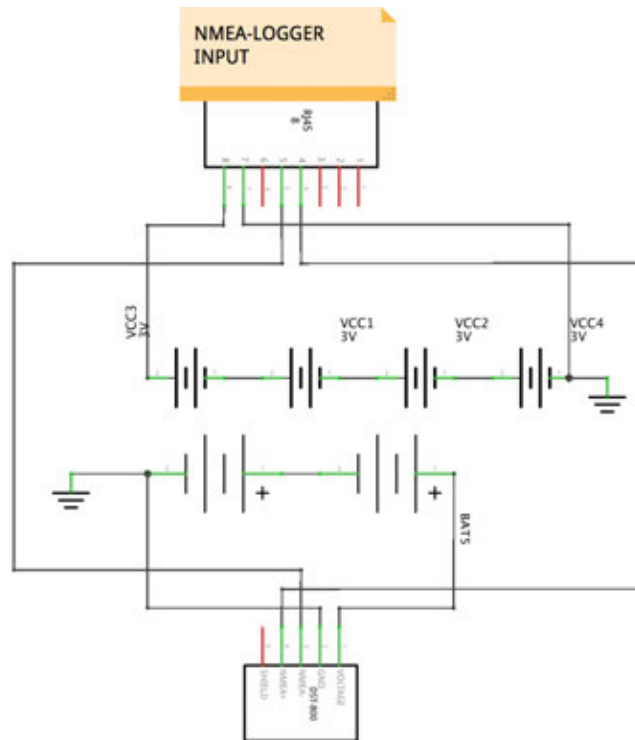


**Figuur 28** Bedradingsdiagram Raymarine DST-800 in combinatie met de OpenSeaMap NMEA-logger

Bron: **Eigen werk**

In figuur 29 wordt een gedetailleerd elektronisch schema van figuur 28 getoond, waarin alle aansluitingen simplistischer worden weergegeven. Op dit schema worden ook de specifieke benamingen van de verschillende aansluitpunten getoond.





**Figuur 29** Elektronisch schema Raymarine DST-800 in combinatie met de OpenSeaMap NMEA-logger

Bron: **Eigen werk**

### 5.2.3 Plaatsing in het water

Om de Raymarine DST-800 in het water te bevestigen, zie ik twee mogelijkheden.

Als eerste optie wordt de Raymarine DST-800 in een waterdichte, rechthoekige doos geschroefd en vervolgens vastgezet met ofwel siliconen ofwel een verhardingsplamuur. De waterdichte doos bevat dan ook alle bijbehorende elektronica zoals de Arduino Uno of NMEA-logger. Om condensatie van water in de lucht te vermijden, kan er een zakje silicagel in de doos worden geplaatst en om te grote drukverschillen te vermijden eventueel nog een drukventiel aan de bovenkant van de doos.

De doos wordt vervolgens tussen twee rechthoekige houten balken geplaatst met een inkeping. Op deze manier zit de doos vast tussen de balken en kan bij stijgend of dalend getij meer of minder in hoogte drijven. De doos bezit, indien de opening van de Raymarine DST-800 waterdicht is, voldoende drijfvermogen om niet in het water te zakken. Indien vereist, kunnen onder de doos nog blokjes geplaatst worden van piepschuim. Een voorbeeld hiervan kan worden gezien in figuur 30.

De bevestiging tussen twee rechthoekige balken heeft een aantal nadelen. Ten eerste is de kost van de rechtstaande balken vrij groot is. Daarnaast moeten er ook twee openingen

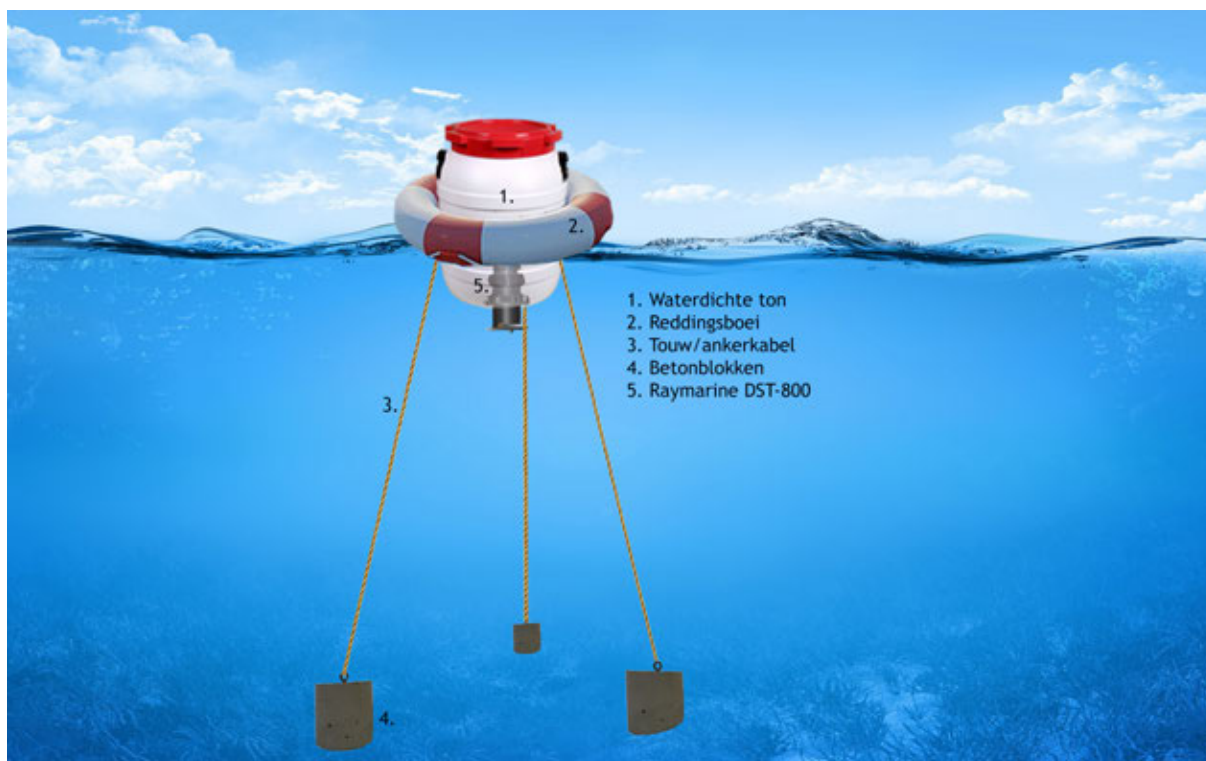
worden gemaakt, waarvan niet zeker is of ze ook effectief weer waterdicht kunnen gemaakt worden. Bovendien bestaat de kans bestaat dat de doos in de balkstructuur blijft vastzitten door de aanwezige golfslag. Even snel een prototype maken met deze opstelling kost al gauw veel geld, en om die reden is dit idee niet de beste optie. Om de grote kost van de balken en de mogelijke problemen te omzeilen, was er een alternatief nodig.



**Figuur 30** Raymarine DST-800 in een waterdichte doos in een balkstructuur

Bron: **Bewerkt van Campz, Wallpaperup, Ctvservice en eigen werk.** [17] [62] [21]

Een andere mogelijkheid is om de Raymarine DST-800 in een ton voor kanovaarders te plaatsen en vervolgens vast te zetten in een man-over-boord boei. De boei blijft te allen tijde drijven aan het wateroppervlak, maar kan op deze manier nog wel wegdrijven. Daarom wordt de boei vervolgens aan drie punten bevestigd op de bodem. Het is de bedoeling drie ankerkabels te bevestigen aan drie betonblokken die in driehoeksvorm op de bodem worden geplaatst, zie figuur 31.



**Figuur 31** Raymarine DST-800 in een waterdichte ton in een reddingsboei

Bron: **Bewerkt van Wallpaperup, CTV Service, Alphatec, Edway Group en Qvist Outdoor Cooking.** [62] [21] [5] [25] [51]

Door verder te redeneren met de man-over-boord boei kwam hieruit het idee om de mogelijkheden te bekijken met een bewegende boei in plaats van een stilstaande boei, zodat de meetapparatuur niet op een vast punt wordt gezet. Bij nader inzien zijn er, in het geval voorgaande prototypes worden gerealiseerd, veel krachten die gecompenseerd moeten worden om mijn meetapparatuur in positie te houden. Deze zijn onder andere golven, stroming en wind. Bovendien bestaat de twijfel of de prototypes met een Raymarine DST-800 ook effectief zullen werken en is de kostprijs ook relatief hoog. De Raymarine DST-800 kan met deze configuratie enkel watersnelheden en geen stromingsrichtingen meten. Om een correct beeld te geven van de watersnelheid moet het scheprad van de Raymarine DST-800 volgens dezelfde richting als de stroming worden geplaatst. Er werd dan ook besloten om het probleem vanuit een andere invalshoek te bekijken en verder te gaan in het ontwikkelen van prototypes die gebruikmaken van een Lagrangiaanse snelheidsmeting, waarbij het meettoestel het water volgt.

## Hoofdstuk 6

# Prototypes Lagrangiaanse snelheidsmeting

Omwille van de waarschijnlijk kleine slaagkans van de prototypes met de Raymarine DST-800, zijn de prototypes in dit hoofdstuk gebaseerd op het principe van de zelfgebouwde drifters die worden gebruikt in de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium. Een drifter heeft als doel met de stroming mee te drijven, waarbij posities en de beweging vervolgens wordt opgeslagen en geanalyseerd. Op deze manier kan men dus de snelheid van het water meten. Dit principe heet een Lagrangiaanse snelheidsmeting. Uit de resultaten van de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium blijkt dat wanneer de kentering zich voordoet, de drifterboei ongeveer altijd in vrijwel dezelfde positie blijft rondcirkelen. Deze drifterboei is door een ingenieur gebouwd. Daarom was het voor mij een uitdaging om zelf creatief aan het werk te gaan en iets te bouwen dat gebruikmaakt van hetzelfde principe en dat met relatief goedkope en vrij beschikbare middelen kan worden gerealiseerd. Simpel gesteld moest er een meettoestel worden gebouwd dat drijft en dat de positie van dit drijvende object met voldoende nauwkeurigheid registreert. Uit de tijdsintervallen tussen verschillende posities kan de snelheid van de verplaatsing van de boei worden bepaald, wat theoretisch gezien zou moeten overeenkomen met de snelheid van de waterverplaatsing. Wel moet worden opgemerkt dat deze stelling enkel geldt indien de kracht die door de wind op de boei wordt uitgeoefend niet te groot is.

Op het internet kan men de blog vinden van Nick Raymond, een student aan de ‘University of California Davis’, die momenteel een meetboei maakt om golfhoogtes en data van golfperiodes te kunnen registreren. Enkele prototypes werden reeds gemaakt door gebruik te maken van 3D-printing. Alle 3D-tekenbestanden en programmeercode van de elektronica in de boei zijn open-source. Dit wil zeggen dat deze gratis beschikbaar en vrij te gebruiken zijn. Hierop is geen auteursrecht van toepassing [55]. Men kan twee

3D-tekeningen downloaden van boeien, een versie met diameter 90 mm één met 150 mm diameter. De eigenschappen van deze modellen vormden de basis voor mijn eigen model. Dit wordt besproken in sectie 6.2. In de drijvende boei moet elektronica worden bevestigd die posities moet kunnen registreren. Deze elektronica moest wel nog zelf worden onderzocht en worden ontwikkeld.

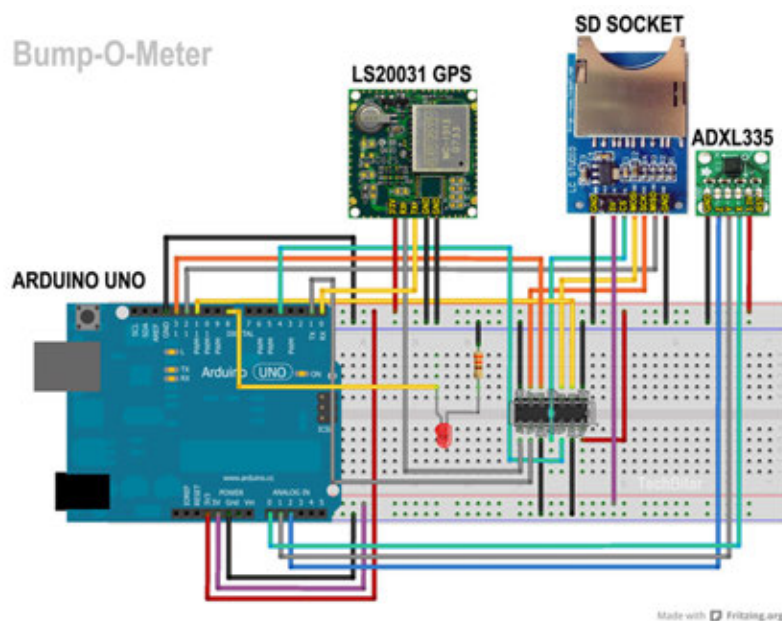
## 6.1 Elektronica

Om de positie van een zelfgemaakte boei te kunnen registreren, zijn er twee vormen van elektronica die verder bestudeerd worden, namelijk een Arduino GPS-logger met accelerometer en een kant-en-klare GPS-logger.

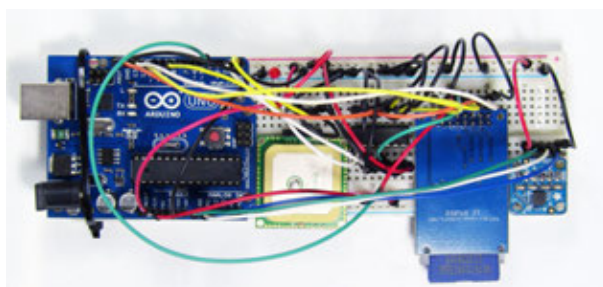
### 6.1.1 Arduino Uno GPS-logger

Aangezien er met het Arduino Uno board veel mogelijkheden zijn, kon hiermee ook voor volgende prototypes iets worden gebouwd dat de positie van de boei kan registreren en waaruit kan worden afgeleid wanneer de boei stil ligt en wanneer ze beweegt. Er kan bijvoorbeeld een GPS-module worden aangesloten in combinatie met een accelerometer. De Arduino Uno kan zo worden geprogrammeerd dat de GPS-posities die worden ontvangen door de GPS-module worden opgeslagen. Bovendien registreert de accelerometer wanneer en in welke richting de boei beweegt. Op deze manier zijn er twee onafhankelijke bronnen die tot accuratere metingen leiden dan in het geval er enkel de GPS-module wordt gebruikt.

Op internet kan men een handleiding vinden waarin deze configuratie volledig wordt uitgelegd. Op deze website staat ook de programmeercode die nodig is om de verschillende onderdelen te laten werken met het Arduino Uno board [37]. In figuur 32 wordt schematisch weergegeven hoe de verschillende onderdelen aan elkaar moeten worden aangesloten. In figuur 33 zie je hoe dit er in realiteit uitziet.



**Figuur 32** Bedringsdiagram Arduino Uno GPS-logger  
Bron: **Instructables** [37]



**Figuur 33** Arduino Uno GPS-logger  
Bron: **Instructables** [37]

De kostprijs van dit bouw pakket is ongeveer 104 euro. Dit is relatief veel geld en er is ook veel plaats nodig in de boei. Dit zorgt ervoor dat het kostenplaatje van de boei zeer hoog oploopt. Daarom werd volgend goedkoper alternatief onderzocht.

### 6.1.2 Canmore GT 730-FL

Een andere mogelijkheid is een gebruiksklare GPS-logger te gebruiken. Deze doet eigenlijk juist hetzelfde als wat kan worden gebouwd met de Arduino Uno, namelijk GPS-posities ontvangen en op een intern geheugen opslaan. In sommige toestellen zit ook een accelerometer die de GPS-logger activeert wanneer er beweging is. De ruwe data van de accelerometer wordt meestal niet geregistreerd op het interne geheugen. Om deze reden blijft er dus maar één invoer over waarop een analyse kan worden gebaseerd. Een

gebruiksklare GPS-logger heeft ook als voordeel dat het in kleiner formaat wordt geproduceerd, aangezien alle elektronica geoptimaliseerd is om plaats te besparen. Daarom kan een boei worden ontwikkeld die kleiner is dan een boei voor de configuratie met een Arduino Uno GPS-logger. Veel GPS-loggers zijn ook water- of spatwaterdicht. Dit verlaagt drastisch het risico op kortsluiting van de elektronische componenten, in vergelijking met de Arduino Uno GPS-logger configuratie.

Na overleg met mijn promotor werd er op de website van [www.amazon.co.uk](http://www.amazon.co.uk) de ‘Canmore GT 730-FL’ aangekocht, zoals in figuur 34. Deze GPS-logger is in staat om data in NMEA-formaat rechtstreeks op het geheugen te schrijven. Deze NMEA-data kan met de bijgeleverde software vervolgens worden geëxporteerd in onder andere Google Earth. Een belangrijke functie is dat de frequentie van het uitschrijven van data op het geheugen kan worden ingesteld per tijdseenheid of per afgelegde afstand. Dit is belangrijk omdat we op het moment van de kentering na hoogwater verwachten dat de boei slechts weinig zal bewegen. Een ingesteld tijdsinterval in plaats van een afgelegde afstand is daarom aangeraden. Het toestel is, volgens de beschrijving, in staat om 256.000 posities te registreren en deze posities zouden een nauwkeurigheid hebben van 2,50 meter. De batterijduur varieert van 17 tot 56 uur. De afmetingen van het toestel zijn 77,48 mm x 28,00 mm x 17,77 mm [6]. Deze zijn belangrijk voor het ontwerp van de boei.



**Figuur 34** Canmore GT 730-FL GPS-logger  
Bron: **Eigen werk**

In een uitgebreide review van Peter Dean [24] werden resultaten gepubliceerd van een onderzoek waarin de batterijduur van de Canmore GT 730-FL wordt getest. De resultaten van deze test worden in figuur 35 weergegeven. Hoewel het apparaat minder zuinig om-



springt met energie bij een interval van vijf seconden, kan worden gezegd dat hoe korter het interval van het loggen is, hoe korter de batterijduur. Een interval van één seconde komt overeen met een batterijduur van 17 uur. Dit wil zeggen dat de boei slechts voor een korte tijd in het water kan blijven liggen indien de GPS-logger wordt geconfigureerd met een loginterval van één seconde. Een mogelijke verklaring voor de verschillende batterijduur bij intervallen één en vijf seconden is dat bij de test met een interval van vijf seconden de GPS-logger voor het eerst werd gebruikt en deze nog niet volledig opgeladen was. Deze verklaring wordt ook aangehaald in de review. De batterijduur van de GPS-logger kan wel worden verlengd indien deze wordt aangesloten op een externe batterijbank. Het toestel kan tegelijkertijd opladen en posities registreren. Een nadeel is dat een externe batterijbank meer plaats inneemt.

Logging Interval (secs)	Duration (hrs)	Memory used	Re-charge (hrs)
1	17.0	24%	1.3
5	15.9	5%	1
30	54.9	3%	1.5

**Figuur 35** Batterijduur Canmore GT 730-FL GPS-logger  
Bron: [Peterdean.co.uk](http://Peterdean.co.uk) [24]

### Nauwkeurigheid Canmore GT 730-FL

Aangezien de nauwkeurigheid niet in detail getest is bij de review van Peter Dean, werd deze getest door middel van een eigen onderzoek. Hiervoor werden er in een open veld vier vierkanten afgebakend met een lengte van één, twee, drie en vier meter. Deze vierkanten liggen naast elkaar zodat de proef zonder tussenstop kan worden uitgevoerd. De proef werd gestart bij het vierkant met lengte één meter. Deze werd afgestapt met ongeveer één stap per seconde, zodat het toestel elke beweging kon registreren. De GPS-logger werd vooraf geconfigureerd met een loginterval van één seconde. Vervolgens werden de andere grotere vierkanten afgestapt op dezelfde manier. Ondertussen werd ook de hele proef gefilmd. Het afgestapte parcours wordt weergegeven in figuur 36. De zwarte pijltjes tonen de richting waarin werd gestapt, namelijk bij elk punt van een vierkant naar rechts. Om naar het volgende vierkant te gaan wordt de bovenste horizontale lengte zonder stoppen afgestapt. Om de nauwkeurigheid van de ontvangen GPS-posities te vergelijken met de posities van de afgebakende vierkanten, werden de hoeken van de vierkanten genummerd.







**Figuur 37** Waargenomen parcours bij de nauwkeurigheidstest van de Canmore GT 730-FL GPS-logger

Bron: **Eigen werk**

## 6.2 3D boei

Allereerst werden de 3D-modellen van de boei met een diameter van 95 mm en 150 mm afgeprint met de 3D-printer op school. Zo kon geëvalueerd worden wat de mogelijkheden en limieten zijn van de printer. Op deze manier werd ook de printnauwkeurigheid en de eerste ingestelde vullingsgraad getest. Deze twee eigenschappen zijn het belangrijkste in het waterdicht krijgen van de boei. Ook moest worden bekeken of het al dan niet mogelijk was, afhankelijk van de hoeveelheid plaats binnenin de boei, om de Arduino-configuratie met GPS-ontvanger hierin te integreren. De resultaten hiervan worden beschreven in subsectie 6.2.1. Voor hulp met de 3D-printer kon ik terecht bij mijnheer Bueken, die mij ook later heeft geholpen met het hertekenen van de 3D-modellen en het opstarten en toezicht van de 3D-printer. Op de blog van Nick Raymond zijn er twee versies van 3D-modellen van een databoei beschikbaar, één van 95 mm diameter en één met 150 mm diameter [54].

### 6.2.1 95 mm boei door Nick Raymond

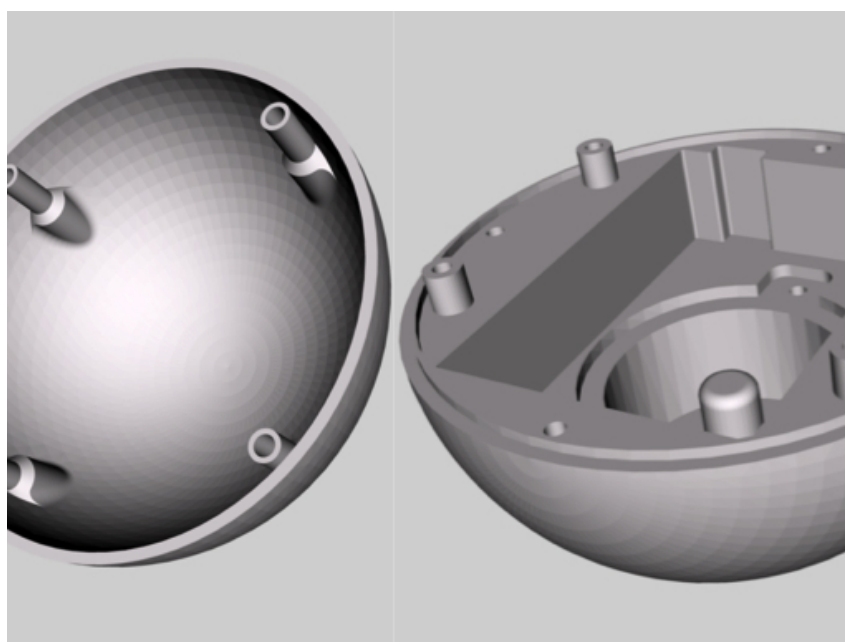
Het oorspronkelijke idee was om het 3D-model met een diameter van 95 mm in figuur 38 te gebruiken voor mijn project en vervolgens, indien nodig, de afmetingen van de reeds voorziene openingen binnenin te veranderen of te herschalen zodat mijn eigen elektronische apparatuur erin past. Na onderzoek van de eerste afgeprinte versie van de boei, bleken er toch nog enkele problemen te zijn in het ontwerp die moesten worden aangepast.

De twee helften van de boei worden verbonden door middel van vier schroeven die in de onderste helft worden ingeschroefd. Bij deze manier van bevestigen moet men er zeker van zijn dat de diameter van de schroef net iets groter is dan de diameter van de schroefgaten. Enkel zo kan de schroef zich op een goede manier vasthechten door in feite het materiaal gedeeltelijk stuk te schroeven.

Aan de rechterkant van figuur 38 kan men aan de bovenkant van de onderste helft een rechtstaande cirkelvormige rand zien. Deze heeft als functie de waterdichtheid te garanderen en de twee helften in elkaar te bevestigen. De uitstekende ring komt bij het bevestigen van beide delen tussen de schroefgaten en de buitenkant van de bovenste helft.

Bij het 3D-printen van deze boei kon worden vastgesteld dat kleine ronde openingen moeilijk kunnen worden geprint. De 3D printer is helaas niet in staat kleine cirkelvormige openingen te printen zonder dat er materiaal aan de binnenkant blijft plakken en zich opstapelt. Ook bij de cirkelvormige ring die de waterdichtheid moet garanderen heeft de 3D-printer moeilijkheden. Bij het inspecteren van de geprinte versie was de ring langs één kant al afgebroken van de onderste helft. Dit kan worden gezien in figuur 39.

Al snel kon worden vastgesteld dat de geprinte versie van deze boei heel onnauwkeurig is en onmogelijk waterdicht kan zijn. De ronde basisvorm van de boei, die uit twee helften bestaat was op zich wel goed, maar aan de bevestigingsmanier van beide helften en de waterdichtheid moest wel nog iets worden gedaan. De diameter van 90 mm is zonder twijfel ook te klein om mijn meetapparatuur in te bevestigen. In een poging deze versie van de boei te optimaliseren, werd de 150 mm-versie bestudeerd.

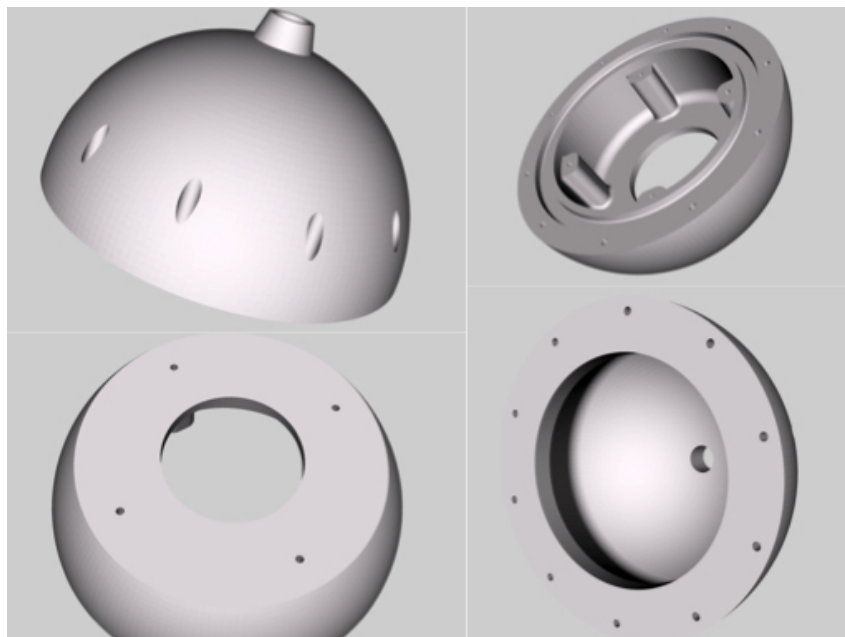


**Figuur 38** 95 mm boei van Nick Raymond 3D-tekeningen  
Bron: **Bewerkt van Opensourceoceanweatherbuoy** [55]



**Figuur 39** 95 mm boei van Nick Raymond 3D-print  
Bron: **Eigen werk**

### 6.2.2 150 mm boei door Nick Raymond



**Figuur 40** 150 mm boei van Nick Raymond 3D-tekeningen  
Bron: **Bewerkt van Opensourceoceanweatherbuoy [55]**

Het 150 mm model in figuur 40 heeft volgende eigenschappen: de boei bestaat niet uit twee, maar drie afzonderlijke delen en maakt gebruik van cirkelvormige inkepingen in de onderste twee delen. In deze twee inkepingen wordt vervolgens een O-ring gestoken die

ervoor moet zorgen dat er geen water langs de zijkant van de boei kan binnenkomen. Ook de configuratie van schroeven is aangepast. Bij dit model worden schroeven volledig rondom de boei geplaatst, en zijn er ook schroeven die langs de onderkant van de boei worden ingeschroefd. Het bovenste deel en het onderste deel wordt aan het middenstuk bevestigd door afzonderlijke schroefgaten voor elk deel apart. Ook hier worden schroeven gebruikt.

Een boei met drie delen in plaats van twee kan de waterdichtheid negatief beïnvloeden. Het feit dat de boei uit drie delen bestaat zorgt ervoor dat er dus technisch gezien meer openingen zijn waar water kan insijpelen. Bovendien zijn de schroefgaten moeilijk op een nauwkeurige manier te printen, omdat de diameter zeer klein is. In subsectie 6.2.1 werd reeds gezegd dat de 3D-printer op school hier moeilijkheden mee heeft. De grotere totale diameter van de boei en de inkepingen voor een O-ring zijn zaken die wel kunnen worden gebruikt om aan het 95 mm model toe te voegen. Een grotere diameter van de boei zorgt ervoor dat het volume binnenin kan worden vergroot. Dit resulteert in een groter drijfvermogen. De O-ringen zijn een beter alternatief om verschillende delen van de boei waterdicht af te sluiten. De rondom geplaatste schroefopeningen zorgen ervoor dat de spanning tussen twee aan elkaar geschroefde delen van de boei gelijkmatig verdeeld wordt. Dit is niet het geval bij het 95 mm model, waar er slechts vier schroefopeningen werden getekend.

Door het 95 mm model en het 150 mm model grondig te bestuderen, werd er besloten een nieuw model van een boei te tekenen in 3D-tekensoftware, die een combinatie van eigenschappen van beide modellen bezit. Het nieuwe model bestaat uit twee helften, wordt voorzien van een cirkelvormige inkeping om een O-ring te plaatsen, heeft slechts genoeg ruimte binnenin om de Canmore GT 730-FL te omsluiten en wordt voorzien van bevestigingsopeningen die symmetrisch volledig rondom de boei worden geplaatst. Omdat het geen goed idee leek schroeven te gebruiken om de twee helften aan elkaar te bevestigen, moest er een andere manier worden bedacht. Deze staat in detail beschreven in subsectie 6.2.3.

De meeste afgewerkte 3D-tekeningen worden geëxporteerd met een STL-extensie. Deze bestanden bevatten een afgewerkte 3D-tekening en bestaan niet uit verschillende subbestanden of lagen. Er kunnen enkel stukken van het geheel worden weggeknipt of stukken aan worden toegevoegd. Een STL-bestand is zoals een liedje op cd, waarbij een afzonderlijk instrument niet meer kan worden weggelaten uit het audiofragment. Wel bestaat de mogelijkheid om stukken uit het nummer weg te knippen of er kunnen instrumenten aan worden toegevoegd met opnamesoftware. Oorspronkelijk was het de bedoeling om de 3D-tekening van het 95 mm model te importeren in 3D-tekensoftware en daar vervolgens aanpassingen aan te doen. In een poging om met 3D-software de STL-bestanden aan te

passen, kwam ik dan ook tot de conclusie dat er enkel de mogelijkheid bestaat om figuren en vormen bij te voegen of uit te snijden. Via deze methode is het nagenoeg onmogelijk om een boei te tekenen die alle gewenste eigenschappen bezit.

Daarom werd er besloten van nul te beginnen en een zelf ontworpen boei te tekenen in 3D-software. Op deze manier konden eventuele noodzakelijke wijzigingen makkelijk worden doorgevoerd. Mijn eigen poging leidde helaas niet tot het verwachte resultaat aangezien er enkele problemen waren om de boei volledig symmetrisch te tekenen. Mijnheer Bueken stelde dan ook voor om deze taak op zich te nemen en een boei te tekenen.

### 6.2.3 Eerste prototype



**Figuur 41** Prototype 1 3D-print

Bron: **Eigen werk**

Een eerste 3D-tekening van mijnheer Bueken werd in snelle instellingen afgeprint met de 3D-printer. Het resultaat hiervan zie je in figuur 41. De 3D-tekening bestond uit slechts één getekende helft. Aangezien de 3D-tekening symmetrisch werd opgebouwd, kan het getekende model twee keer worden afgeprint en op elkaar worden geplaatst om de boei te vervolledigen.

Het eerste prototype had eigenlijk als doel om te bekijken hoe een zelfgetekend model er in realiteit zou uitzien. Ook de manier van bevestigen van de twee helften werd aangepast. In de ene helft werden er zeshoekige openingen getekend, aan de andere kant een bredere cirkelvormige opening, er wordt nu een bout gebruikt in plaats van een schroef. Deze



drukt de boei aan twee kanten tegen elkaar, wat niet het geval is bij de 90- en 150-mm boei. Daar worden er gewoon kruisschroeven gebruikt die in de andere helft worden vastgeschroefd. De twee helften zouden door middel van een M6x60 mm bout met een inbuschroefkant aan elkaar moeten worden geschroefd, zoals te zien is in figuur 42. Een M6-moer blijft vastzitten in de zeshoekige opening, zodat de moer met behulp van een inbusleutel langs de andere kant kan worden ingeschroefd. De opening waarin de moer doorschuift moest normaal breed genoeg zijn, zodat de bout er vlot door zou kunnen, omdat anders de schroefdraad van de moer ervoor kan zorgen dat de moer scheef komt te zitten. De dichtheid van het geprinte materiaal is ook groter rond de cirkelvormige opening. Als deze wordt doorbroken door een scheefzittende moer, bestaat de kans dat er water doorheen de cirkelvormige opening rechtstreeks in de boei loopt. De boei heeft nu een diameter van 120 mm. Dit is groter dan het 90 mm-model, maar toch kleiner dan het 150 mm-model. Een diameter van 150 mm zou de materiaalkost al snel doen stijgen. Een diameter van 95 mm is veel te klein. Daarom is het gemiddelde ongeveer de ideale grootte



**Figuur 42** M6 x 60 mm bout met inbuskop en M6 moer  
Bron: **Eigen werk**

Mijnheer Bueken vertelde me dat als je een voorwerp print met de 3D-printer op school, dat er een marge van 0,2 mm moet worden bijgerekend in de afmetingen van het 3D-model. Dit heeft onder andere te maken met de eigenschappen van het extrusiemondstuk in combinatie met het gebruikte materiaal. Een cirkel zal dan bijvoorbeeld altijd kleiner zijn in realiteit dan op papier, omdat het materiaal de neiging heeft naar binnen uit te zakken.

Bij het evalueren van het eerste prototype zagen we al snel dat de getekende afmetingen van de zeskantige en cirkelvormige openingen, inclusief marge van 0,2 mm in het programma OpenSCAD niet overeenkwamen met de realiteit. De zeskantige opening waarin de moer bevestigd zou zitten, was net te klein en de cirkelvormige opening waar de bout doorgaat ook. Er was ook nog geen ruimte voorzien om de GPS-logger in te bevestigen en er was ook geen inkeping om een O-ring in te steken. De boei kon ook nog niet worden bevestigd aan een ankerkabel of touw.

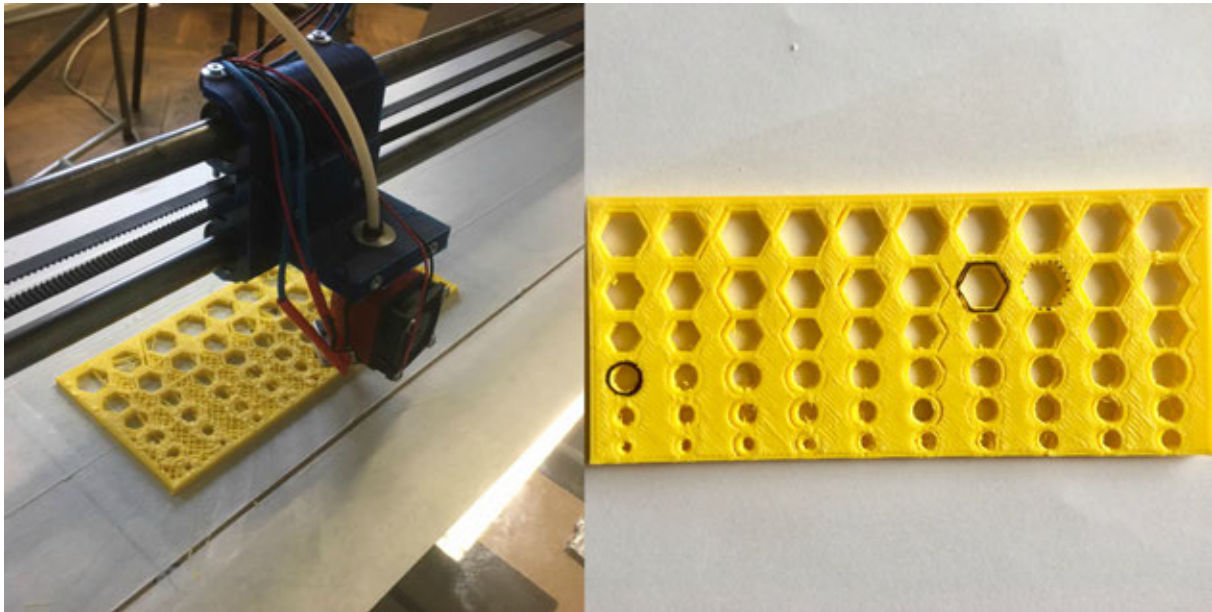
### 6.2.4 Tweede prototype

Bij het inpassen van de bouten en moeren kon worden opgemerkt dat de bijgerekende marge niet groot genoeg is en kan er bijgevolg worden vastgesteld dat de foutmarge tussen getekende stralen en geprinte stralen, bij kleine cirkelvormige of zeshoekige openingen, soms varieert. Sommige openingen zijn groot genoeg om de bout of moer te laten passen, andere dan weer niet. Daarom hebben mijnheer Bueken en ik een plaatje gemaakt, waarin verschillende cirkels en zeshoeken werden geprint. Op deze manier kon makkelijk worden bekeken welke afmetingen er moesten worden ingesteld in het 3D-tekenprogramma om de schroefkant van de bout en moer in realiteit te laten passen. Er werden ook nog twee plaatjes gemaakt om de afmetingen van het kopstuk van de bout te testen. Het kopstuk heeft een grotere diameter dan de schroefkant van de bout, zoals in figuur 42 wordt getoond.

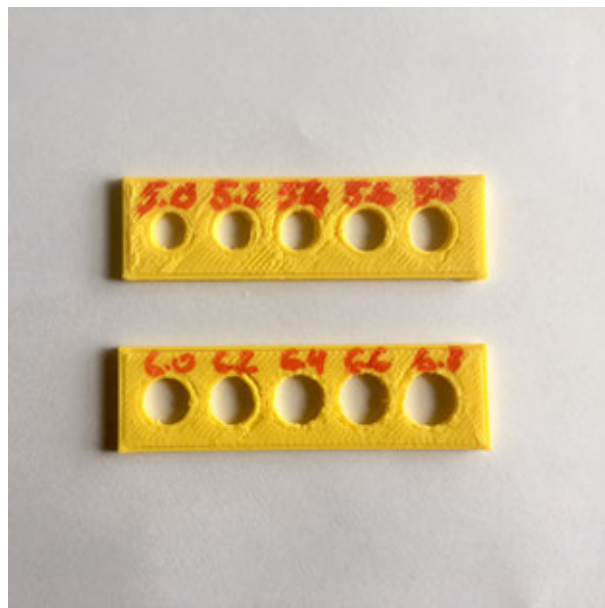
De getekende straal van de gaten waar de schroefkant van de bout inpast in figuur 43 lopen op van 2,0 mm naar 2,9 mm, van 3,0 mm naar 3,9 mm en van 4,0 mm naar 4,9 mm, in stappen van 0,1 mm. De getekende straal van de zeshoeken op het plaatje om de afmetingen van de moer te testen lopen op van 5,0 mm naar 5,9 mm, van 6,0 mm naar 6,9 mm en van 7,0 mm naar 7,9 mm in stappen van 0,1 mm. De getekende straal van de cirkels in figuur 44 lopen op van 5,0 mm naar 5,8 mm en van 6,0 mm naar 6,8 mm in stappen van 0,2 mm. Deze twee plaatjes hebben als doel de afmetingen van het kopstuk van de bout te bestuderen.

Na het inpassen van de verschillende onderdelen in de plaatjes, werden volgende afmetingen als beste keuze beschouwd om in te geven in 3D-software: een straal van 4,0 mm voor de schroefkant van de bout, een straal van 6,7 mm voor de zeskantige opening voor de moer en een straal van 5,6 mm voor het kopstuk van de bout.





**Figuur 43** 3D-print testplaatje afmetingen bout- en moeropeningen van prototype 2  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 44** 3D-print testplaatje opening boutschroefkop van prototype 2  
Bron: **Eigen werk**

De straal van de boei zelf is hetzelfde gebleven, namelijk 120 mm. In dit model is er ook een rechthoekige ruimte voorzien om de GPS-logger in te steken. Daarnaast is er ook een cilindervormige opening, waarin ballastgewicht kan worden gestopt. Dit prototype werd nu ook voorzien van een ankerroog om deze te bevestigen aan een touw. De uitgeprinte versie kan worden gezien in figuur 45.

Na evaluatie van de nieuwe geprinte versie kon worden opgemerkt dat de moeren en bouten nu wel pasten. Toch waren er nog enkele zaken niet op punt, zoals bijvoorbeeld de inkeping die voorzien was voor de O-ring. Deze was net iets te klein en ook niet diep genoeg. Bij het inpassen van de O-ring kon worden gezien dat er nog een relatief groot deel van de ring uit de groef stak. Toen de twee helften op elkaar werden gelegd met de O-ring er tussenin, was het vrij duidelijk dat de diepte van de uitsparing niet groot genoeg was, aangezien de afstand tussen de twee helften relatief groot was. Dit was een gevaar omdat op deze manier de kans bestaat dat er water in de binnenkant van de boei loopt als de O-ring niet goed afklemmt. Verder is het mogelijk dat er te veel spanning op de bouten moet worden gezet om de twee helften met O-ring tussenin op hun plaats te houden. Daardoor zouden de openingen waarin de bout en moer passen, kunnen scheuren, met als gevolg dat er water in de boei kan komen.

De afmetingen die voorzien waren voor de GPS-logger bleken niet voldoende groot te zijn door een fout in de ingevoerde waarden. Toen een helft van de boei in het water werd gelegd, kon men zien dat deze vrij diep in het water stak. Dit wordt getoond in figuur 46. Na verloop van tijd zonk de helft zelfs naar de bodem. Door de grotere printdichtheid en het toevoegen van de bouten en moeren werd het gewicht van de boei al gauw te groot. Dit kan op twee manieren worden opgelost. De eerste is de printdichtheid verlagen, maar dit is geen goed idee, aangezien de waterdichtheid hierdoor ook verminderd wordt. De tweede manier is een grotere opening binnenin maken die lucht bevat. Ook de inkeping voor de O-ring was te klein. Hierdoor bestaat de kans dat de boei niet volledig waterdicht is, omdat deze er uitsteekt.



**Figuur 45** 3D-print prototype 2  
Bron: **Eigen werk**

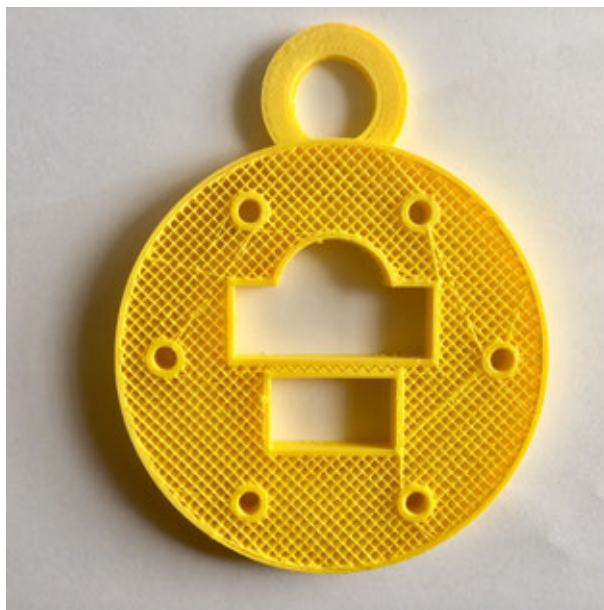


**Figuur 46** Drijftest prototype 2  
Bron: **Eigen werk**

### 6.2.5 Derde prototype

In dit model is de ruimte die voorzien was voor ballast verder uitgebreid met een uitgesneden balk. De diameter van de inkeping voor de O-ring is ook iets vergroot om de ring er vlotter te laten inpassen. Hierdoor moesten de cirkelvormige openingen die voorzien waren voor de bouten iets naar buiten worden geplaatst. Dit heeft als gevolg dat de hoogtes van deze uitgesneden cilinders worden gereduceerd en dat de bouten verder uit de openingen zullen uitsteken wanneer beide helften tegen elkaar worden geschroefd. De opening voor de GPS-logger werd ook iets verbreed, en aan elke kant in de diepte uitgebreid. Het

geprinte 3D-model was al geoptimaliseerd, maar de boei zelf is nog niet waterdicht door de fijne openingen die aanwezig zijn tussen elke geprinte laag. Deze zijn afhankelijk van de ingestelde nauwkeurigheid. Het laatste model werd geprint met de grootst mogelijke verticale nauwkeurigheid van 0,2 mm. Ook de vullingsgraad werd verhoogd. In figuur 47 wordt een dwarsdoorsnede getoond van één helft. Hierin kan men de grotere vullingsgraad opmerken, vergeleken met de vullingsgraad in figuur 41. De wijzigingen in de niet gevulde openingen binnenin de boei zijn hier duidelijk merkbaar.



**Figuur 47** Dwarsdoorsnede 3D-print prototype 3  
Bron: **Eigen werk**

### 6.2.6 Waterdichtheid

De geprinte boeien bestaan uit het materiaal PLA. Dit is een biologisch afbreekbaar materiaal dat wordt gemaakt van onder andere suikerbieten, maïs en tarwe.

Een alternatief materiaal is bijvoorbeeld ABS. Dit wordt gemaakt van aardolie en heeft ook andere eigenschappen. Het is bovendien ook steviger [27]. Een videofragment op het internet toont hoe de buitenkant van een geprint voorwerp in ABS werd gladgestreken met behulp van de techniek ‘aceton-smoothing.’ Het geprinte voorwerp wordt in een ruimte gezet waar acetondampen worden verspreid. Deze dampen doen het ABS-materiaal aan de buitenkant van het voorwerp smelten. Alle groeven en oneffenheden van een geprint voorwerp in ABS kunnen op deze manier worden afgevlakt. Ik vroeg me af of ik deze techniek ook op PLA kan gebruiken [39].

Door opzoekwerk kwam ik tot de conclusie dat de techniek die hierboven wordt beschreven niet werkt voor PLA. Je kan met behulp van aceton wel verschillende voorwerpen uit PLA

aan elkaar plakken, maar dit effect is niet sterk genoeg om het materiaal af te vlakken zoals dat kan bij ABS [28]. Daarom moest een andere manier worden gezocht om de boei waterdicht te maken.

De boei kon ook op een andere manier waterdicht worden gemaakt, door een laag epoxy op de boei aan te brengen [29]. Epoxy bestaat uit een epoxyhars en een verharder. De hars is vrij stroperig en wordt vloeibaar wanneer ze wordt gemengd met de verharder. De verharder zorgt voor een exotherme reactie [42]. Epoxy kost al snel 25 euro voor 0,8 kg en dat is vrij duur [49]. Om deze kost uit te sparen, kon gebruik worden gemaakt van de epoxy die ook voor de zonneboot op onze school wordt gebruikt. Voor het aanbrengen van een epoxylaag op de boei kon gebruik worden gemaakt van de expertise van mijnheer Stefaan Bueken en het team dat aan de zonneboot werkt.

Eerst moest de boei opgeschuurd worden zodat alle oneffenheden konden worden verwijderd. PLA is een vrij hard materiaal en het opschuren heeft om die reden dan ook enige tijd geduurd. Vervolgens werd er 100 ml van de epoxyhars in een maatbeker gegoten en aangevuld met 20 ml van een snelle verharder en 20 ml van een trage verharder. Het mengsel werd al vlug zeer vloeibaar. Mijnheer S. Bueken raadde mij aan om verdikkingsmiddel bij te voegen dat normaal wordt gebruikt voor behangerslijm. Dit zorgt ervoor dat het mengsel terug stroperiger wordt. De bovenkant van elke helft van de boei was niet volledig dicht geprint. Indien het epoxymengsel te vloeibaar was, zou het gewoon door de boei lopen. Daarom was het beter het mengsel te verdikken zodat het de openingen kon afdichten. Na het aanbrengen van de epoxylaag moest de boei 24 uur uitharden. Dit proces kan je zien in figuur 48.

Op het eerste gezicht leek alle materiaal voldoende afgedekt met epoxy. De gaten waar de bout doorgaat moesten eerst nog moeten uitgeboord omdat de openingen dichtzaten met uitgeharde epoxy.

Vervolgens werden er binnenin de compartimenten stukken crêpepapier gestoken en werd de boei met de O-ring gesloten, zie figuur 49. Nadien werd de boei 12 uur lang in een emmer met water gezet om te evalueren of ze waterdicht was. Door middel van het crêpepapier kon makkelijk lekkage worden opgemerkt. Indien het water in de emmer een zwarte kleur krijgt, wil dit zeggen dat er een groot lek in de boei is. In het geval van kleine openingen zou bij het openmaken van de boei verkleuringen kunnen worden opgemerkt van het crêpepapier indien water kon binnendringen.

Bij het in het water leggen van de boei kon worden opgemerkt dat de boei al voor de helft ondergedompeld was. Dit komt omdat de boei met bouten en moeren een vrij groot gewicht heeft. In een poging het drijfvermogen te vergroten werd een groter volume lucht binnenin de boei gecreeërd door de ballastruimte te vergroten. Dit groter volume had

echter niet het gewenste effect. Na 12 uur kon worden geconcludeerd dat er nog maar een klein stuk van de boei boven water stak. Dit wordt getoond in figuur 50. Dit wil dus zeggen dat er, ondanks het aanbrengen van de epoxylaag, toch nog een lek aanwezig was. Toen de boei uit het water werd gehaald en op een handdoek werd gelegd, kwamen er zwarte plekken op de handdoek. Deze kleur is afkomstig van het crêpepapier binnenin de boei. Ondanks de laag epoxy, is de boei niet volledig waterdicht. Het is dus onmogelijk om deze boei te gebruiken om metingen te doen, aangezien dat de kans groot is dat de GPS-logger binnenin waterschade oploopt.



**Figuur 48** Toevoeging epoxycoating prototype 3  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 49** Crêpepapier binnenin prototype 3  
Bron: **Eigen werk**

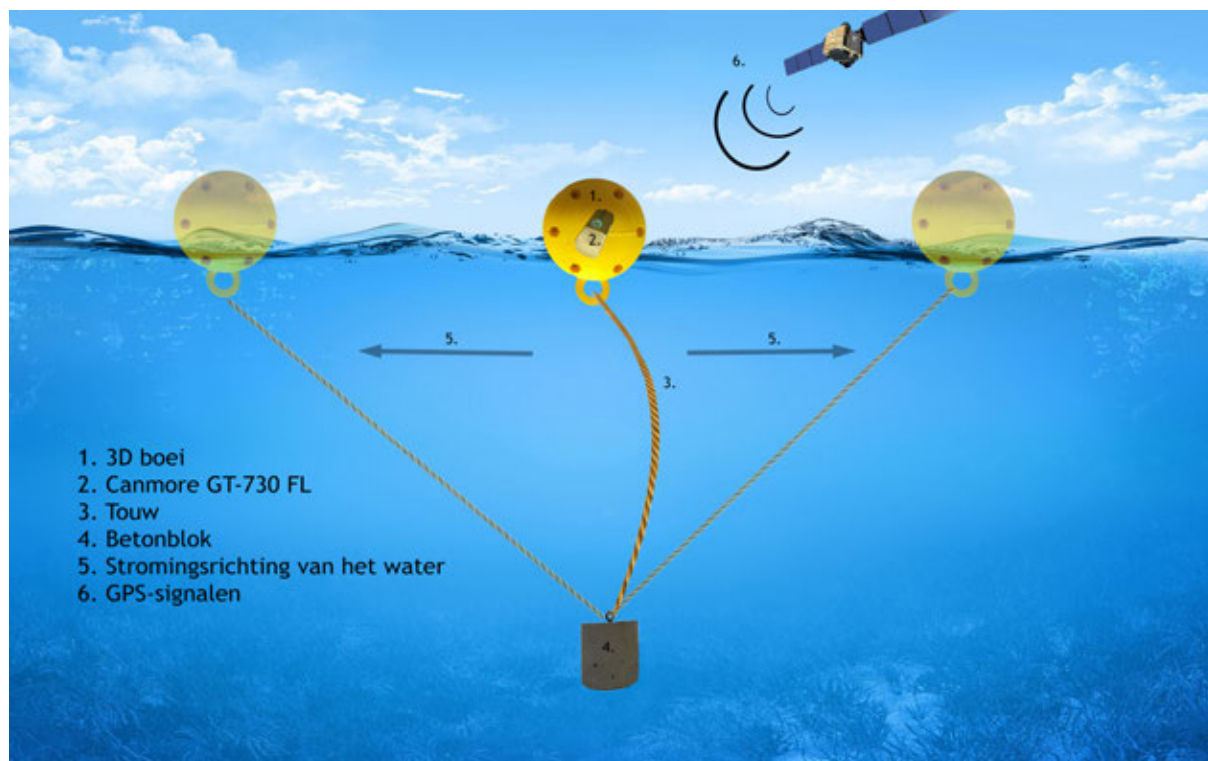




**Figuur 50** Drijftest prototype 3  
Bron: **Eigen werk**

### 6.2.7 Plaatsing in het water

Ondanks dat de boei niet waterdicht was, is het toch nuttig om de manier van plaatsen in het water te verduidelijken. De boei wordt met behulp van een stuk touw van ongeveer 30 meter aan een betonnen blok bevestigd. Deze betonnen blok wordt in het midden van het onderzoeksgebied uit figuur 3 geplaatst. De Canmore GPS-logger binnenin de boei registreert de stroming aan de hand van posities. Uit de verandering van de geregistreeerde posities zou men moeten opmerken wanneer de boei in noordoostelijke of zuidwestelijke richting verplaatst. Een verandering van stroming zou hieruit dan ook merkbaar moeten zijn. Dit kan men zien in figuur 51.



**Figuur 51** 3D boei in combinatie met de Canmore GT-730 FL

Bron: **Bewerkt van Wallpaperup, Alphatec, Spaceoffice, Canmore en eigen werk.**  
 [62] [5] [44] [18]

### 6.3 Ankerboei

Omdat de boei niet waterdicht was, werd er besloten om geen tijd meer te investeren in het optimaliseren van het ontwerp, maar om verder te gaan met een ankerboei. Deze was makkelijk te vinden op de website [www.2dehands.be](http://www.2dehands.be) en kostte 6,50 euro. Een ankerboei heeft als doel de positie van het anker te lokaliseren aan het wateroppervlak. Deze is meestal klein en heeft een voldoende groot drijfvermogen. Aangezien de boei volledig afgesloten is, kan de GPS-logger niet langer binnenin de boei zelf worden geplaatst. Er moest dus een manier worden gevonden om de GPS-logger aan de boei te bevestigen zonder dat die in aanraking komt met water.

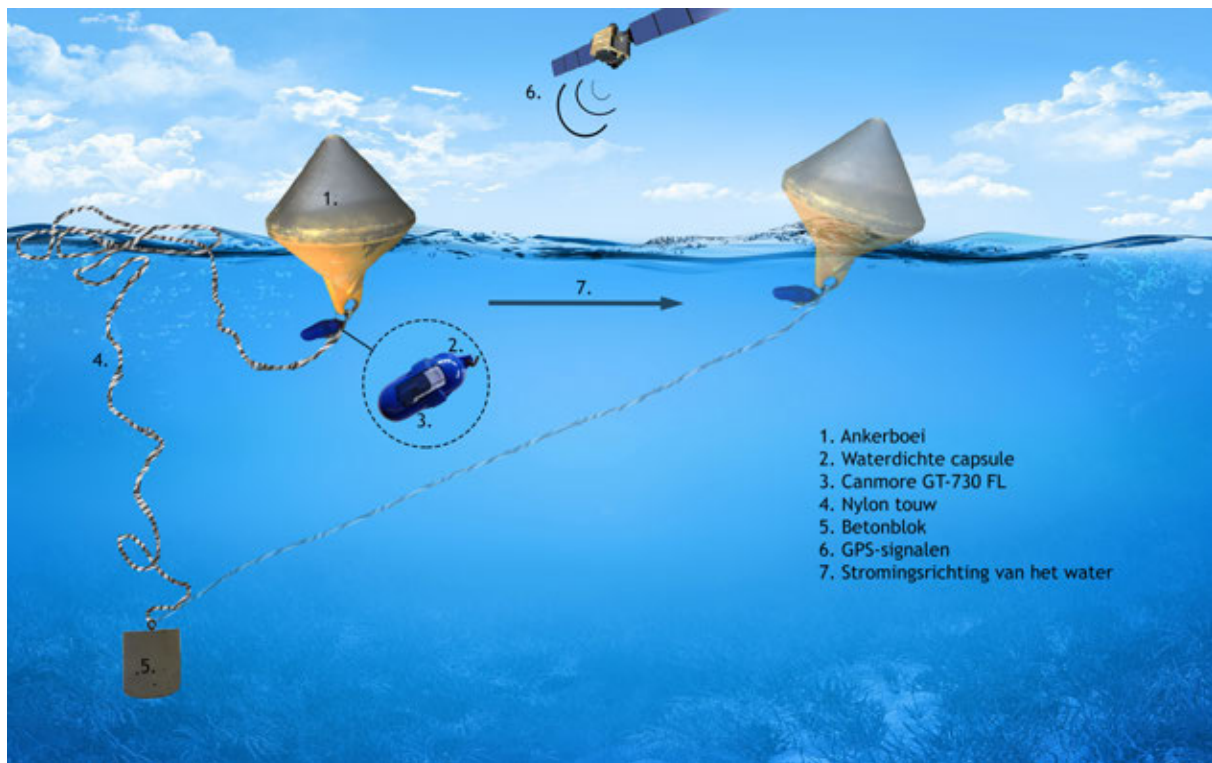
Zo kan de GPS-logger in een waterdichte capsule worden gestoken die ook gebruik wordt door duikers om bijvoorbeeld autosleutels in te steken. Deze capsule is dus 100 percent waterdicht en kan bovendien een grote waterdruk aan op grotere dieptes, aangezien deze aan de duiker zelf wordt bevestigd. In het kader van mijn eindwerk kon deze capsule worden geleend van iemand.





**Figuur 52** Ankerboei met waterdichte capsule en touw  
Bron: **Eigen werk**

### 6.3.1 Plaatsing in het water



**Figuur 53** Ankerboei in combinatie met de Canmore GT-730 FL

Bron: **Bewerkt van Wallpaperup, Alphatec, Spaceoffice, Canmore en eigen werk.**  
[62] [5] [44] [18]

De manier waarop dit model in het water wordt geplaatst is analoog aan de manier die beschreven wordt in subsectie 6.2.7. De ankerboei wordt met een touw bevestigd aan een betonnen blok. De ankerboei bezit nu ook een groter drijfvermogen in vergelijking met de zelfgemaakte 3D boei. De Canmore GPS-logger wordt bevestigd in een waterdichte capsule en registreert de waterbeweging aan de hand van geregistreerde posities, zie figuur 53.

Omdat bepaalde soorten touwen in contact met water als een spons werken, kan het gewicht van het touw aanzienlijk stijgen. Daarom ging de voorkeur naar een touw van kunststofmateriaal. Dit blijft bovendien aan het wateroppervlak drijven en zorgt ervoor dat de ankerboei vrij kan ronddobberen en weinig weerstand van het touw ondervindt. Twee touwen van 15 m werden aan elkaar bevestigd met een platte knoop en vervolgens werden de uiteinden aan het touw zelf vastgemaakt met een ander dunner stuk touw. Het samengestelde touw heeft een totale lengte van 30 meter. Eén uiteinde van het touw werd door middel van een paalsteek bevestigd aan de boei. De boei is voorzien van een verstevigd ankerroog.

### 6.3.2 Verbeteringen na tests in de praktijk

Om na te gaan of de ankerboei met touw wel voldoende drijfvermogen heeft, werd deze eerst getest in een vijver.

Toen de boei in deze vijver werd gelegd, bleek deze te kantelen op zijn zijkant. Hierdoor bleef de boei enkel bovenop het wateroppervlak drijven, zie figuur 54. Bij windstoten kon worden opgemerkt dat de boei heel snel bewoog. Dit wilt zeggen dat als de boei op het wateroppervlak drijft, deze voornamelijk beweegt onder invloed van de wind. Om ervoor te zorgen dat de boei, zoals oorspronkelijk de bedoeling was, in het water drijft, werden er enkele gewichten aan de onderkant toegevoegd. Deze gewichten zijn van lood en hebben een grote massadichtheid. Een gewicht van één kg is hierdoor niet zo groot, zie figuur 55. Vier gewichten van één kg bleken voldoende om de boei verticaal in het water te laten drijven. Deze werden tegen het ankerroog onderaan bevestigd met touw.



**Figuur 54** Test in een vijver  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 55** Loden gewicht van één kg  
Bron: **Eigen werk**

Om te bekijken hoe de boei beweegt onder invloed van stroming, werd deze ook kort getest in de Schelde vanaf het platform van Veerdienst Hamme - Weert, zie figuur 56. De boei bewoog wel mee met de stroming, maar trager dan verwacht. De indruk werd gewekt dat het water sneller stroomde dan dat de boei bewoog. Om een correcte analyse te maken van de snelheid van de stromingen in de badzone van Blankenberge, is het noodzakelijk dat de boei ook effectief aan dezelfde snelheid beweegt. Daarom leek het geen slecht idee om iets te ontwikkelen dat lijkt op de metalen constructie aan de onderkant van de drifters die gebruikt worden door het Waterbouwkundig Laboratorium, zie figuur 2. Deze constructie zorgt ervoor dat de stroming meer kracht kan uitoefenen op de boei. Op deze manier zou normaal gezien de boei met dezelfde bewegingssnelheid als de stroming wegdrijven. In onze garage vond ik een lange plastic buis met een breedte die groot genoeg was om rond de onderkant van de ankerboei heen te schuiven. Eén meter buis werd met een bout en moer bevestigd in het ankerroeg van de ankerboei. Vervolgens werden er vier stangen met een lengte van 0,5 meter in de plastic buis ingeschroefd. Twee bovenaan en twee onderaan, loodrecht op elkaar. Nadien werden er stukken plastic zeil overheen geschoven. Deze hebben een afmeting van 0,25 m x 0,50 m. Als laatste werden er drie van de vier gewichten onderaan de plastic buis bevestigd. Het resultaat wordt in figuur 57 weergegeven.



**Figuur 56** Test in de Schelde  
Bron: **Eigen werk**





**Figuur 57** Verbeterde versie ankerboei  
Bron: **Eigen werk**

De plaatsing in het water blijft onveranderd, maar figuur 58 illustreert hoe het geheel er uitziet onder water.



**Figuur 58** Verbeterde versie ankerboei  
Bron: **Bewerkt van Wallpaperup, Alphatec, Spaceoffice, Canmore en eigen werk.**  
[62] [5] [44] [18]

# Hoofdstuk 7

## Vergelijking van de prototypes

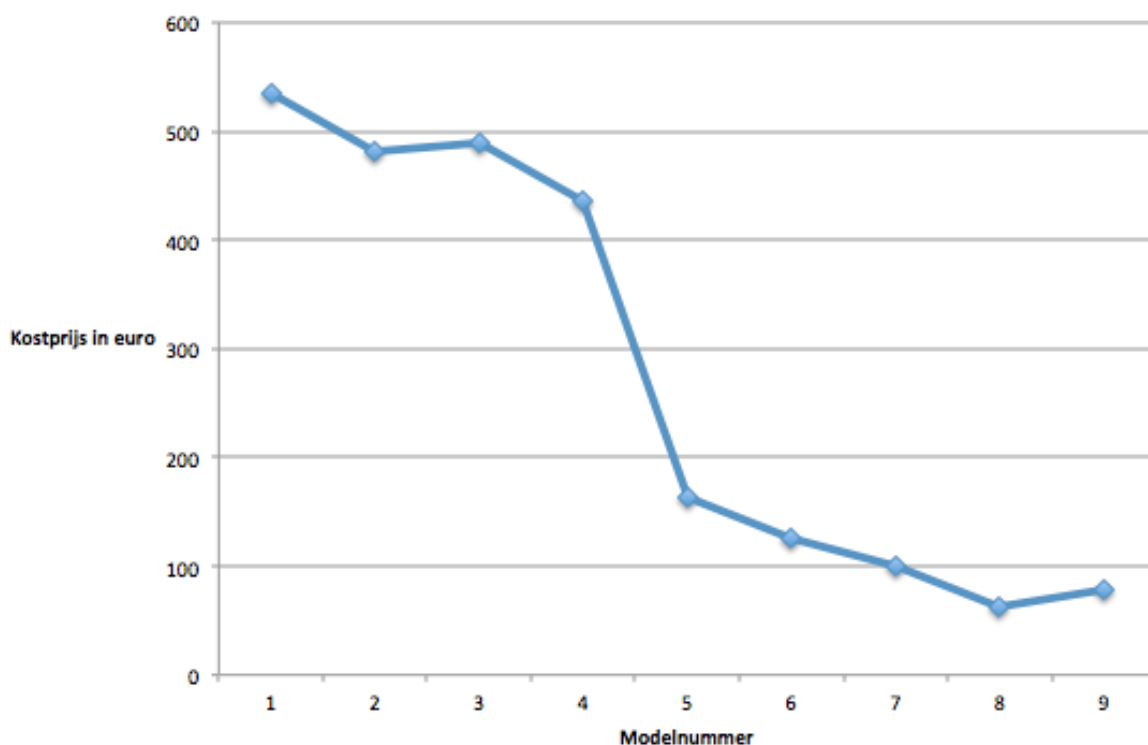
In dit hoofdstuk wordt er besproken welk prototype het meest geschikt is voor praktische metingen. Hierbij wordt er rekening gehouden met de eigenschappen en prijzen van elk prototype.

Aan de hand van tabellen werd een opsomming gemaakt van wat de kosten zijn bij elk prototype. Volgende lijst toont de prijzen van de verschillende prototypes in volgorde van ontwerp. Elk model krijgt een nummer toegewezen. Een gedetailleerde weergave van alle onderdelen kan gevonden worden in bijlage B. Bij elk prototype werd ook een onderscheid gemaakt tussen de verschillende types elektronica. De onderdelen die gemarkeerd zijn met een sterretje (\*) konden via onze school of via anderen zonder extra aankoop verkregen worden. Daarom staan in sommige tabellen twee prijzen vermeld. De prijs zonder sterretje is de prijs met de reeds beschikbare onderdelen, de prijs met het sterretje is de totaalprijs die de kost van alle onderdelen bevat.

1. Raymarine DST-800 met Arduino Uno en bevestiging in het water optie één: 535,09 euro (zie tabel 9)
2. Raymarine DST-800 met Arduino Uno en bevestiging in het water optie twee: 481,58 euro (zie tabel 10)
3. Raymarine DST-800 met NMEA-logger met bevestiging in het water optie één: 489,58 euro (zie tabel 11)
4. Raymarine DST-800 met NMEA-logger met bevestiging in het water optie twee: 435,69 euro (zie tabel 12)
5. Arduino Uno GPS-logger in combinatie met een 3D-geprinte boei: 113,91/\*163, 80 euro (zie tabel 13)

6. Arduino Uno GPS-logger in combinatie met een ankerboei: 116,62/\*126,62 euro (zie tabel 14)
7. Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een 3D-geprinte boei: 49,96/\*99,86 euro (zie tabel 15)
8. Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een ankerboei: 52,76/\*62,67 euro (zie tabel 16)
9. Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een verbeterde ankerboei 52,76/\*77,45 euro

Indien men deze prijzen omzet in een grafiek, kan men hieruit afleiden dat het doel om een zo goedkoop mogelijk meettoestel te ontwikkelen geslaagd is. De twee laatste prototypes met de ankerboei en Canmore GPS-logger kosten zelfs nog maar ongeveer een tiende van het allereerste ontwerp. In figuur 59 wordt de kostprijs geïllustreerd per modelnummer. Hiervoor werden van elk model de hoogste prijzen ingevoerd.



**Figuur 59** Kostprijs per modelnummer  
Bron: **Eigen werk**

Een voordeel van de ankerboei is dat deze ook de stromingsrichting kan registreren. Om het moment van de kentering te kunnen waarnemen, is het beter om een combinatie van de snelheid van de stroming en de stromingsrichting te analyseren. Als men de beweging van de drifters in de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium bekijkt, kan men opmerken dat sommige drifters op het moment wanneer de kentering wordt ingezet, toch nog een bepaalde snelheid hebben en naar het strand toe bewegen. Dit komt omdat ze invloed krijgen van brekende golven. Het prototype van een meettoestel met de Raymarine DST-800 in een stationaire constructie kan de stromingsrichting niet bepalen en is daarom niet de beste keuze. Dit komt omdat het scheprad slechts volgens één richting kan worden geplaatst, waardoor de ware snelheid van de stroming enkel kan worden waargenomen indien ze volgens dezelfde richting stroomt. Indien de stroming onder een bepaalde hoek tegen het scheprad stroomt, kunnen de gemeten waarden niet als geldig worden beschouwd. Het prototype met de twee watersnelheidsmeters met rotor richt zich wel volgens de richting van de stroom en is daardoor in staat de ware snelheid van de stroming te meten. Dit komt omdat de stroming tegen de vinnen duwt, waardoor de rotor in tegengestelde richting van de stroming komt te staan. Een nadeel is dat de stromingsrichting zelf niet wordt geregistreerd. De prototypes met een 3D-geprinte boei zijn ook niet de beste keuze voor de proef. Een nadeel is dat boei zeer moeilijk waterdicht kan worden gemaakt. Bovendien kon er proefondervindelijk worden opgemerkt dat het ontwerp niet optimaal is. Het drijfvermogen is veel kleiner dan de ankerboei. Dit komt omdat de ankerboei een groter afgesloten volume heeft dat lucht bevat. Door de conische vorm van de ankerboei ligt deze stabiel in het water en biedt daardoor ook veel beter weerstand tegen de kracht van golven. Een bolvormig model heeft meer kans om te kantelen. De verbeteringen aan de ankerboei zorgen ervoor dat deze recht in het water blijft drijven en dat de beweging van de boei bijna uitsluitend wordt gerealiseerd door de invloed van de stroming. Als men de totaalprijs van alle prototypes vergelijkt, ziet men dat de verbeterde ankerboei het tweede goedkoopste prototype is. De aanpassingen van de eerste versie van de ankerboei zorgen voor een stijging van de kostprijs met net geen 15 euro, maar als men dit bedrag vergelijkt met de kostprijs van de andere prototypes, is dit zeer weinig.



# Hoofdstuk 8

## Het onderzoek

### 8.1 Drijftest in Oostende

Om de werking van de verbeterde ankerboei te evalueren, werd deze eerst in Oostende getest. Het was hoofdzakelijk de bedoeling om te testen of de drifterboei recht in het water blijft drijven en of de stroming nu beter aangrijpt met de toegevoegde vinnen. De ankerboei werd ongeveer een kwartier na hoogwater in het water geplaatst. Uit deze test kon worden geconcludeerd dat het touw van 30 meter veel te kort was om een goede meting te kunnen uitvoeren. Het verschil in voelbare trekkracht op de boei was zeer groot in vergelijking met de test in de Schelde. De drifterboei blijft, wanneer er geen spanning op het touw staat, perfect recht in het water drijven. Indien dit niet het geval zou zijn, moesten de loden gewichten bijvoorbeeld anders gepositioneerd of verwijderd worden. Wanneer er spanning op het touw stond, bleef de boei soms scheef in het water hangen. Dit is op zich geen probleem, maar een mogelijk probleem kan bijvoorbeeld zijn dat de boei zo diep in het water getrokken wordt dat deze moeilijk te traceren is vanaf het water. Indien men een gaatje boort middenin de buis en het touw daardoor wordt getrokken, trekt het touw dwars op de buis in plaats van onderaan. Dit geldt wel enkel en alleen indien de verticale afstand tussen de betonnen blok en de drifterboei klein is. Op grotere dieptes is er door deze wijziging weinig verschil omdat de hoek tussen het touw en de buis kleiner wordt. Uit de test kon men zien dat tijdens de vloedstroming de stroming rond het staketsel sterk afbuigt naar het strand toe. De drifterboei bleef ongeveer in hetzelfde rondcirkelen, zie figuur 60. Waarschijnlijk komt dit omdat de drifterboei vrij dicht bij het strand werd geplaatst. Er was ongeveer één meter water beschikbaar onder de ankerboei. Dit is, zo blijkt, te weinig om stromingen op een goede manier waar te nemen. Het is dus absoluut nodig de drifterboei dieper in zee te plaatsen. Hierdoor wordt de horizontale afstand waarover de boei kan drijven nog verder ingekort. Bovendien is

het met deze opstelling ook enkel mogelijk om de ebstroom waar te nemen als deze al voldoende op gang gekomen is, omdat pas dan de boei in tegengestelde richting begint te drijven. Wat de drifterboei met bevestiging aan een betonnen blok exact gaat doen als de watersnelheid bijna gelijk is aan nul blijft een raadsel.



**Figuur 60** Traject in Oostende  
Bron: Arcgis [8]

## 8.2 Metingen in Blankenberge

De praktische proef in Blankenberge vond plaats op maandag 22/05/2017 tussen 08:11:24 UTC en 11:38:47 UTC. De drifterboei werd 01:32:00 voor hoogwater in het water gelegd tussen dezelfde golfbrekers als in het onderzoeksgebied van de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium. In figuur 61 wordt het onderzoeksgebied geïllustreerd met volgende waypoints:

Latitude: 51°319115 N longitude: 3°115853 E

Latitude: 51°317653 N longitude: 3°121989 E

Latitude: 51°320291 N longitude: 3°120251 E

Latitude: 51°319138 N longitude: 3°115874 E



**Figuur 61** Onderzoekgebied praktische proef Blankenberge  
Bron: **Argis** [7]

De eerste keer werd de boei ongeveer aan het einde van de meest westelijke golfbreker geplaatst, zie figuur 62. Gedurende de hele proef werd de boei in het oog gehouden vanop zee in de reddersboot. Wanneer de boei nabij de oostelijke golfbreker komt, werd deze uit het water gehaald en teruggeplaatst. Afhankelijk van de visuele waarnemingen werd de drifterboei soms iets verder of dichters geplaatst. In mijn onderzoek wordt er slechts één drifter gebruikt. Daardoor is deze visuele controle nodig. Een groter aantal drifters zouden meer duidelijkheid geven over de beweging van de stroming dichters of verder van het strand. Wanneer en waarom de drifterboei verplaatst werd, wordt besproken in sectie 8.3. Als laatste werd de drifterboei nog even ter hoogte van de meetpaal MOW1 geplaatst om ook hier een meting te doen. Deze meetpaal staat in positie  $51^{\circ}365833$  N -  $3^{\circ}116944$  E, zie figuur 63.



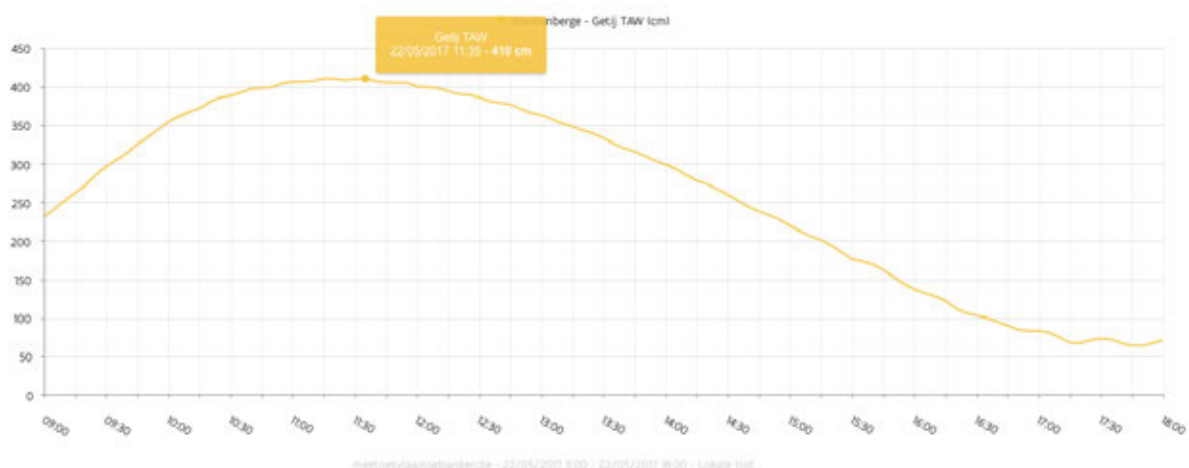
**Figuur 62** Het plaatsen van de drifterboei  
Bron: **Eigen werk**



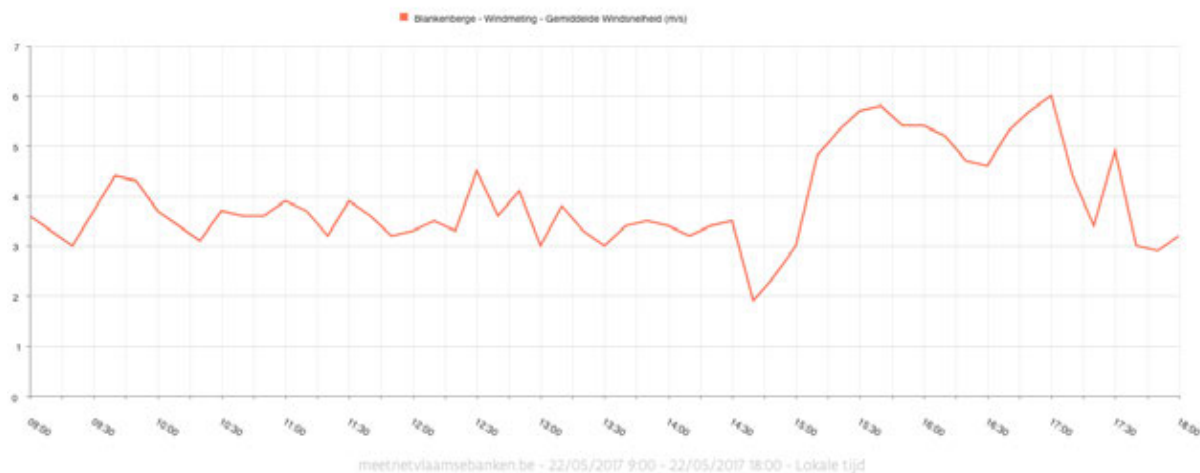
**Figuur 63** Meetpaal MOW1  
Bron: **Eigen werk**

Volgende informatie werd verkregen via Meetnet Vlaamse Banken en geeft een idee van de heersende omstandigheden tijdens het uitvoeren van de praktische proef in Blankenberge [2].

- Het hoogste waterniveau op 22/05/2017 was 4,10 m om 09:35:00 UTC, zie figuur 64.
- Het waterniveau aan de start van de metingen om 08:03:00 UTC bedraagt 3,54 m, zie figuur 64.
- Het waterniveau aan het einde van de metingen om 11:50:00 UTC bedraagt 3,10 m, zie figuur 64.
- De windsnelheid blijft gedurende de hele proef onveranderd en varieert tussen de 3 tot 4 m/s. De wind kwam vanuit het zuidoosten aan de start van de proef en komt van het zuidwesten aan het eind van de proef, zie figuur 65 en figuur 66.



**Figuur 64** Getij Blankenberge 22/05/17  
Bron: Meetnet Vlaamse Banken [2]



**Figuur 65** Gemiddelde windsnelheid Blankenberge 22/05/17  
Bron: Meetnet Vlaamse Banken [2]



**Figuur 66** Gemiddelde windrichting Blankenberge 22/05/17  
Bron: Meetnet Vlaamse Banken [2]

Tabel 7 toont de verschillen in eigenschappen van de drifter, het getij en meteorologische omstandigheden tussen de studie van het Waterbouwkundig Laboratorium en mijn eigen onderzoek.

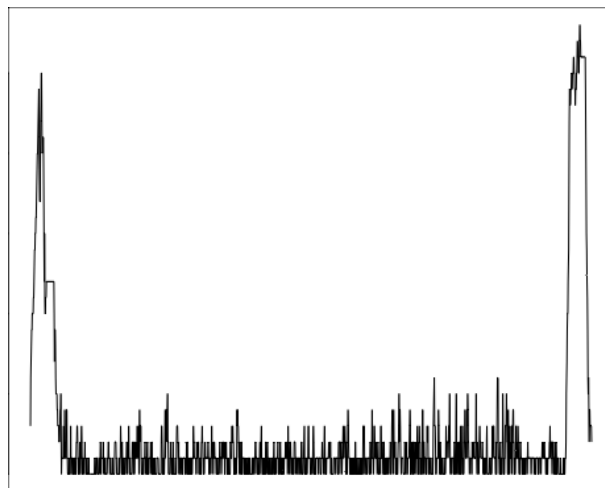
**Tabel 7** Vergelijking meting Waterbouwkundig Laboratorium met eigen meting

	WL	Eigen meting
Gewicht drifter in kg	6,4	5,2
Nauwkeurigheid drifter in m	3,5	2,5 - 3
Batterijduur drifter in u.	18	17
Aantal gebruikte drifters	6	1
Totaal aantal metingen	43	8
Loginterval GPS-logger in s	3	1
Tijdstip hoogwater in UTC	16:15:00	09:35:00
Tijdstip van start van de metingen in UTC	14:43:04	08:03:00
Tijdstip van einde van de metingen in UTC	17:58:04	11:50:33
Totale meetduur	03:15:00	03:47:33
Tijd van start van de metingen voor HW	01:31:56	01:32:00
Tijd van einde van de metingen na HW	01:43:04	02:15:33
Getij aan de start van de metingen t.o.v. TAW in cm	294	354
Waterniveau hoogwater t.o.v. TAW in cm	458	410
Getij aan het einde van de metingen t.o.v. TAW in cm	389	310
Windsnelheid bij de start van de metingen in m/s	4,5	3,7
Windrichting aan de start van de metingen	westen	zuidoosten
Windsnelheid aan het einde van de metingen in m/s	1,5	3,5
Windrichting aan het einde van de metingen	zuidwesten	zuiden

### 8.3 Resultaten

De geregistreerde gegevens op de GPS-logger werden met het bijgeleverde softwareprogramma van ‘Canmore’ op een computer geïmporteerd. Vervolgens werden de ‘talker sentences’ geëxporteerd in een .csv bestand. Deze bestanden kunnen worden gelezen door Microsoft Excel. De verschillende gegevens werden van elkaar gescheiden in kolommen. Met het softwareprogramma ‘R’ werden de gegevens geanalyseerd. Het programma leest eerst het .csv bestand in. Aansluitend werden de kolommen met latitude en longitude gedeeld door 1.000.000 om een kommagetal te creëren. Om de posities te filteren die geregistreerd werden tijdens het verplaatsen van de drifterboei, werd er eerst een plot gemaakt van de waargenomen snelheden in de ‘talker sentences’, zoals in figuur 67. Hiervoor moet een interval worden ingegeven van de genummerde lijnen data in het .csv bestand. Op deze plot kan men pieken in de snelheid waarnemen. Elke piek stelt het moment voor wanneer de drifterboei uit het water wordt gehaald en verplaatst wordt met de reddingsboot. Deze behaalt hogere snelheden dan de ankerboei in het water. Daarna moet men manueel het interval zo aanpassen dat de pieken niet meer zichtbaar zijn. Dit interval werd vervolgens opgeschreven en dit proces werd herhaald tot alle metingen door de boei in intervallen werden gedefinieerd. Elk interval werd aansluitend ingegeven om

zo aan te geven op welke data het programma berekeningen moet uitvoeren. Er wordt in feite een selectie gemaakt. Tussen elke positie van elk traject berekent het programma de eenheidsvector op de rechte tussen twee opeenvolgende posities. Dit dient om later de verplaatsingsrichting van de boei te tonen. Daarna wordt het afgelegde traject op de kaart van Blankenberge getekend. Om de verplaatsingssnelheid te visualiseren in de lengte van de vectoren op het getekende traject, werd de lengte van de snelheid vermenigvuldigd met de eenheidsvector tussen twee opeenvolgende posities om het eindpunt van de vector te definiëren. Daaropvolgend wordt de gemiddelde snelheidsvector berekend over een tijdsinterval van 80 seconden door alle snelheidsvectoren op te tellen en te delen door het aantal opgetelde vectoren. Als laatste worden deze gemiddelde snelheidsvectoren geplott op het traject. De lengte van de vectoren staat niet in verband met de schaal van de kaart. Daarom werd hierop een schaalfactor toegepast en werd deze arbitrair gekozen om deze duidelijk weer te geven op de kaart. Bij de laatste meting aan meetpaal MOW1 werd de gemiddelde snelheidsvector over een interval van 25 seconden berekend in plaats van 80 seconden. De schaalfactor blijft dezelfde. Met een interval van 80 seconden werden er geen vectoren op de het getekende traject getekend.



**Figuur 67** Snelheden datalijnen 3634-5500

Bron: **Eigen werk**

Na analyse van de gegevens van de praktische proef in Blankenberge konden hieruit volgende resultaten worden afgeleid:

- Meting 1: interval tussen 08:11:24 UTC en 08:26:27 UTC, zie figuur 68.

De drifterboei drijft in oostnoordoostelijke richting met gemiddelde snelheid van 0,26 m/s. Tussen dit tijdsinterval kan de vloedstroom zeer duidelijk worden gezien.

- Meting 2: interval tussen 08:28:57 UTC en 09:04:36 UTC, zie figuur 69.

De drifterboei werd op ongeveer hetzelfde beginpunt gezet en de gemiddelde snelheid neemt af tot 0,10 m/s. Het water stroomt nog altijd in oostnoordoostelijke richting. Gedurende de praktische proef kon worden opgemerkt dat aan het begin en einde van dit interval de drifterboei soms de neiging heeft om naar het strand toe te bewegen. Dit wordt ook bevestigd in figuur 69. Dit komt mogelijks door het effect van de golfbrekers.

- Meting 3: interval tussen 09:06:15 UTC en 09:34:17 UTC, zie figuur 70. De drifterboei werd nu ongeveer 100 m dieper in zee geplaatst. De stroming is ook hier in noordoostelijke tot oostnoordoostelijke richting, met een gemiddelde snelheid van 0,19 m/s. Dit komt omdat de stroming mogelijks minder invloed ondervindt van de golfbrekers.

- Meting 4: interval tussen 09:35:57 UTC en 10:10:57 UTC, zie figuur 71.

De snelheid van de stroming neemt af tot ongeveer 0,12 m/s en de richting van de stroom is nu iets noordelijker.

- Meting 5: interval tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC, zie figuur 72.

De gemiddelde snelheid van de stroming neemt verder af tot 0,09 m/s. De richting van de stroming verandert plots heel sterk en de drifterboei drijft zelfs bijna helemaal in noordelijke richting. Dit komt omdat de ebstroom nu meer en meer de overhand begint te nemen.

- Meting 6: interval tussen 11:03:18 UTC en 11:17:09 UTC, zie figuur 73.

Omdat de ankerboei al een hele afstand richting zee had afgelegd, werd deze terug dicht bij het strand geplaatst. In dit tijdsinterval kan men zeer duidelijk zien dat de ebstroom begonnen was. De ankerboei drijft nu in westelijke richting aan een gemiddelde snelheid van 0,11 m/s.

- Meting 7: interval tussen 11:18:03 UTC en 11:24:37 UTC, zie figuur 74.

De ankerboei werd nogmaals dicht bij het strand geplaatst. Hier kan men een westelijke ebstroom waarnemen met een gemiddelde snelheid van 0,21 m/s

- Meting 8: interval tussen 11:32:16 UTC en 11:38:47 UTC, zie figuur 75.

Als laatste werd de ankerboei ter hoogte van meetpaal MOW1 geplaatst. Hier kan men nog steeds de noordoostelijke vloedstroom waarnemen. Deze heeft een gemiddelde snelheid van 0,41 m/s. Om de afgelegde weg van de ankerboei duidelijk weer te geven in een figuur, moest er op de afbeelding worden ingezoomd. Het 'Rgoogle-Maps' pakket in het programma 'R' voorziet hiervoor geen satellietafbeelding.





**Figuur 68** Traject drifterboei tussen 08:11:24 en 08:26:27  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 69** Traject drifterboei tussen 08:28:57 en 09:04:36  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 70** Traject drifterboei tussen 09:06:15 en 09:34:17  
Bron: **Eigen werk**



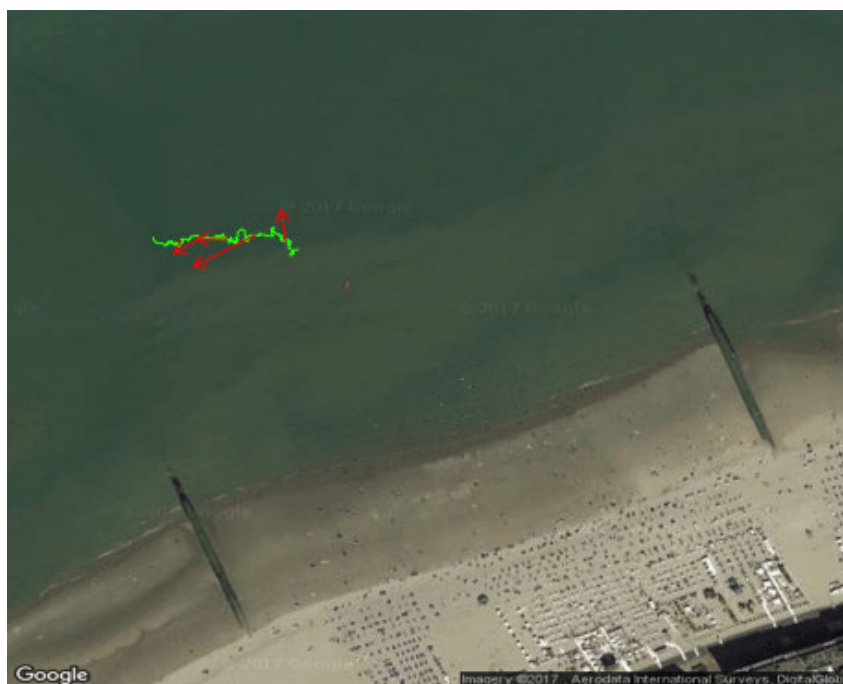
**Figuur 71** Traject drifterboei tussen 09:35:57 en 10:10:57  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 72** Traject drifterboei tussen 10:11:52 en 11:02:13  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 73** Traject drifterboei tussen 11:03:18 en 11:17:09  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 74** Traject drifterboei tussen 11:18:03 en 11:24:37  
Bron: **Eigen werk**



**Figuur 75** Traject drifterboei tussen 11:32:16 en 11:38:47  
Bron: **Eigen werk**

Tabel 8 bevat een gedetailleerde weergave van onder andere de duur, afgelegde afstand, gemiddelde snelheid en drijfrichting van elke meting afzonderlijk. De afstanden, gemiddelde snelheid en drijfrichting werden berekend met een tool op het internet [61]. Hiervoor werden begin- en eindcoördinaten ingegeven van elke meting.

**Tabel 8** Eigenschappen metingen

Bron: <b>Eigen werk</b>				
METING	1	2	3	4
VAN (tijd in UTC)	08:11:24	08:28:57	09:06:15	09:35:57
TOT (tijd in UTC)	08:26:27	09:04:36	09:34:17	10:10:57
DUUR (in uren)	00:15:03	00:35:39	00:28:02	00:35:00
LATITUDE START(°N)	51,316945	51,316825	51,317245	51,317508
LONGITUDE START(°E)	3,11796	3,11788	3,11725	3,11734
LATITUDE EINDE(°N)	51,317752	51,317695	51,318980	51,318679
LONGITUDE EINDE(°E)	3,121121	3,120615	3,120947	3,120424
AFGELEGDE AFSTAND (m)	237	213	321	251
GEMIDDELDE SNELHEID (m/s)	0,26	0,10	0,19	0,12
DRIJFRICHTING(°)	68	63	53	58
METING	5	6	7	8
VAN (tijd in UTC)	10:11:52	11:03:18	11:18:03	11:32:16
TOT (tijd in UTC)	11:02:13	11:17:09	11:24:37	11:38:47
DUUR (in uren)	00:50:21	00:13:51	00:06:34	00:06:31
LATITUDE START(°N)	51,317432	51,318069	51,317629	51,359560
LONGITUDE START(°E)	3,11725	3,11878	3,11893	3,11875
LATITUDE EINDE(°N)	51,319815	51,318190	51,317708	51,360418
LONGITUDE EINDE(°E)	3,118792	3,117504	3,117758	3,120632
AFSTAND (m)	286	89	82	162
GEMIDDELDE SNELHEID (m/s)	0,09	0,11	0,21	0,41
DRIJFRICHTING(°)	22	278	276	53

## 8.4 Conclusie eigen meetcampagne

Tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC is de gemiddelde stroomsnelheid 0,09 m/s. In figuur 72 kan men ook duidelijk zien dat de boei nu niet meer in oostnoordoostelijke richting afdrijft, maar traag in noordnoordoostelijke richting verplaatst. Omdat de verandering van de richting van de stroom pas echt goed te zien is tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC en omdat er tussen 11:03:18 UTC en 11:38:47 UTC een in snelheid toenemende westelijke ebstroom kan worden waargenomen, kan met zekerheid worden gezegd dat de kentering tussen 10:11:52 UTC en 11:02:13 UTC plaatsvindt. Dit is van 00:36:00 tot 1:27:00 na hoogwater. Deze bevinding bevestigt dan ook dat het mogelijk is de kentering na hoogwater te bepalen met een goedkoop zelfgebouwd meettoestel.

De richting en snelheid van de stroom werd ook gemeten ter hoogte van meetpaal MOW1. De gegevens uit de cursus van WOBRA zijn gebaseerd op de gemeten waarden van deze meetpaal. Tussen 11:32:16 UTC en 11:38:47 UTC kan men hier nog de vloedstroom waar-

nemen. Deze heeft een gemiddelde snelheid van 0,41 m/s en stroomt in noordoostelijke richting. Dit wil zeggen dat vanaf ongeveer 2 uur na hoogwater de kentering aan de meetpaal nog niet heeft plaatsgevonden. Deze laatste meting bevestigt dat er wel degelijk een verschil in het tijdstip van de overgang van de vloedstroom naar de ebstroom kan worden waargenomen tussen de positie van de meetpaal en de badzone van Blankenberge.

Kort samengevat:

- De vloedstroom, de gemiddeld oostnoordoostelijke stroming richting Nederland, stopt vanaf 00:36:00 na hoogwater in de badzone van Blankenberge.
- De ebstroom, de gemiddeld westzuidwestelijke stroming richting Frankrijk, begint vanaf 01:28:00 na hoogwater in de badzone van Blankenberge.
- De kentering vindt plaats ergens tussen 00:36:00 en 01:28:00 na hoogwater in de badzone van Blankenberge.
- Het tijdstip waarop de kentering wordt ingezet in de badzone van Blankenberge verschilt van het tijdstip waarop deze wordt ingezet ter hoogte van meetpaal MOW1. Dieper in zee vindt de kentering later plaats.
- Deze resultaten komen overeen met de bevindingen van het Waterbouwkundig Laboratorium. Gedurende deze studie vindt de kentering plaats ergens tussen 00:28:00 en 01:43:00 na hoogwater.
- De stelling in de cursus van WOBRA dat de vloedstroom langs onze Belgische kust tot drie uur na hoogwater doorloopt, is niet correct in de badzone van Blankenberge.
- De stelling in de cursus van WOBRA dat de kentering langs onze Belgische kust vanaf drie uur na hoogwater wordt ingezet is niet correct in de badzone van Blankenberge.
- De stelling in de cursus van WOBRA dat de ebstroom langs onze Belgische kust vanaf vier uur na hoogwater begint, is niet correct in de badzone van Blankenberge.

# Hoofdstuk 9

## Besluit

Uit de conclusies van de praktische proef in Blankenberge blijkt dat de richting en snelheid van stromingen kunnen worden bepaald met relatief goedkope middelen. Het exacte tijdstip waarop de kentering plaatsvindt kon niet worden afgeleid uit de resultaten van het onderzoek. Men kan uit de gegevens wel afleiden wanneer de vloedstroming in snelheid vermindert en van richting verandert, alsook wanneer de ebstroom kan worden waargenomen. Volgens de metingen met de drifterboei ligt het exacte moment waarop de kentering plaatsvindt ergens tussen 00:28:00 en 01:43:00 na hoogwater. Dit tijdsinterval komt overeen met de bevindingen in de studie door het Waterbouwkundig Laboratorium. De stellingen in de cursus van WOBRA dat langs onze Belgische kust de vloedstroom tot drie uur na hoogwater doorloopt, de kentering vanaf drie uur na hoogwater wordt ingezet en de ebstroom vanaf vier uur na hoogwater begint, zijn niet correct in de badzone van Blankenberge.

# Bibliografie

- [1] 3dfutura. *PLA - MAGENTA - 2,85 MM*. URL: <http://www.3dfutura.be/nl/3df-filament-pla-magenta-285-mm.html> (bezoekt op 10-04-2017).
- [2] Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust. *Meetnet Vlaamse Banken: Metingen*. 2017. URL: <http://meetnetvlaamsebanken.be/Measurement> (bezoekt op 22-05-2017).
- [3] Airmar Technology Corporation. *DST800*. 23 okt 2013. URL: <http://www.airmartechology.com/uploads/brochures/DST800.pdf> (bezoekt op 06-02-2017).
- [4] Airmar Technology Corporation. *DST-800 Wiring Diagram*. URL: [http://www.airmartechology.com/uploads/wiringdiagrams/91\\_613.pdf](http://www.airmartechology.com/uploads/wiringdiagrams/91_613.pdf) (bezoekt op 06-02-2017).
- [5] Alphatec. *Beton*. URL: <http://alphatec.nl/beton.html> (bezoekt op 10-04-2017).
- [6] Amazon. *Canmore GT-730FL USB GPS Tracker Stick Data Logger Dongle with Logger Function (Built-in Rechargeable battery, WAAS, A-GPS, 256,000 Waypoints record, 65 channels, Windows XP / Vista / 7 Compatible)*. URL: [https://www.amazon.com/Canmore-GT-730FL-Rechargeable-Waypoints-Compatible/dp/B00I4Z1SQS/ref=sr\\_1\\_1?s=electronics&ie=UTF8&qid=1492533504&sr=1-1&keywords=canmore+gt+730](https://www.amazon.com/Canmore-GT-730FL-Rechargeable-Waypoints-Compatible/dp/B00I4Z1SQS/ref=sr_1_1?s=electronics&ie=UTF8&qid=1492533504&sr=1-1&keywords=canmore+gt+730) (bezoekt op 10-04-2017).
- [7] Arcgis [door emielvd]. *Blankenberge-onderzoeksgebied*. 23 mei 2017. URL: <https://arcg.is/uqn84> (bezoekt op 23-05-2017).
- [8] Arcgis [door emielvd]. *Drijftest in Oostende*. 21 mei 2017. URL: <https://arcg.is/KqevL> (bezoekt op 23-05-2017).
- [9] Arduino. *Arduino Uno Board*. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (bezoekt op 01-02-2017).



- [10] Berghut. *Pelibox 1200*. URL: <http://www.berghut.be/reisartikelen-en-zakjes/waterdicht/waterdichte-box/pelibox-1200> (bezocht op 10-04-2017).
- [11] Betke, K. *The NMEA 0183 Protocol*. 1 aug 2001. URL: <http://fort21.ru/download/NMEAdescription.pdf> (bezocht op 07-02-2017).
- [12] Boemarine. *NMEA 0183 Interfacing Guide*. 25 feb 2017. URL: <https://www.boemarine.com/blogs/news/124910151-nmea-0183-interfacing-guide> (bezocht op 07-05-2017).
- [13] Bol.com. *6mm x 50m Polyester rol gevlochten boot touw*. URL: <https://www.bol.com/nl/p/6mm-x-50m-polyester-rol-gevlochten-boot-touw/9200000032435515/?country=BE&suggestionType=typedsearch> (bezocht op 10-04-2017).
- [14] Bol.com. *Duracell Ultra Power AA Alkaline Batterijen*. URL: <https://www.bol.com/nl/p/duracell-ultra-power-aa-alkaline-batterijen/9200000032051725/?country=BE&suggestionType=categorysuggestionsearch> (bezocht op 07-04-2017).
- [15] Bol.com. *Kingston Micro SD kaart 4 GB*. URL: <https://www.bol.com/nl/p/kingston-micro-sd-kaart-4-gb/9005000011616505/?country=BE&suggestionType=typedsearch> (bezocht op 07-04-2017).
- [16] Bol.com. *Reddingsboeien (Besto-Buoy) / Afm.: 600 x 340 mm, gewicht ca. 1,5 kg*. URL: <https://www.bol.com/nl/p/reddingsboeien-afm-600-x-340-mm-gewicht-ca-1-5-kg/9200000047685627/?country=BE&suggestionType=typedsearch> (bezocht op 10-04-2017).
- [17] Campz. *Pelibox 1120 zonder schuim*. URL: <https://www.campz.nl/outdoor-uitrusting/wasgoed/camping-kisten-kratten/plastic-box/235827.html> (bezocht op 10-04-2017).
- [18] Canmore. *GPS Receiver/Logger*. URL: [http://www.canmore.com.tw/productshow.php?selectub=&product\\_number=69&secondkidnumber=20&secondkidname=GPS%20Receiver/Logger&mainkidnumber=18&mainkidname=](http://www.canmore.com.tw/productshow.php?selectub=&product_number=69&secondkidnumber=20&secondkidname=GPS%20Receiver/Logger&mainkidnumber=18&mainkidname=) (bezocht op 10-04-2017).
- [19] Central Water and Power Research Station, Government of India, Ministry of Water Resources. *Instrumentation Calibration and Testing Services*. URL: <http://cwprs.gov.in/Page/Instrumentation-Calibration-and-Testing-Services.aspx> (bezocht op 05-02-2016).

- [20] Conrad. *Energizer 6LR61 9 V batterij (blok) Lithium 9 V 1 stuks*. URL: <http://www.conrad.be/ce/nl/product/650448/Energizer-6LR61-9-V-batterij-blok-Lithium-9-V-1-stuks>; jsessionid=0976DF336EA76779BFA324EAFB712B1E.ASTPCEN28?ref=list (bezocht op 07-02-2017).
- [21] CTV Service. *Raymarine Genomskrovsigivare DST800 Analog 200kHz D/T/F*. URL: <http://www.ctvservice.se/tillbehor-raymarine-instrument/1960-raymarine-genomskrovsigivare-dst800-analog-200khz-dtf-.html> (bezocht op 10-04-2017).
- [22] Dan, S., Vereecken, H., Levy, Y., Delgado, R., De Backer, E. en Mostaert, F. *Hydrodynamic climate for the vicinity of Blankenberge harbor: Campaign June - July 2013. Version 2\_0. WL Rapporten*. Antwerpen, België: Flanders Hydraulic Research, 2014. (Bezocht op 02-06-2016).
- [23] Dauwe, P. *Navigation (Partim 4)*. 11 jan 2009. (Bezocht op 10-02-2017).
- [24] Dean, P. *Canmore GT-730FL-S GPS data logger review*. URL: <http://peterdean.co.uk/wpblog/?p=218> (bezocht op 14-04-2017).
- [25] Edway Group. *Training Aid Australia*. URL: <http://edwaygroup.com.au/> (bezocht op 30-04-2017).
- [26] ElectroshopXL. *Arduino Uno Rev3*. URL: <http://www.electroshopxl.be/index.php/webshop/arduino-shop/arduino-borden/arduino-uno-rev3/>.
- [27] Filament-Shop [door Erwin]. *PLA en ABS, wat is het verschil?* 5 jun 2014. URL: <http://www.filament-shop.nl/blogs/blog/pla-en-abs-wat-is-het-verschil/> (bezocht op 14-04-2017).
- [28] Flynt, J. *Will Acetone Smooth 3D Printed PLA Parts*. 3 jan 2017. URL: <http://3dinsider.com/will-acetone-smooth-3d-printed-pla-parts/> (bezocht op 25-03-2017).
- [29] Friesen, B. *Waterproofing PLA 3D Prints*. 24 sep 2014. URL: <http://bfriesen.com/waterproofing-pla-3d-prints/> (bezocht op 25-03-2017).
- [30] Fritzing. *Fritzing: electronics made easy*. URL: <http://fritzing.org/home/> (bezocht op 02-02-2017).

- [31] Gamma. *Inbusbout M6x60 mm cilinderkop verzinkt 8 stuks*. URL: <https://www.gamma.be/nl/assortiment/gamma-inbusbout-m6x60-mm-cilinderkop-verzinkt-8-stuks/p/B458575> (bezocht op 10-04-2017).
- [32] Gamma. *OK dekzeil antraciet 3x4m*. URL: [https://www.gamma.be/nl/assortiment/ok-dekzeil-antraciet-3x4m/p/B390901?q=fh\\_location%3d%2f%2fcatalog01%2fnl\\_BE%2f%24s%3dzeildoek%2ffh\\_item\\_type%3E%7bproduct%7d%26fh\\_refview%3dsearch%26fh\\_view\\_size%3d20%26fh\\_lister\\_pos%3d3%26fh\\_start\\_index%3d0%26date\\_time%3d20170518T000000%26fh\\_modification%3d%26fh\\_sort%3d-\\_match\\_rate%252C-%2524rc\\_with\\_promotion%26fh\\_secondid%3db\\_product\\_b021390901](https://www.gamma.be/nl/assortiment/ok-dekzeil-antraciet-3x4m/p/B390901?q=fh_location%3d%2f%2fcatalog01%2fnl_BE%2f%24s%3dzeildoek%2ffh_item_type%3E%7bproduct%7d%26fh_refview%3dsearch%26fh_view_size%3d20%26fh_lister_pos%3d3%26fh_start_index%3d0%26date_time%3d20170518T000000%26fh_modification%3d%26fh_sort%3d-_match_rate%252C-%2524rc_with_promotion%26fh_secondid%3db_product_b021390901) (bezocht op 18-05-2017).
- [33] Garmin. *Garmin Transducer Selection Guide*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0yauQTWLiou> (bezocht op 06-02-2017).
- [34] Geek On Acid. *GPS logging on SD card using TinyGPS*. 18 aug 2014. URL: <http://arduino.stackexchange.com/questions/3832/gps-logging-on-sd-card-using-tinygps>.
- [35] Hubo. *Draadeind M8 1m verzinkt*. URL: <https://www.hubo.be/nl/p/draadeind-m8-1m-verzinkt/146153.html> (bezocht op 18-05-2017).
- [36] Hubo. *Steigerhout 195x30 mm 250cm*. URL: [Steigerhout%20195x30%20mm%20250cm](https://www.hubo.be/nl/p/steigerhout-195x30-mm-250cm) (bezocht op 10-04-2017).
- [37] Instructables [door techbitar]. *Geo Data Logger: Arduino+GPS+SD+Accelerometer to Log, Time-stamp, and Geo-tag Sensor Data*. URL: <http://www.instructables.com/id/Geo-Data-Logger-ArduinoGPSSDAccelerometer-to-1/> (bezocht op 14-04-2017).
- [38] Kanocentrum Arjan Bloem. *Waterdichte Ton, 3,6 ltr*. URL: <http://www.arendbloem.nl/kwo/prod.php?id=520> (bezocht op 10-04-2017).
- [39] Kraft, C. „Smoothing Out Your 3D Prints With Acetone Vapor”. In: (24 sep 2014). URL: <http://makezine.com/2014/09/24/smoothing-out-your-3d-prints-with-acetone-vapor/> (bezocht op 25-03-2017).
- [40] Lewis, J. *Energy Density of 9V battery vs AA batteries. Which is better one 9V or six AA batteries?* 23 mrt 2016. URL: <https://www.baldengineer.com/9v-battery-energy-density.html> (bezocht op 21-05-2017).

- [41] Mithila. *Tutorial : Reading GPS data via Arduino*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=v74E01ESdUA> (bezocht op 07-02-2016).
- [42] Mr. Boat epoxy. *Waarom wordt epoxy warm bij het witharden?* URL: <https://www.mrboat.nl/faq/> (bezocht op 25-03-2017).
- [43] National Marine Electronics Association. *NMEA 0183 Standard*. URL: [https://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](https://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp) (bezocht op 07-02-2017).
- [44] Netherlands Space Office. *Nieuwe generatie Amerikaanse en Chinese GPS satellieten*. URL: <https://www.spaceoffice.nl/nl/Satelliettoepassingen/Nieuws/1132/Nieuwe-generatie-Amerikaanse-en-Chinese-GPS-satellieten.html> (bezocht op 04-10-2017).
- [45] OpenSeaMap. *Frequently Asked Questions*. URL: <http://openseamap.org/index.php?id=faq&L=1> (bezocht op 01-02-2017).
- [46] OpenSeaMap. *Hardware logger*. URL: [http://wiki.openseamap.org/wiki/Hardware\\_logger#OpenSeaMap-Hardware-Logger](http://wiki.openseamap.org/wiki/Hardware_logger#OpenSeaMap-Hardware-Logger) (bezocht op 07-03-2017).
- [47] OpenSeaMap. *How can I help?* URL: <http://openseamap.org/index.php?id=mitmachen&L=1> (bezocht op 01-02-2017).
- [48] OpenSeaMap. *OpenSeaMap-dev:HW-logger/OSeaM-Manual(en)*. URL: [http://wiki.openseamap.org/wiki/OpenSeaMap-dev:HW-logger/OSeaM-Manual\(en\)](http://wiki.openseamap.org/wiki/OpenSeaMap-dev:HW-logger/OSeaM-Manual(en)) (bezocht op 07-03-2017).
- [49] Polyestershoppen. *Epoxycoating transparant*. URL: <https://polyestershoppen.nl/epoxy/epoxycoating-transparant-6.html> (bezocht op 11-04-2017).
- [50] Pvcbuis. *PVC HWA BUIS 100MM GRIJS LENGTE = 1,55 MTR*. URL: <https://pvcbuis.com/pvc-hwa-buis-100mm-grijs-lengte-1-55-mtr-prod/> (bezocht op 18-05-2017).
- [51] Qvist Outdoor Cooking. *Transporttonnen*. URL: <http://www.qvist.nl/wild-europe/expedition/transporttonnen.html> (bezocht op 10-04-2017).
- [52] Rantz, S. E. *Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge*. Geological Survey Water-Supply Paper 2175. Washington:

- United States Government Printing Office, 1982. URL: [https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/pdf/WSP2175\\_vol1a.pdf](https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/pdf/WSP2175_vol1a.pdf) (bezocht op 02-03-2016).
- [53] Raymarine-shop. *Raymarine DST800 DST CU TH Triducer analoog*. URL: [http://www.raymarine-shop.nl/Raymarine-DST800-Triducer-analoog-200kHz-A22154?filter\\_name=dst800](http://www.raymarine-shop.nl/Raymarine-DST800-Triducer-analoog-200kHz-A22154?filter_name=dst800) (bezocht op 07-02-2017).
- [54] Raymond, N. *Open Source Ocean Data Buoy Project: Downloads*. URL: <https://opensourceoceanweatherbuoy.wordpress.com/downloads/> (bezocht op 04-10-2017).
- [55] Raymond, N. *Open Source Ocean Data Buoy Project: tracking the progress of an ocean measurement datalogging project*. URL: <https://opensourceoceanweatherbuoy.wordpress.com> (bezocht op 07-04-2017).
- [56] Rshydro. *Valeport BFM001 & 002 Open Channel Flow Meters*. URL: <http://www.rshydro.co.uk/flow-meters/open-channel-flowmeter/open-channel-flow-meters-large-channels/valeport-bfm001-002-open-channel-flow-meter/> (bezocht op 06-02-2017).
- [57] Sparkfun. *SparkFun DeadOn RTC Breakout - DS3234*. URL: <https://www.sparkfun.com/products/10160> (bezocht op 07-02-2017).
- [58] Sparkfun. *SparkFun microSD Shield*. URL: <https://www.sparkfun.com/products/12761> (bezocht op 07-02-2017).
- [59] Sparkfun. *SparkFun Real Time Clock Module*. URL: <https://www.sparkfun.com/products/12708> (bezocht op 06-02-2017).
- [60] SVB Spezialversand für Yacht- und Bootszubehör GmbH. *Raymarine DST-800*. URL: <https://www.svb24.nl/nl/airmar-triducer-nmea0183.html> (bezocht op 06-02-2017).
- [61] Veness, C. *Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points*. 2017. URL: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html> (bezocht op 23-05-2017).
- [62] Wallpaperup. *Ocean sea lake underwater wallpaper*. URL: [http://www.wallpaperup.com/wallpaper/download\\_custom/429413](http://www.wallpaperup.com/wallpaper/download_custom/429413) (bezocht op 04-10-2017).
- [63] West-Vlaams Opleidingscentrum voor Brandweer-, Reddings- en Ambulancediensten. *Getijden- en stromingsleer*. Zedelgem, België: Provinciaal opleidingscentrum

voor veiligheidsdiensten, 2014. URL: [http://www.redderaanzee.wobra.be/MEDIA/cursussen/HFK3\\_versie%2020\\_09\\_2014.pdf](http://www.redderaanzee.wobra.be/MEDIA/cursussen/HFK3_versie%2020_09_2014.pdf) (bezocht op 21-03-2016).

- [64] Wikipedia. *LORAN*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/LORAN#Loran-B\\_and\\_C](https://en.wikipedia.org/wiki/LORAN#Loran-B_and_C) (bezocht op 06-05-2017).

# Lijst van bijlagen

A Mail OpenSeaMap	96
B Tabellen met prijzen	100
C Broncode GPS-data naar vectoren met ‘R’	106

# Bijlage A

## Mail OpenSeaMap

2017-5-12 E-mail - emiel\_vd@hotmail.com

<https://outlook.live.com/owa/?path=/mail/search> 1/2

Re: OSM NMEA 2-Kanal-Logger device compatibility

Hello Emiel,

- > in the official course material of the Belgian coast
- > lifeguards, there is stated that the change of high water occurs 3 hours
- > after high water in 'Blankenberge', but in reality, the lifeguards
- > notice that this change already occurs 10 minutes after high water.

High water in each specific place differs from a reference station like 'Blankenberge'. Cause seabed, wind, stream, coastline, distance, etc.

If you knew /how/ it differs normally for a specific place, you can derive it from 'Blankenberge'. But if some of the parameters will change, the result becomes wrong.

- > needed to find a way to measure this change. So at the moment of change,
- > the water speed is almost zero.

I'm not a hydrographer, but keep in mind water flow in waves etc.

- > The plan is to place a speedlog in a



- > vertical watertight PVC tube, which contains all the electronics, battery
- > and silica gel to eliminate condensation inside the tube, and attach it
- > to a buoy, which will be placed at the right spot

The buoy is floating?

Then it moves by wind...

- > The only values I will take into account is the speed of the water

This will be a mix of tide, waves, wind, buoy movement...

- > DST800 is the only device I can find that emits NMEA signals.

Yes - works fine.

- > These NMEA-signals will
- > be timestamped and logged on a SD-card and then further analyzed.
- > I could measure the water-depths for the OSM-project,
- > but only one fixed point is taken into account

This depth at a fixed position is a local gauge.

You can measure the deviation from 'Blankenberge'.

- > For my project, the budget is low

[actisense.com/products/nmea-0183/dst2.html](http://actisense.com/products/nmea-0183/dst2.html) is about 100 euro Best regards,

Markus Bärlocher

zo 8/11/2015 17:10

Aan:Emiel Van Driessche ;

2017-5-12 E-mail - emiel\_vd@hotmail.com

<https://outlook.live.com/owa/?path=/mail/search/2/2>

Markus

>> Subject: Re: OSM NMEA 2-Kanal-Logger device compatibility

>> To: emiel\_vd@hotmail.com

>> From: markus.baerlocher@lau-net.de

>> Date: Sat, 7 Nov 2015 00:01:29 +0100

>>

>> Hello Emiel,

>> > I study nautical sciences at the Antwerp Maritime Academy in Belgium.

>>

>> Who is your professor there?

>>

>> > For my master thesis, I need to determine at which hour the high water

>> > changes into low water. I am planning to measure the speed of the water

>> > at a fixed point

>>

>> Nice idea

>>

>> > I will use a Furuno DST 800 triducer, which supports NMEA 0183 output.

>> >> >>

>> > I was wondering if the OpenSeaMap NMEA 2-Kanal-Logger

>> > could read the NMEA -sentences from this device?

>>

>> Yes, it reads all NMEA-0183 sentences.

>> There is also a 6-axes acceleration meter inside.

>>

>> How do you detect the point of changing from low to high water?

>> The curve there is very flat and the horizontal movement of the

water is

>> very slow. Can you measure this very small flow with DST800?

>>

>> > DST800 Triducer

>>

>> If you need a sounder for the transducer, I can recommend

>> <http://www.actisense.com/products/nmea-0183/dst2.html>

>> which we use in our mobile device:

>>

> [http://wiki.openseamap.org/wiki/OpenSeaMap-dev:HW-logger/Tiefenmesser\\_mobil](http://wiki.openseamap.org/wiki/OpenSeaMap-dev:HW-logger/Tiefenmesser_mobil)

>>

>> May be you can help measuring waterdepths during your experiments

too?

>> That would be great!

>>

>> The flyers you can use free.

>> Please share it with your friends.

>> As more people will help, as sooner we can deliver iso liens.

>>

>> Best regards,

>> Markus

# Bijlage B

## Tabellen met prijzen

**Tabel 9** Prijzen Raymarine DST-800 met Arduino Uno en bevestiging in het water optie éénBron: **Eigen werk**

<b>Raymarine DST-800 met Arduino Uno</b>	
Arduino Uno [26]	24,50 euro
Sparkfun MicroSD Shield [58]	13,98 euro
Sparkfun Real Time Clock module [57]	18,66 euro
3 x 9V batterijen [20]	29,97 euro
Raymarine DST-800 [53]	294,95 euro
Batterij Arduino 1 x 9V [20]	9,99 euro
Kingston SD-kaart 4GB [15]	7,49 euro
<u><i>SUBTOTAAL</i></u>	399,54 euro
Bevestiging in het water optie één	
(+) Steigerhout 195 x 30mm x 250cm [36]	52,60 euro
(+) Waterdichte doos [10]	82,95 euro
<u><i>TOTAAL 1</i></u>	535,09 euro

**Tabel 10** Prijzen Raymarine DST-800 met Arduino Uno en bevestiging in het water optie tweeBron: **Eigen werk**

<b>Raymarine DST-800 met Arduino Uno</b>	
Arduino Uno [26]	24,50 euro
Sparkfun MicroSD Shield [58]	13,98 euro
Sparkfun Real Time Clock module [57]	18,66 euro
3 x 9V batterijen [20]	29,97 euro
Raymarine DST-800 [53]	294,95 euro
Batterij Arduino 1 x 9V [20]	9,99 euro
Kingston SD-kaart 4GB [15]	7,49 euro
<u><i>SUBTOTAAL</i></u>	399,54 euro
Bevestiging in het water optie twee	
(+) Reddingsboei [16]	46,55 euro
(+) Waterdichte ton [38]	11,50 euro
(+) 50m polyester touw [13]	22,99 euro
(+) Ankerblok	1,00 euro
<u><i>TOTAAL 2</i></u>	481,58 euro

**Tabel 11** Prijzen Raymarine DST-800 met NMEA-logger met bevestiging in het water optie éénBron: **Eigen werk**

<b>Raymarine DST-800 met NMEA-logger</b>	
8 x 1,5V batterijen [14]	8,72 euro
2 x 9V batterijen [20]	19,98 euro
NMEA-logger [46]	30,00 euro
Raymarine DST-800 [53]	294,95 euro
<u><i>SUBTOTAAL</i></u>	353,65 euro
Bevestiging in het water optie één	
(+) Steigerhout 195 x 30 mm x 250cm [36]	52,60 euro
(+) Waterdichte doos [10]	82,95 euro
<u><i>TOTAAL 3</i></u>	489,58 euro

**Tabel 12** Prijzen Raymarine DST-800 met NMEA-logger met bevestiging in het water optie tweeBron: **Eigen werk**

<b>Raymarine DST-800 met NMEA-logger</b>	
8 x 1,5V batterijen [14]	8,72 euro
2 x 9V batterijen [20]	19,98 euro
NMEA-logger [46]	30,00 euro
Raymarine DST-800 [53]	294,95 euro
<u><i>SUBTOTAAL</i></u>	353,65 euro
Bevestiging in het water optie twee	
(+) Reddingsboei [16]	46,55 euro
(+) Waterdichte ton van 3,6 liter [38]	11,50 euro
(+) 50m polyester touw [13]	22,99 euro
(+) Ankerblok	1,00 euro
<u><i>TOTAAL 4</i></u>	435,69 euro

**Tabel 13** Prijzen Arduino Uno GPS-logger in combinatie met een 3D-geprinte boeiBron: **Eigen werk**

<u>Arduino Uno GPS-logger</u>	
Arduino Uno [26]	24,50 euro
LS20031 GPS-ontvanger [37]	46,74 euro
ADXL345 Accelerometer [37]	6,54 euro
SD-kaartlezer [37]	2,33 euro
Kingston SD-kaart 4GB [15]	7,49 euro
LED-lampje [37]	0,93 euro
Weerstand 1k Ohm [37]	0,93 euro
Breadboard [37]	4,67 euro
Batterij Arduino 1x 9V [20]	9,99 euro
 <u>SUBTOTAAL</u>	 104,12 euro
Bevestiging in het water optie één	
(+) Boei 3D-print (1kg PLA) [1]	*24,95 euro
(+) Bouten M6 x 60mm en moeren M6 [31]	2,89 euro
(+) O-ring 90 mm diameter	0,90 euro
(+) Epoxycoating 0,8 kg [49]	*24,95 euro
(+) Touw 2 x 15m	6,00 euro
 <u>TOTAAL 5</u>	 113,91 euro *163,80 euro

**Tabel 14** Prijzen Arduino Uno GPS-logger in combinatie met een ankerboeiBron: **Eigen werk**

<b>Arduino Uno GPS-logger</b>	
Arduino Uno [26]	24,50 euro
LS20031 GPS-ontvanger [37]	46,74 euro
ADXL345 Accelerometer [37]	6,54 euro
SD-kaartlezer [37]	2,33 euro
Kingston SD-kaart 4GB [15]	7,49 euro
LED-lampje [37]	0,93 euro
Weerstand 1k Ohm [37]	0,93 euro
Breadboard [37]	4,67 euro
Batterij Arduino 1x 9V [20]	9,99 euro
<u>SUBTOTAAL</u>	104,12 euro
Bevestiging in het water optie twee	
(+) Ankerboei	6,50 euro
(+) Touw	6,00 euro
(+) Waterdichte capsule	*10,00 euro
<u>TOTAAL 6</u>	116,62 euro *126,62 euro

**Tabel 15** Prijzen Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een 3D-geprinte boeiBron: **Eigen werk**

<b>Canmore GT 730-FL</b>	
Canmore GT 730-FL [6]	40,17 euro
<u>SUBTOTAAL</u>	40,17 euro
Bevestiging in het water optie één	
(+) Boei 3D-print (1kg PLA) [1]	*24,95 euro
(+) Bouten M6 x 60mm en moeren M6 [31]	2,89 euro
(+) O-ring 90 mm diameter	0,90 euro
(+) Epoxycoating 0,8 kg [49]	*24,95 euro
(+) Touw 2 x 15m	6,00 euro
<u>TOTAAL 7</u>	49,96 euro *99,86 euro



**Tabel 16** Prijzen Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een ankerboeiBron: **Eigen werk**

<b><u>Canmore GT 730-FL</u></b>	
Canmore GT 730-FL [6]	40,17 euro
<b><u>SUBTOTAAL</u></b>	40,17 euro
Bevestiging in het water optie twee	
(+) Ankerboei	6,50 euro
(+) Touw 2 x 15m	6,00 euro
(+) Waterdichte capsule	*10,00 euro
<b><u>TOTAAL 8</u></b>	52,67 euro
	*62,67 euro

**Tabel 17** Prijzen Canmore GT 730-FL GPS-logger in combinatie met een verbeterde ankerboei

<b><u>Canmore GT 730-FL</u></b>	
Canmore GT 730-FL [6]	40,17 euro
<b><u>SUBTOTAAL</u></b>	40,17 euro
Bevestiging in het water optie twee	
(+) Ankerboei	6,50 euro
(+) Touw 2 x 15m	6,00 euro
(+) Waterdichte capsule	*10,00 euro
(+) PVC buis 100 mm x 1,55 m [50]	*5 euro
(+) 2 x M8 draadstang 1 m [35]	*4,30
(+) Dekzeil 3 x 4 m [32]	*5,49
<b><u>TOTAAL 9</u></b>	52,67 euro
	*77,46 euro

# Bijlage C

## Broncode GPS-data naar vectoren met 'R'

```
#####  
### script by D. Luyckx ###  
### 18-05-2017          ###  
#####  
  
##### begin 1 keer  
library(RgoogleMaps)  
  
library(readxl)  
blankenberge <- read_excel("~/Documents/Masterscriptie/Masterscriptie Latex  
                                col_names = FALSE, col_types = c("numeric", "num  
                                "text", "numeri  
                                "numeric", "tex  
                                "text", "numeri  
  
View(blankenberge)  
blankenberge$X__6 <- blankenberge$X__6/1000000  
blankenberge$X__8 <- blankenberge$X__8/1000000  
  
##### einde 1 keer  
  
## uitzoeken waar goede stukken zitten  
  
plot(blankenberge$X__11[12308:13000], type='l')
```

```
selectie <- blankenberge[12370:12420,]

midden <- c(lat=mean(selectie$X__6), lon=mean(selectie$X__8))
zoom <- min(MaxZoom(range(selectie$X__6), range(selectie$X__8)));

selectie$diff_lat <- rep(0, dim(selectie)[1])
selectie$diff_lon <- rep(0, dim(selectie)[1])

for (i in 1:(dim(selectie)[1]-1)) {
  selectie$diff_lat[i] <- selectie$X__6[i+1]-selectie$X__6[i]
  selectie$diff_lon[i] <- selectie$X__8[i+1]-selectie$X__8[i]
  lengte <- sqrt(selectie$diff_lat[i]^2 + selectie$diff_lon[i]^2)
  if (lengte != 0) {
    selectie$diff_lat[i] <- selectie$diff_lat[i]/lengte
    selectie$diff_lon[i] <- selectie$diff_lon[i]/lengte
  }
  i <- i+1
}

Mapselectie <- GetMap(center=c(lat=51.360, lon=3.12), zoom=18,
                      maptype='satellite ')
PlotOnStaticMap(Mapselectie)
PlotOnStaticMap(Mapselectie, lat = selectie$X__6,
                  lon = selectie$X__8,
                  cex=1, pch=20, col='green',
                  FUN=lines, add=TRUE)

#### snelheden moet je schalen omdat ze ander te groot zijn
#### zf is de schaalfactor
zf=0.0010

#### bepaal gemiddelde snelheidsvector over een interval
selectie$lat_eind <- selectie$X__6 + selectie$X__11*selectie$diff_lat*zf
selectie$lon_eind <- selectie$X__8 + selectie$X__11*selectie$diff_lon*zf
```

```
## lengte interval in seconden
lengte.interval <- 25

for (i in 1:(dim(selectie)[1]/lengte.interval)) {
  j <- (i-1)*lengte.interval+1
  k <- i*lengte.interval
  lat0 <- mean(selectie$X__6[j:k])
  lon0 <- mean(selectie$X__8[j:k])
  lat1 <- mean(selectie$lat_eind[j:k])
  lon1 <- mean(selectie$lon_eind[j:k])
  PlotArrowsOnStaticMap(Mapselectie, lat0=lat0,
                        lon0=lon0,
                        lat1=lat1,
                        lon1=lon1,
                        col = 'red', add=T, length=0.08)

  i <- i+1
}
```