



(Source: Flickr/Andre Pinho)

Scriptie

Vismigratie metingen met het Internet of Things

Feyyaz Çatak (0896252)

Hogeschool Rotterdam

Bedrijfsbegeleider: Hans Boksem

20-06-2018

Informatiepagina

Contactgegevens

Afstudeerder

Naam: Feyyaz Çatak
 Studentnummer: 0896252
 E-mailadres: 0896252@hr.nl
 Mobiel telefoonnummer: +31(0)6 40 63 94 33

Afstudeerbedrijf

Naam: Atos Amstelveen
 Adres: Burgemeester Rijnderslaan 30, 1185 MC Amstelveen
 Telefoonnummer: 088 265 5555

Opdrachtgever

Naam: Hans Boksem
 Emailadres: hans.boksem@atos.net

Peer-student

Naam: Moustafa Almas
 E-mailadres: 0895461@hr.nl
 Mobiel telefoonnummer: +31(0)6 36 54 91 29

Versiebeheer

Versie	Datum	Opmerking
0.1	20-02-2018	Document met alleen mandaat overgenomen in de scriptie
1.0	13-03-2018	Eerste versie scriptie
1.1	04-06-2018	Verbeteringen na feedback begeleider, conceptversie
1.2	20-06-2018	Definitieve versie

Samenvatting

Op dit moment is er geen device dat met het Internet of Things werkt, autonoom werkt en zonder de vissen te belemmeren vismigraties meet. Om dit waar te kunnen maken wordt onderzocht hoe vismigraties kunnen worden gemeten aan de hand van deze eisen en welke hardware hierbij benodigd is. Daarnaast wordt ook een prototype beschreven van de best resulterende hardware dat is onderzocht en vergeleken.

Hierbij is de hoofdvraag: Hoe kan door middel van Internet of Things vismigraties worden gemeten?

Om dit onderzoek tot een succesvol eind te kunnen brengen is er gebruik gemaakt van literatuuronderzoek. Ook zijn de methodes experimenteel onderzoeken, exploratief onderzoeken, prototyping en interviewen gebruikt.

Van alle onderzochte sensoren en meetmethodes is gebleken dat lasers en sonar het beste resultaat leveren. Hierbij is een prototype gebouwd dat aan de hand van meerdere lasers de snelheid, hoogte, breedte, lengte en zwemhoek kan meten van een object dat langs zwemt. Voor het uitlezen van sensoren en het verzenden van gemeten data wordt de Sodaq LoRa One v3 met LoRa module geadviseerd en gebruikt als microcontroller met LoRa als communicatiemethode.

Uit testresultaten met een recht varend object is een gemiddelde afwijking van 38,9% voor de gemeten hoogtes, 45,5% voor de gemeten breedtes en 3,3% voor de gemeten lengtes van het object gemeten.

Uit testresultaten met een schuin varend object is een gemiddelde afwijking van 23,6% voor de gemeten hoogtes, 27,3% voor de gemeten breedtes en 2,8% voor de gemeten lengtes van het object gemeten.

Door gebruik te maken van sleep functionaliteit en pulserende lasers kan het energieverbruik van het prototype drastisch omlaag worden gebracht.

Uit testresultaten kan worden geconcludeerd dat de gemeten lengtes erg correct zijn maar dat de gemeten breedtes en hoogtes nogal afwijken. Dit betekent dat het prototype dat in dit onderzoek is onderbouwd en geadviseerd, in huidige staat niet geschikt is voor vismigratie metingen met het Internet of Things.

De testresultaten van de lengtes hebben een grote afwijking onder andere door de vorm van het testobject dat is gebruikt. De gemeten breedtes en hoogtes zijn afwijkend door te veel afstand tussen de sensoren die worden gebruikt om vismigratie te meten.

Voor vervolgonderzoek is het daarom belangrijk dat het gebruik maakt van op maat gemaakte designs voor de sensoren, afhankelijk van waar het product metingen moet verrichten. Ook moeten er meer test worden uitgevoerd met meerdere vissen, echte vissen en troebel water. Daarnaast zijn er methoden voor energiezuinigheid die doorgevoerd moeten worden in het vervolgproduct.

Inhoud

Informatiepagina	2
Contactgegevens	2
Versiebeheer	2
Samenvatting.....	3
Afkortingen.....	8
Begrippenlijst/Definities.....	9
1. Inleiding	11
1.1 inhoud.....	11
1.1.1 Aanleiding van het onderzoek.....	11
1.1.2 Afbakening onderzoek.....	11
1.1.3 Wetenschappelijke & praktische relevantie onderzoek	12
1.2 Inhoud	12
1.2.1 Doelstelling.....	12
1.2.2 Omschrijving van het probleem	12
1.2.3 Hoofdvraag en deelvragen	12
1.2.4 Onderzoeksopzet.....	13
1.2.5 Stakeholders.....	13
1.2.6 Samenwerking.....	13
1.2.7 Publiek (doelgroep)	13
2. Theoretisch kader	14
2.1 Bestaande onderzoeken en oplossingen.....	14
2.2 Wiskunde, logica en methodiek vis meting.....	15
2.2.1 Recht zwemmende vis.....	15
2.2.2 Schuin zwemmende vis	17
3. Methoden.....	20
3.1 Literatuuronderzoek.....	20
3.2 Experimenteel onderzoek	20
3.3 Prototyping.....	20
3.4 Interviews	20
3.5 Exploratief onderzoek	20
3.6 Testopstelling & prototype.....	21
3.6.1 Afmetingen testopstelling & prototype	21
3.6.2 Design lasers behuizing	23
3.6.3 Hardware prototype.....	24

3.7 Database, Internet of Things & limieten prototype	26
3.7.1 Van node tot lokale database.....	26
3.7.2 Database design	26
3.7.3 Limieten prototype.....	26
4. Resultaten.....	27
4.1 Inleiding	27
4.2 Vismigratie detectie en sensoren	27
4.2.1 Manieren om vismigratie te meten.....	27
4.2.2 Vis detectie sensoren	37
4.3 IoT communicatiemethodes.....	39
4.3.1 LPWAN communicatiemethodes	39
4.3.2 Wifi	41
4.3.3 Mesh protocollen	41
4.4 Microcontrollers met LoRa module.....	43
4.4.1 Sdaq LoRa One v3	43
4.4.2 TTN Uno.....	43
4.4.3 Marvin LoRa.....	43
4.5 Energiezuinigheid hardware & software.....	44
4.5.1 Energiezuinigheid hardware.....	44
4.5.2 Energiezuinigheid software	45
4.6 Resultaten praktische test lineaire licht reeks	46
4.6.1 Testresultaten kleine onderzeeboot	46
4.6.2 Testresultaten grote onderzeeboot	48
4.6.3 Testresultaten meerdere onderzeeboten	48
4.6.4 Kalibratie test	48
5. Conclusie	49
5.1 Meetmethode	49
5.2 Sensoren.....	49
5.3 Communicatieprotocol.....	49
5.4 Microcontroller.....	49
5.5 Energiezuinigheid	50
5.6 Testresultaten en eindconclusie.....	50
6. Discussie	51
6.1 Afwijkingen meetresultaten	51
6.2 Logistieke problemen	53

6.3 Problemen met de testobjecten	53
7. Aanbevelingen	54
7.1 Correctie design.....	54
7.2 Aanbeveling vervolg prototype	54
7.3 Extra tests vervolg prototype	55
Literatuurlijst	56
Bijlages.....	63
Bijlage I Flowcharts systemen	63
Bijlage II Uitleg criteria sensoren vergelijking	65
Bijlage III Energieverbruik, databerekening & maximum vissen per seconde met LoRa	67
Bijlage IV Requirements analyse, MoSCoW, kwaliteitseisen code	69
Functionele requirements	69
Non-functionele requirements.....	70
Bijlage V Afmetingen testobject 1	72
Bijlage VI Afmetingen testobject 2	73
Bijlage VII Vergelijkingstabel vismigratie methodes	74
Bijlage VIII Vergelijkingstabel IoT communicatiemethodes	75
Bijlage IX Vergelijkingstabel microcontrollers	76
Bijlage X Vergelijkingstabel sonar.....	77
Bijlage XI Testplan prototype	78
1.1 Test risico's/problemen analyse.....	78
1.2 Te testen onderdelen	78
1.3 Test aanpak.....	79
1.4 Test succes- en faalcriteria	80
1.5 Test deliverables.....	80
Bijlage XII Testplan sonar	81
1.1 Test risico's/problemen analyse.....	81
1.2 Te testen onderdelen	81
1.3 Test aanpak.....	82
1.4 Test reglementen/toestemming	82
1.5 Test succes- en faalcriteria	83
1.6 Test deliverables.....	83
Bijlage XIII Problemen onderzeeboten.....	84
Bijlage XIV Schematische tekening hardware	86
Bijlage XV Energieberekening prototype.	87

Bijlage XVI Foto's testopstelling	90
---	----

Afkortingen

DL - Downlink

IoT - Internet of Things

LDR - Light Dependent Resistor

LoRa - Low Power Long Range

LPWAN - Low Power Wide Area Network

N/A - Not available (oftewel: niet beschikbaar)

N.v.t. - Niet van toepassing

RFID - Radio Frequency Identification

UL - Uplink

NB - Narrowband

nm - nanometer

mA - milliampère

Begrippenlijst/Definities

<i>Begrip</i>	<i>Definitie</i>
Airtime	De airtime staat voor hoelang het voor een node duurt om een bericht te verzenden.
Autonoom	Een autonoom apparaat is een systeem dat kan werken zonder menselijk toezicht of hulp.
Backend	Een backend bestaat uit services die op de achtergrond de volledige connectiviteit tussen systeemcomponenten regelen.
Community funded/crowd sourced	Community funded of crowd sourced zijn begrippen die een organisatie beschrijven dat gebruik maakt van een betaalde of onbetaalde menigte om zijn doelen te bereiken.
Device	Een device is een embedded systeem.
Downlink	Een downlink is een bericht dat via de cloud naar de node wordt verstuurd.
Dutycycle	Een dutycycle is de lengte van de airtime en de lengte van de wacht tijd bij elkaar opgeteld.
Edge computing	Edge computing is het gebruiken van een computer die ruwe data verwerkt voordat de data verder wordt verzonden of opgeslagen.
Gateway	Een gateway is een router voor Internet of Things nodes.
Internet of Things	Het Internet of Things is een netwerk van (alledaagse) apparaten die (tijdelijk) verbonden zijn met het internet en data kunnen uitwisselen met het netwerk.
Intrusief	Intrusief heeft als betekenis dat iets belemmerend is/werkt.
Mesh netwerk	Een mesh netwerk is een verzameling van nodes die onderling contact met elkaar hebben. In een mesh netwerk kunnen nodes onderling elkaars berichten doorgeven naar de volgende node om de betrouwbaarheid van het netwerk te bevorderen.
Node	Een node is (embedded) systeem dat verbonden is met het Internet of Things. De node verstuurt en ontvangt data over sensoren/actuatoren via het Internet of Things.
Packet loss	Packet loss heeft te maken met netwerken en staat voor een bericht dat is verloren tijdens het verzenden via een draadloos communicatieprotocol.
Realtime	Het in realtime bijhouden van een gegeven heeft als betekenis dat de gegevens direct worden gemeten en weergegeven.
Receiver	Een receiver is een ontvangende sensor.

	Bijvoorbeeld een lichtsensor dat licht ontvangt en de lichtintensiteit meet.
RFID	RFID is een technologie om van een afstand informatie op te slaan in en af te lezen van zogenaamde RFID-tags
Transceiver	Een transceiver is een draadloze ontvanger en zender.
Trigger	Een trigger is een gebeurtenis die een reactie op gang brengt. Bijvoorbeeld het noteren van de actuele tijd.
Uplink	Een uplink is een bericht dat van de node naar de cloud wordt verstuurd.
Wacht tijd	De hoeveelheid tijd dat een node moet wachten per uplink bericht door een restrictie van de communicatiemethode.

1. Inleiding

1.1 inhoud

In dit deel van het hoofdstuk wordt beschreven waarom dit onderzoek wordt uitgevoerd en wat de aanleiding is. Ook worden de eisen vanuit de opdrachtgever en de afbakening van dit onderzoek beschreven.

1.1.1 Aanleiding van het onderzoek

Om te paaien of aan voedsel te komen moeten veel vissoorten kunnen trekken (migreren). Menselijke barrières, zoals dammen, sluizen en gemalen, blokkeren echter de originele route van deze vissen. Veel van deze vissen kunnen hierdoor niet migreren en sterven uit. Dit gebeurt onder andere op plekken zoals de Noordzee. Vispassages worden speciaal aangelegd voor vissen zodat deze vissen toch kunnen migreren, maar het is onduidelijk hoeveel vissen gebruik maken van deze vispassages. Met statistieken over het aantal vissen dat succesvol gebruik maakt van een vispassage kan men concluderen of de vissen in gevaar voor uitsterving zijn of niet. Atos is een bedrijf dat hier commerciële kansen in ziet en zich graag met duurzaamheid bezighoudt.

1.1.2 Afbakening onderzoek

De focus tijdens dit onderzoek ligt op het onderzoeken en bouwen van een werkend prototype dat vismigratie kan meten. Hierbij is het belangrijk dat het prototype hardware- en softwarematig aan de eisen voldoet. Het prototype zal daarnaast ook degelijk moeten werken in de testomgeving. Waar niet volledig op wordt ingegaan is onderzoek over vissen of testomgevingen die niet tot de gekozen testomgeving behoren. Daarnaast zal ook erg beperkt worden ingegaan op meerdere testomgevingen. Ook wordt er alleen ingegaan op complexere testomgevingen als daar tijd voor over is.

Verder zijn er vanuit de opdrachtgever de volgende eisen:

- Het prototype moet autonoom werken
- Het prototype moet met het IoT (Internet of Things) informatie kunnen verzenden
- Het prototype moet op een batterijvoeding kunnen werken
- Het prototype moet kunnen werken in het water en moet dus ook dermate waterdicht zijn
- Het prototype mag de vissen niet fysiek belemmeren.

Deze eisen zijn gedetailleerd beschreven in bijlage IV.

Er wordt dus niet ingegaan op:

- Het onderzoeken van vissen die niet voorkomen in de testomgeving
- Onderzoeken van meerdere testomgevingen
- Onderzoek naar Big data en data platformen/servers
- Onderzoek naar het meten van speciale vissen. Onder andere vissen die op natuurlijke wijze lichtmetingen verstoren (doorzichtige vissen, vissen die zelf licht afgeven, zeer kleine vissen etc.)

1.1.3 Wetenschappelijke & praktische relevantie onderzoek

Tot op heden is er nog geen onderzoek gedaan naar een autonome vismigratie meter die ook energiezuinig genoeg is om op batterijvoeding en met het Internet of Things te werken. Hoewel deze eigenschappen wel apart zijn onderzocht is er nooit eerder een product gemaakt dat aan al deze eisen voldoet. Daarom is ervoor gekozen om onderzoek te doen naar de mogelijkheden en om een prototype te bouwen dat aan deze eisen voldoet. Dit prototype heeft als doel het meten van vismigratie en de effectiviteit van vispassages.

1.2 Inhoud

In dit deel van het hoofdstuk wordt meer uitgelegd over het doel van dit onderzoek.

1.2.1 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken en vergelijken van oplossingen die voldoen aan de eisen (zie 1.1.2) vanuit de opdrachtgever. Daarnaast moet op basis van deze eisen een prototype worden beschreven en gebouwd dat hieraan voldoet en succesvol vismigratie kan meten.

1.2.2 Omschrijving van het probleem

Vismigratie metingen worden op dit moment nog niet door een autonoom device gedaan. Voor Atos is het van belang dat men vismigratie metingen kan doen zonder dat het device beheerd hoeft te worden door werknemers.

1.2.3 Hoofdvraag en deelvragen

Hoofdvraag: Hoe kan door middel van Internet of Things vismigraties worden gemeten?

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn er de volgende deelvragen:

- Hoe kan vismigratie worden gemeten
- Welke sensoren zijn het meest geschikt?
- Welke IoT communicatiemethode is het meest geschikt (in water)?
- Welke microcontroller is het meest geschikt?
- Hoe kan de hardware en software zo energiezuinig mogelijk worden gemaakt?

1.2.4 Onderzoeksoptzet

Voor dit onderzoek zijn de volgende onderzoeksmethoden gebruikt:

- Literatuuronderzoek
- Experimenteel onderzoek
- Prototyping
- Interviews
- Exploratief onderzoek

1.2.5 Stakeholders

Stakeholders zijn het bedrijf Atos en iedereen die na dit onderzoek verder zal werken aan het (verbeteren/uitbreiden van het) eindproduct. Ook projectleden met verwante projecten zijn stakeholders (hoofdstuk 1.2.6).

1.2.6 Samenwerking

Het onderzoek dat in dit verslag beschreven wordt is deel van een groter onderzoek. Het totale project houdt in het meten van vismigratie en het herkennen van vissoorten. Het eerste deel van het project is het hardware, communicatie en data verwerving gedeelte dat in dit onderzoeksverslag beschreven wordt.

Het tweede deel is het verwerken van big data en het herkennen van vissoorten. Het tweede deel wordt niet verder beschreven of opgenoemd in dit onderzoeksverslag. Beide projecten zijn wel nauw verbonden aan elkaar en is een onderlinge samenwerking van alle projectleden constant in gang.

Onderdelen zoals welke data nodig is voor het herkennen van vissoorten en in welk formaat data moet worden opgeslagen zijn voorbeelden van wat er samen is afgesproken met alle projectleden en opdrachtgevers. In hoofdstuk 3.7.2 is het resultaat van deze afspraken en het aanknopingspunt van de twee projecten te vinden.

1.2.7 Publiek (doelgroep)

De doelgroep van dit onderzoek zijn alle stakeholders en iedereen die na dit onderzoek verder zal werken aan het (verbeteren/uitbreiden van het) eindproduct. Daarnaast zijn ook onderzoekers vanuit instituten een deel van het publiek (voor zoverre dit document publiekelijk zal zijn).

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk worden bestaande technologieën gerefereerd en komt de logica en wiskunde achter de vismetingen aan bod.

2.1 Bestaande onderzoeken en oplossingen

Het detecteren van vissen en op kaart zetten van vismigraties is niet iets nieuws. Er bestaan al meerdere manieren voor het meten van vismigraties. Voor het detecteren van vissen worden bekende sensoren gebruikt. In dit deel van het hoofdstuk worden bestaande oplossingen opgesomd en gerefereerd.

Sensoren

Ten eerste is er sonar (Sound Navigation And Ranging), een techniek die gebruikmaakt van geluid om onder water te navigeren of om andere voorwerpen te detecteren. Door een geluidspuls uit te zenden met sonar valt te zien of er vissen aanwezig zijn. Indien er vissen aanwezig zijn zal de geluidspuls worden weerkaatst en komt de puls weer terecht bij de sensor. Een variant is de viszoeker die de mogelijkheid biedt scholen vis op te sporen [1] [2].

Nadeel van sonar is dat sonar niet altijd de beste instellingen heeft. Sonar kan zo ingesteld worden dat het heel ver en smal kan 'kijken' of dat het heel dichtbij en breed kan 'kijken'. Verder heeft sonar ook problemen met vissen die direct onder elkaar zwemmen, alleen de bovenste vis zal gedetecteerd worden. Daarnaast heeft sonar ook het probleem dat een deel van de verzonden geluidspuls later wordt weerkaatst dan een ander deel. Alleen het gedeelte dat als eerste aankomt wordt dan "gezien" door de sensor [3].

Ten tweede zijn er optische sensoren. Sensoren die hier worden gebruikt zijn infrarood sensoren, digitale camera's of een combinatie hiervan. Als vissen langs de infrarood sensor komen breekt het infrarode licht en weet de sensor dat er een vis aanwezig is. Deze oplossing wordt meestal gebruikt in combinatie met een digitale camera die foto's neemt van de vissen zodra de infrarood sensor een vis detecteert. Ook wordt deze oplossing vaak toegepast in speciale sluizen voor vissen zodat alle vissen netjes langs de infrarood sensor komen [1].

Nadeel van optisch is dat de vissen altijd door een sluis heen moeten anders "ziet" de optische sensor de vissen niet en ook moet genoeg licht aanwezig zijn voor een foto, indien er een digitale camera wordt gebruikt. Verder kan infrarood sensor niet zo ver door het water heen schijnen, dus de sluis moet smal genoeg zijn [1].

Ten derde zijn er "resistive sensors". Deze sensoren meten het verschil aan elektrische weerstand in het water. Vissen hebben een andere weerstand dan het water zelf. Zo weet de sensor of er een vis aanwezig is of niet [2].

Nadeel is dat bij deze sensor (net als de optische sensoren) de vissen door een sluis heen moeten zodat ze netjes langs de sensor gaan. Verder is deze sensor ook niet erg precies, meerdere vissen die tegelijk langs de sensor gaan worden gerekend als één vis [1].

Systemen

Camera & edge computer

Een bestaande en veel gebruikte manier is het meten van vismigratie met behulp van een camera en edge computer, zoals in [4]. Hier wordt gebruik gemaakt van een camera die vissen opneemt die door de vispassage zwemmen. Deze vissen worden daarna met een edge computer en kunstmatige intelligentie herkend op soort en wordt de data lokaal opgeslagen.

DIDSON

Ten tweede is er ook de DIDSON. De DIDSON is een apparaat dat gebruik maakt van meerdere sonar om een beeld te krijgen van wat er in het water zit. In [5] is beschreven hoe DIDSON gebruikt is om vismigratie te detecteren en meten.

2.2 Wiskunde, logica en methodiek vis meting

Voor het meten van de lengte, breedte en hoogte van vissen wordt gebruikgemaakt van de testopstelling beschreven in hoofdstuk 3.6, de testobjecten beschreven in bijlage V en bijlage VI en het testplan beschreven in bijlage XI.

De methoden, wiskunde en logica die worden beschreven in dit hoofdstuk zijn allemaal gebaseerd op het blokkeren en weer deblokkeren van laserstralen. Zodra een laserstraal wordt geblokkeerd en de lichtintensiteit die de lichtintensiteit sensor meet daalt, wordt dat geregistreerd samen met de tijd waarop de laser het eerst werd geblokkeerd. Ook wordt bijgehouden hoe lang de laser in geblokkeerde staat verkeert. Tot slot wordt ook de tijd van het deblokkeren van de laser geregistreerd. Een korte opsomming van de gegevens die worden bijgehouden per laser:

- Tijd waarop de laser blokkade begon.
- Hoe lang de blokkade heeft geduurd.
- Tijd waarop de lasers blokkade stopte.

2.2.1 Recht zwemmende vis

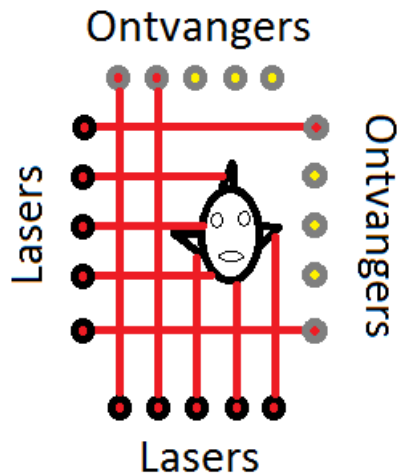
Breedte en hoogte bepaling

Het prototype werkt door middel van een lasers [6] en 'photo transistor light' sensors [7] (LDR/lichtafhankelijke weerstand), zoals weergegeven in Figuur 1. Zodra een vis tussen de laser en de sensor staat blokkeert het de laserstralen. Indien er meerdere laserstralen worden geblokkeerd kan men uitsluiten dat het om ruis gaat en dat er een groter (levend) object tussen de lasers en ontvangers staat, zoals weergegeven in Figuur 1.

Daarnaast kan ook worden afgeleid wat de afmetingen van het object zijn aan de hand van hoeveel laserstralen zijn geblokkeerd en aan de hand van de afstand tussen de lasers (zie hoofdstuk 3.6). Voor het berekenen van de hoogte en breedte van de vis geldt vergelijking (1) waarbij x staat voor de hoogte of breedte van de vis, n voor het aantal (opeenvolgende) lasers die de vis heeft geblokkeerd en y voor de vaste afstand tussen elke laser.

Doordat er altijd lasers en ontvangers aanwezig zijn in de volledige breedte en hoogte van een gegeven oppervlak kan de breedte en hoogte van de vis worden bepaald.

$$x = (n - 1) * y \quad (1)$$



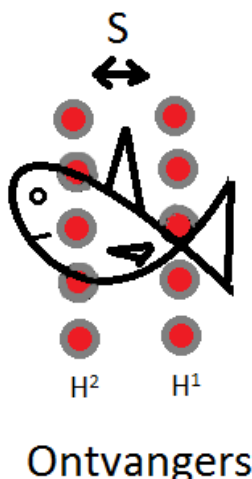
Figuur 1. Hier is te zien hoe een vis wordt gedetecteerd. Zodra de vis voor de lichtbron staat kunnen de ontvangers geen licht meer zien.

Lengte bepaling

Voor energiezuinigheid is geadviseerd en gekozen om maar twee opeenvolgende lasers te hebben in de lengte (zie hoofdstuk 3.6, Figuur 5). Een object die in de lengte langs het prototype zwemt komt, in tegenstelling tot de hoogte en breedte, horizontaal altijd langs 2 reeksen lasers. Om de lengte van het object te kunnen bepalen moet het volgende worden vastgesteld:

- Hoe lang duurde het voor het object om van de eerste reeks lasers naar de tweede reeks lasers te zwemmen?
- Hoe lang heeft het object voor de 1^e (of 2^e) reeks lasers gestaan?

In Figuur 2 is te zien hoe dit werkt.



Figuur 2. De recht zwemmende vis zwemt in de lengte langs twee reeksen lasers. Met S, zijn snelheid en hoe lang hij voor de lasers heeft gestaan kan de lengte worden bepaald.

Aan de hand van hoe lang het de vis duurde om van H^1 naar H^2 (zie Figuur 2) te zwemmen (als t) en de gegeven waarde S (als s) kan worden bepaald wat de snelheid van de vis (als v) is met vergelijking (2).

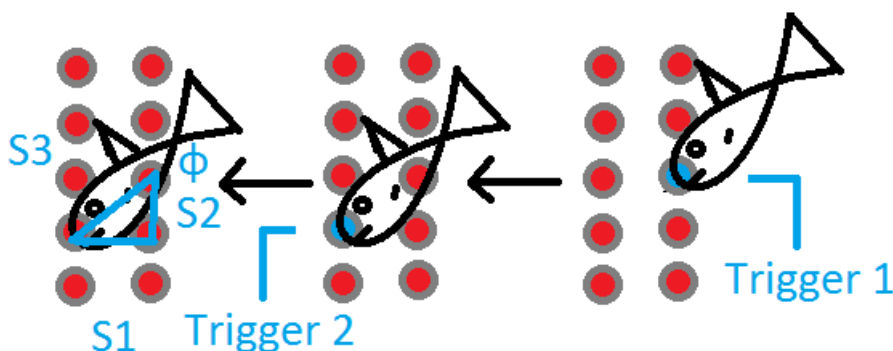
$$v = s/t \quad (2)$$

Met de snelheid van de vis (als v) en hoe lang de vis voor sensor reeks H^1 óf H^2 heeft gestaan (als t), kan worden bepaald wat de lengte van de vis (als s) is met vergelijking (3).

$$s = v * t \quad (3)$$

2.2.2 Schuin zwemmende vis

Voor de schuin zwemmende vis gaat het bepalen van de lengte, breedte en hoogte anders dan voor de recht zwemmende vis. Het detecteren van schuin zwemmende vissen gaat als beschreven in Figuur 3. Om te beslissen of een vis schuin zwemt wordt er gekeken naar de eerste sensor die wordt geblokkeerd van de eerste verticale rij en de eerste sensor die wordt geblokkeerd van de tweede verticale rij. Indien beide eerst geblokkeerde sensoren niet op dezelfde hoogte zitten, zwemt de vis schuin.



Figuur 3. Het detecteren van een schuin zwemmende vis en berekenen van de lengte en hoogte. De triggers zijn de eerste punten waar de vis langs komt. Aan de hand van de eerste punten is te zien of de vis schuin zwemt.

Lengte bepaling

Na het detecteren van een schuin zwemmende vis moet de lengte van de vis worden berekend. Eerst wordt de afstand die de vis heeft afgelegd berekend. Dit wordt gedaan met de vergelijking (4) (Pythagoras) en de volgende twee variabelen:

1. S1, de vaste afstand tussen de twee verticale rijen aan sensoren
2. S2, het hoogteverschil tussen de eerste geblokkeerde sensor van de eerste verticale rij en de eerste geblokkeerde sensor van de tweede verticale rij.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4)$$

Na het berekenen van S3 wordt de snelheid van de vis (als v) berekend met de afgelegde afstand S3 (als s), het tijdsverschil tussen het blokkeren van de eerste sensor van de eerste verticale rij en de eerste sensor van de tweede verticale rij (als t) en vergelijking (2).

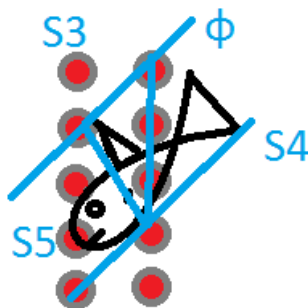
Met de snelheid van de vis (als v), hoe lang de vis voor sensor reeks H¹ óf H² heeft gestaan (als t) en vergelijking (3) kan de lengte van de vis (als s) worden bepaald.

Breedte en hoogte

Ook moet de breedte en hoogte van de schuin zwemmende vis worden berekend. De hoek φ (te zien in Figuur 3 en Figuur 4) moet (in graden) worden berekend met vergelijking (5) en S1 (als a) en S2 (als b).

$$\varphi = \tan^{-1}(a/b) * 180/\pi \quad (5)$$

Met het aantal verticale sensoren die zijn geblokkeerd van reeks H¹ of H² (als n), de afstand tussen de lasers (als y) en vergelijking (1) kan worden berekend wat S4 (als x) is.



Figuur 4. Met hoek φ wordt de hoogte berekend.

Voor het berekenen van de hoogte van de vis moet S5 (zie Figuur 4) worden berekend. S5 (als c) moet worden berekend met S3 (als a), S4 (als b), hoek φ en vergelijking (6).

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \varphi} \quad (6)$$

Vergelijking (6) is de cosinusregel herschreven. Hiermee is de hoogte van de vis bepaald.

Het berekenen van de breedte van de vis is hetzelfde als voor de recht zwemmende vis. Daarbij wordt dus gekeken naar de meest rechtse en meest linkse laser die de vis heeft geblokkeerd. Met vergelijking (1), het aantal lasers dat de vis heeft geblokkeerd (als n) en de vaste afstand tussen elke laser (als y) kan de breedte van de vis (als x) worden bepaald.

In de 2^e flowchart van bijlage I is te zien hoe dit in het systeem werkt.

3. Methoden

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden zal ten eerste worden onderzocht of het mogelijk is vismigratie te meten met bestaande technologie. Ten tweede zal ook worden gekeken naar wat de meest geschikte oplossingen zijn.

Om antwoord te vinden op de onderzoeksvraag zullen de volgende onderzoeksmethodes gebruikt worden:

- Literatuuronderzoek
- Experimenteel onderzoek
- Prototyping
- Interviews
- Exploratief onderzoek

3.1 Literatuuronderzoek

Door een literatuuronderzoek te doen valt te ontdekken hoe ver de technologie is en of het mogelijk is om hardware technisch gezien het beoogde resultaat te behalen. Het literatuuronderzoek zal worden gedaan door onderzoek te doen naar gerelateerde wetenschappelijke artikelen.

3.2 Experimenteel onderzoek

Door relevante bestaande en innovatieve oplossingen te testen, kan men bepalen wat het meest geschikt is en waarom.

3.3 Prototyping

Door een prototype te maken is er een eindproduct dat grondig kan worden getest om te zien waar nog verbeteringen nodig zijn.

3.4 Interviews

Door experts in het vakgebied te interviewen valt veel informatie te winnen. Meestal valt uit een interview informatie te halen die in de literatuur (nog) niet te vinden is.

3.5 Exploratief onderzoek

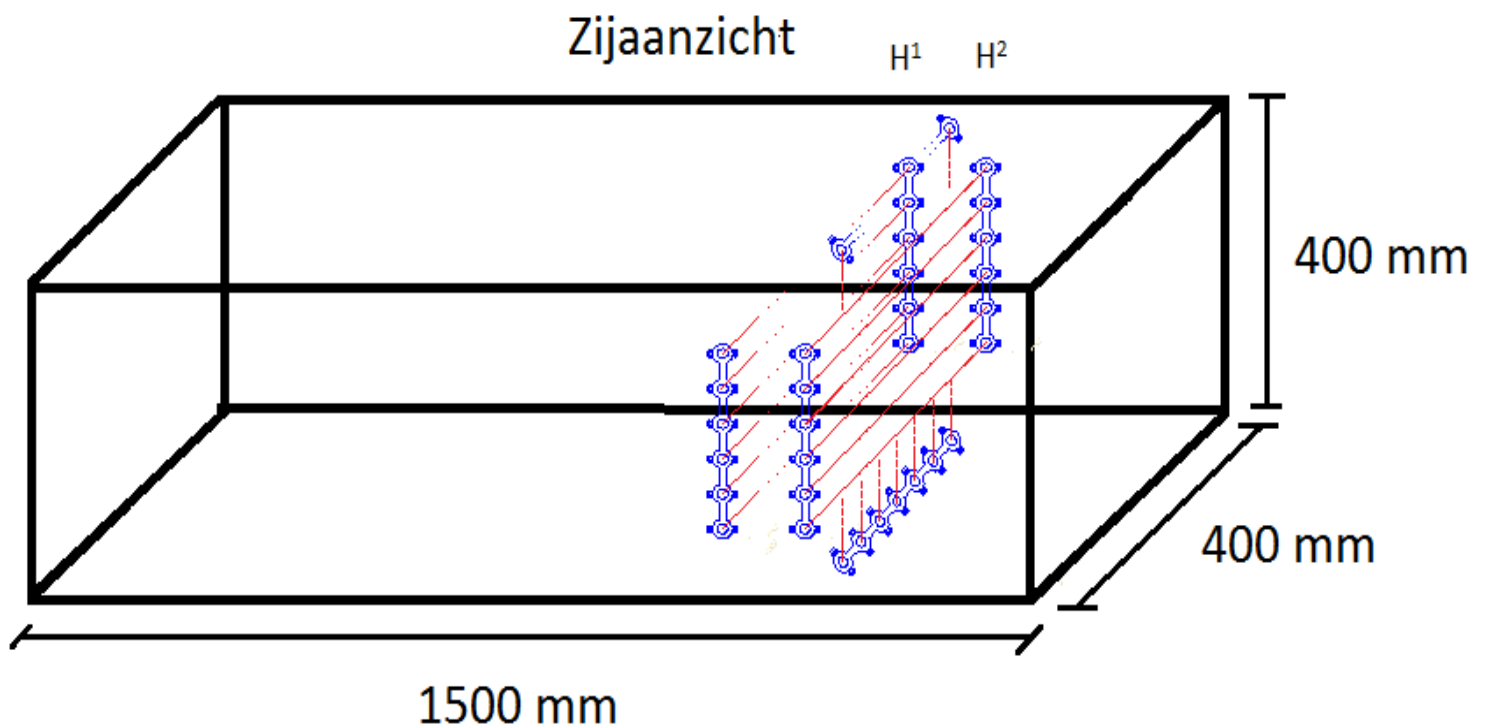
Met exploratief onderzoek kan worden gekeken wat het resultaat is van de geadviseerde oplossing en het prototype. Met nadruk op details die niet uit andere onderzoeksmethoden zijn gebleken. Door tijdens het prototype gebruik te maken van nieuwe methoden en oplossingen wordt er exploratief onderzocht wat er mogelijk is.

3.6 Testopstelling & prototype

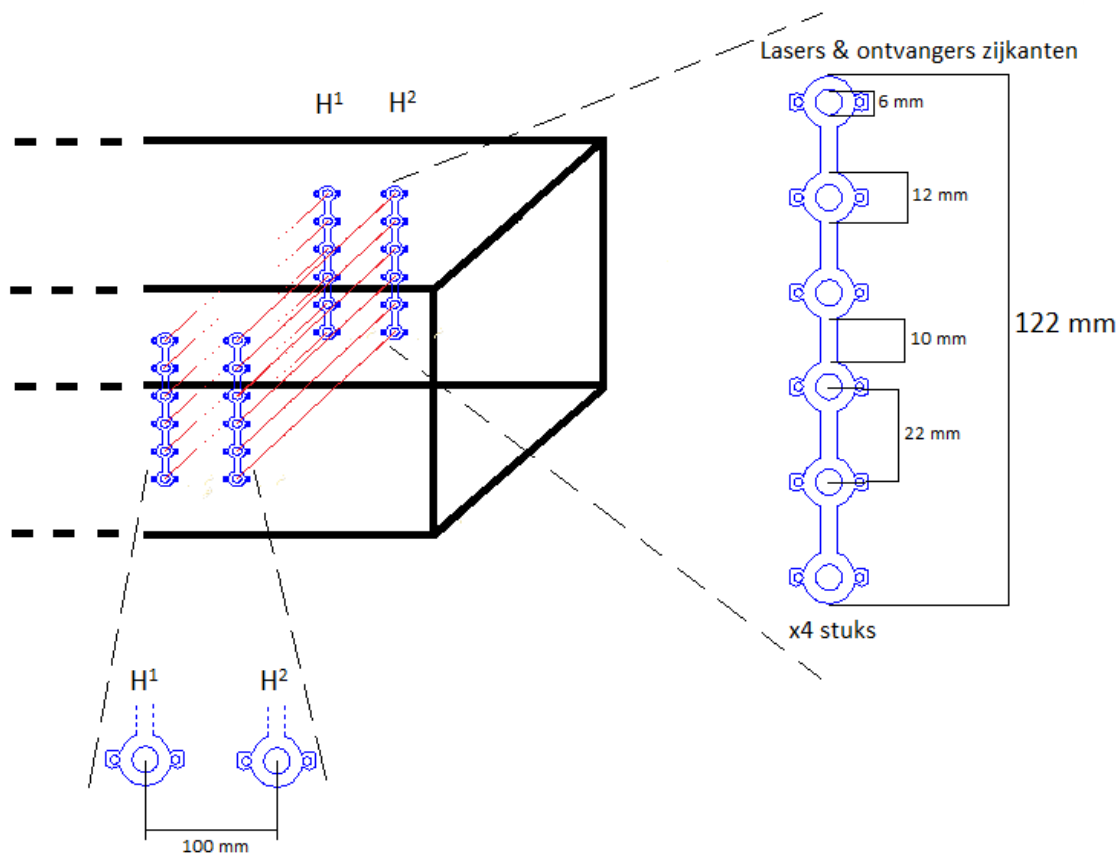
3.6.1 Afmetingen testopstelling & prototype

De testopstelling waarmee het prototype getest zal worden is afgebeeld in Figuur 5. In de testopstelling is te zien hoe de lasers en ontvangers zijn geplaatst. Ten eerste zijn er de lasers en ontvangers van reeks H^1 , deze lasers en ontvangers bevinden zich aan beide zijanten van het aquarium. Iets verder in de lengte van het aquarium bevindt zich reeks H^2 , deze reeks bevindt zich op dezelfde hoogte en breedte als reeks H^1 en heeft ook dezelfde afmetingen qua vormgeving. Meer informatie over de vorm, afmeting en plaatsing van de lasers en ontvangers is te vinden in Figuur 6 en Figuur 7.

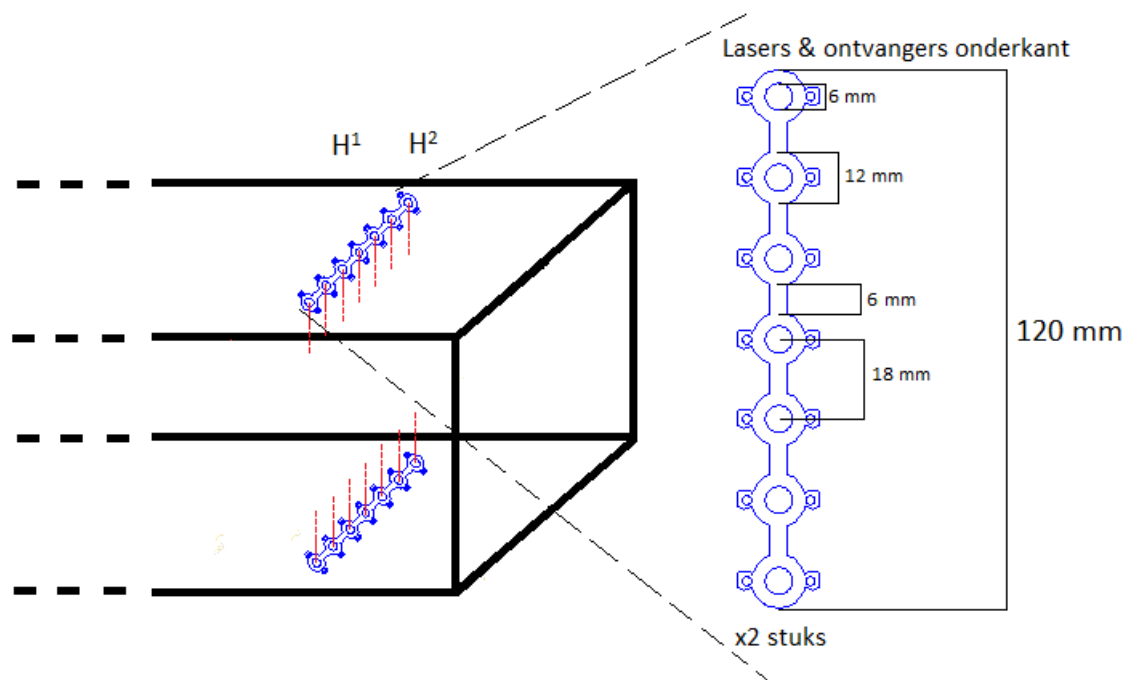
Ten derde zijn er de lasers en ontvangers aan de onder- en bovenkant van het aquarium. Deze lasers en ontvangers zitten op dezelfde lengte als reeks H^2 . In bijlage XVI zijn er foto's van de opstelling waarin is te zien hoe de hardware is opgezet.



Figuur 5. Het zijaanzicht van de testopstelling, een aquarium van 150x40x40 (LxBxH) centimeter. Hier is te zien lasers en ontvangers aan de boven- en onderkant van het aquarium zijn. Ook zijn er twee rijen aan lasers en ontvangers aan de zijanten van het aquarium, de reeksen H^1 en H^2 .



Figuur 6. Het design van de lasers en ontvangers aan de zijkant van de testopstelling.



Figuur 7. Het design van de lasers en ontvangers aan de onder- en bovenkant van de testopstelling.

3.6.2 Design lasers behuizing

Het design en de afstanden tussen de lasers/ontvangers zijn gebaseerd op de kleinste vis die gemeten moet worden. Door een tekort aan informatie en bronnen over afmetingen van echte vissen is besloten om het design te baseren op het testobject beschreven in bijlage V, in plaats van een echte vis. Daarnaast is dit deel van het prototype afhankelijk van waar het prototype geplaatst zal worden en welke vissen er zich in dat gebied bevinden. De behuizing van de lasers moet daarom elke keer op maat gemaakt worden.

In Figuur 8 is te zien wat de design keuzes precies inhouden. Een groen blokje moet een laser voorstellen. De afstand tussen de lasers heet de resolutie en bepaalt hoe klein de kleinste detecteerbare vis mag zijn en hoeveel detail er te zien is in de gemeten lengtes, breedtes en hoogtes. Het geheel aan lasers is de field of view en bepaalt hoe groot de grootste vis mag zijn. Een grote field of view met een kleine afstand tussen de sensoren is het meest handig voor het meten van vissen maar resulteert wel in een verhoogd energieverbruik door meer lasers.

Het testobject beschreven in bijlage 5 is als basis gebruikt voor het design van de verticale reeksen aan lasers, beschreven in Figuur 6 en Figuur 7. Hierbij is de regel dat de resolutie klein genoeg is, zodat het testobject minimaal 2 lasers blokkeert van alle rijen aan lasers, verticaal en horizontaal. De resolutie wordt berekend met vergelijking (7), waarbij R staat voor de minimale afstand tussen de lasers (resolutie) in centimeters, A voor de afmeting van de vis in centimeters (voor de bijbehorende dimensie van de vis) en S voor het aantal lasers die de vis moet blokkeren (waarbij S altijd groter is dan 2). Tot slot wordt er ook nog een marge van 10% toegepast.

$$R = \frac{A * 0,9}{S - 1} \quad (7)$$

Met de afmetingen van het testobject in bijlage V en waarbij $S = 2$, betekent dit dus een resolutie (lees: afstand tussen twee lasers) van maximaal 4,4 centimeter voor de hoogte, 3,0 centimeter voor de breedte en 11,8 centimeter voor de lengte.

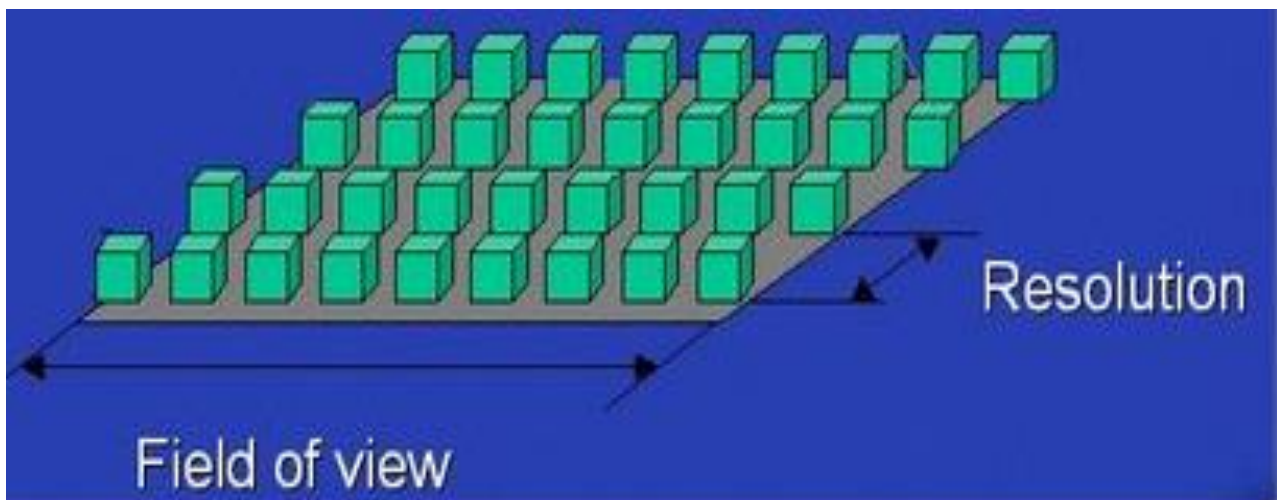
De werkelijke afmetingen van de resolutie liggen tussen de genoemde resoluties en de resoluties berekend waarbij $S = 3$. De werkelijke resoluties liggen dus tussen de 2,2 en 4,4 centimeter voor de hoogte, 1,5 en 3,0 centimeter voor de breedte en 5,9 en 11,8 centimeter voor de lengte.

Het totaal aantal lasers of ontvangers dat nodig is, is te berekenen met vergelijking (8) waarbij L staat voor aantal lasers, F voor de field of view in centimeters en R voor de resolutie in centimeters.

$$L = \left(\frac{F}{R} \right) \quad (8)$$

Bij dit design is een field of view van ongeveer 12 centimeter als 'genoeg' aangenomen om het prototype te kunnen testen en om nog wat speelruimte over te houden bij het testen. Daarnaast is dit ook klein genoeg met een minimaal aantal lasers zodat het bouwen van het prototype snel klaar is en zodat er snel getest kan worden. Uiteraard is normaal gesproken de field of view gelijk aan de volledige hoogte en breedte van de vispassage.

Een field of view van ongeveer 12 centimeter betekent dat het aantal lasers voor de verticale reeks uitkomt op 6 lasers en voor de horizontale reeks op 7 lasers (waarbij naar boven is afgerond bij het berekenen). Het aantal lasers voor het berekenen van de lengte van een vis blijft altijd op 2, dit is genoeg.



Figuur 8. Een groen blokje moet een laser voorstellen. De afstand tussen de lasers heet de resolutie en bepaalt hoe klein de kleinst detecteerbare vis mag zijn en hoeveel detail er te zien is in de gemeten lengtes, breedtes en hoogtes. Het geheel aan lasers is de field of view en bepaalt hoe groot de grootste vis mag zijn.

3.6.3 Hardware prototype

Om het prototype te kunnen realiseren is gebruik gemaakt van meerdere hardware. In bijlage XIV is een schematische tekening van de hardware te vinden. Per gebruikte hardware is de datasheet er ook bij gezet als referentie. In bijlage XVI zijn foto's te vinden van de hardware.

Li-ion batterij 18650 13,6 Ah @ 3,7v [8]

Deze batterijen voeden de lasers en multiplexers. Vier van deze batterijen zijn samengevoegd en zorgen voor 13,6 Ah aan stroom (3,4 Ah per batterij). Deze batterijen hebben een nominale voltage van 3,7 volt

Li-ion batterij 1200 mAh @ 3,7v

Standaard Li-ion accu die de microcontroller van stroom voorziet. Deze batterijen heeft een nominale voltage van 3,7 volt

Pololu 3,3V Step-Up/Step-Down Voltage Regulator S7V8F3 [9]

Deze voltage regulator heeft een efficiëntie van 90% en zet het ongereguleerde voltage van de li-ion batterijen om in een stabiele 3,3 volt.

Multiplexer CD74HC4067 [10]

Een tweetal multiplexers zorgt ervoor dat er genoeg pins zijn om alle Light Dependent Resistor (LDR) sensoren uit te kunnen lezen.

Weerstanden

Standaard weerstanden voor de lasers, LDR en MOSFET transistors.

MOSFET IRLZ34N [11]

Meerdere MOSFET transistors zorgen ervoor dat groepen lasers direct stroom kunnen ontvangen van de pololu voltage regulator.

Microcontroller Sodaq LoRa One v1 [12]

De microcontroller stuurt de multiplexers aan om LDR data uit te lezen en verstuurt vis data via de Low Power Long Range (LoRa) chip op de microcontroller. Ook stuurt de microcontroller de groepen lasers aan via de MOSFET transistors.

Adafruit photo transistor light sensor [13] (LDR)

Een serie aan en 'photo transistor light' sensors 'kijken' of de lasers zijn geblokkeerd of niet. Deze LDR sensoren zijn speciaal gekozen om de reactietijd van 2 micro seconden. Vergeleken met een normale LDR reageren deze photo transistor light sensoren veel sneller op de overgang van licht naar donker of andersom.

Lasers [6]

Een serie aan lasers gericht op de LDR sensoren aan de overkant van de lasers.

3D geprinte behuizing

Om de lasers en LDR sensoren vast te maken is een op maat gemaakte en 3D geprinte behuizing gebruikt (beschreven in hoofdstuk 3.6).

3.7 Database, Internet of Things & limieten prototype

In dit hoofdstuk zal worden uitgelegd hoe het Internet of Things (IoT) gedeelte van het prototype werkt.

3.7.1 Van node tot lokale database

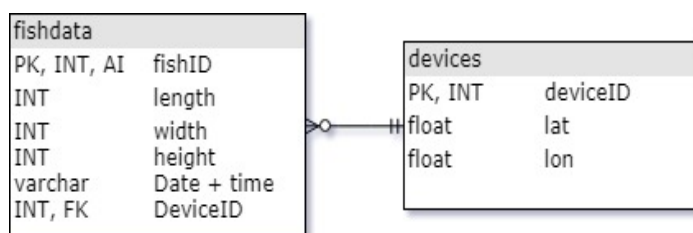
In de eerste flowchart in bijlage I is te zien hoe data vanaf het prototype (de node) tot de database wordt verstuurd. Data die de node verzendt komt met het communicatieprotocol LoRa via het backend van TheThingsNetwork in de database van TheThingsNetwork. Op lokale servers draait er een Java bestand die alle data van deze database ophaalt. De data wordt daarna opgeslagen in een tijdelijk bestand genaamd log.txt.

Een ander Java bestand die ook op de lokale servers draait, kijkt of er een connectie is met de lokale database. Indien er een connectie is, leest dit Java bestand de log.txt uit en verzendt het de data die hierin staat naar de lokale database. Hierna wacht de code ook op nieuwe data die binnenkomt om deze data in realtime op de database te zetten.

3.7.2 Database design

In figuur 9 is te zien hoe de database is ingericht. Deze database is gebaseerd op de 3 bytes (lengte, breedte en hoogte van de vis, zie bijlage III) die binnenkomen vanuit het LoRa bericht. Uit het LoRa bericht wordt ook het device ID van de vismigratie meter gehaald.

In de tabel fishdata wordt automatisch een fish ID gekoppeld aan de lengte, breedte en hoogte die uit het LoRa bericht is gehaald. Daarnaast krijgt de data ook een datum mee met de tijd waarop de data in de database is gezet. Het device ID waar de data aan gekoppeld is geeft aan welke vismigratie meter de data heeft verstuurd. In een andere database tabel is de device ID gekoppeld aan een locatie. Een overzichtelijke flowchart met de flow van de data is te vinden in bijlage I.



Figuur 9. De database tabellen.

3.7.3 Limieten prototype

In bijlage III staat beschreven hoeveel vissen per seconde het prototype gemiddeld kan verwerken. Daarnaast staat ook vermeld hoeveel vissen er in piektijd verwerkt kunnen worden. Omdat het communicatieprotocol de zwakste schakel is in het systeem, zijn alle beperkingen verbonden aan het communicatieprotocol (restricties in het protocol beperken het gehele prototype). Ook staat in bijlage III uitgelegd hoe data het best verstuurd kan worden met het Internet of Things en wat het meest optimaal is.

4. Resultaten

4.1 Inleiding

Er zijn veel meetmethoden beschikbaar voor het meten van vismigratie. In dit hoofdstuk zal worden opgesomd en uitgelegd welke methodes er zijn. Ook wordt er een onderscheid gemaakt tussen intrusieve, non-intrusieve, autonome en niet-autonome meetmethodes. Verder worden in dit hoofdstuk alle beschikbare en relevante sensoren, microcontrollers en IoT communicatiemethodes vergeleken voor het meten van vismigratie. Tot slot wordt het onderwerp energiezuinigheid behandeld.

4.2 Vismigratie detectie en sensoren

In 4.2 zullen de volgende 2 vragen worden beantwoord.

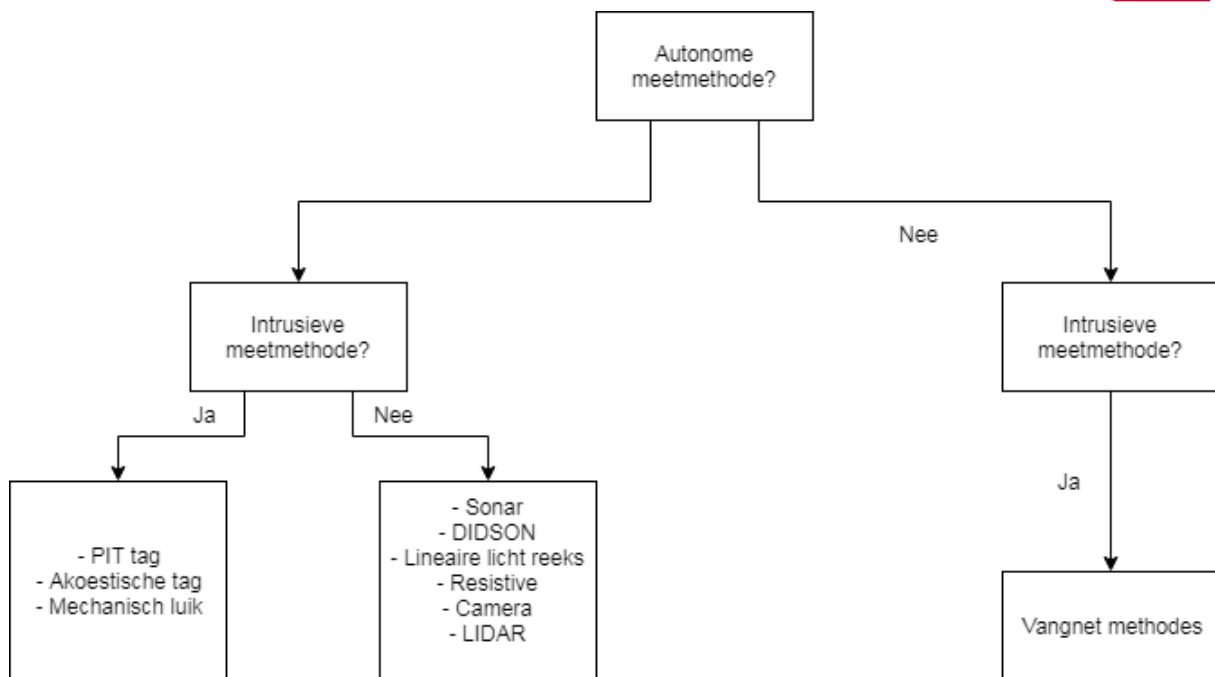
1. Hoe kan vismigratie worden gemeten?
2. Welke relevante sensoren bestaan er voor het meten van vismigratie?

4.2.1 Manieren om vismigratie te meten

In Figuur 10 is een opsomming te zien van alle meetmethodes. Niet alle methodes zijn toepasbaar op alle vissoorten. Sommige vissen zijn te klein of te kwetsbaar om deze methodes op toe te passen. Voor deze vissoorten zijn andere, specifieke methodes nodig om deze te kunnen detecteren en tellen, deze worden niet beschreven in dit hoofdstuk.

Hieronder is een opsomming te zien van alle beschikbare en relevante meetmethodes. De meetmethodes zijn gesorteerd op basis van meettechniek.

1. Akoestisch:
 - a. Sonar
 - b. DIDSON
 - c. Akoestische tag
2. Optisch:
 - a. Camera
 - b. Lineaire licht reeks
 - c. LIDAR
3. Tagging/telemetry
 - a. PIT tag
4. Resistive
5. Mechanisch luik
6. Vangnet methodes



Figuur 10. Een flowchart met alle meetmethodes.

4.2.1.1 Akoestisch

Dit deel van de meetmethoden gaat over het meten met akoestische methodes.

Sonar

Sonar werkt door middel van het weerkaatsen van geluid. Door een geluidspuls uit te zenden met SONAR valt te zien of er objecten aanwezig zijn. Indien er vissen aanwezig zijn zal de geluidspuls worden weerkaatst en komt de puls weer terecht bij de sensor. Aan de hand van hoeveel tijd is verstreken kan berekend worden hoe ver een vis van de sonar af zit. Door te kijken naar het tijdsverschil en het afstandsverschil tussen 2 metingen, kan de snelheid van de vis worden afgeleid. Daarnaast kan er ook geschat worden wat de lengte van een vis is aan de hand van de sterkte van de ontvangen echo's [14].

Als 2 vissen dichtbij elkaar zwemmen kan dat problemen veroorzaken met de detectie van de individuele vissen omdat dan de echo's van beide vissen door elkaar heen gaan. Daarnaast ondervindt sonar ook last van ruis (luchtbubbels in het water) en echo's die van andere objecten afkomen.

Voordelen:

- Werkt ook in troebel water
- Werkt volledig autonoom
- Heeft geen belichting nodig
- Belemmert de vissen niet

Nadelen:

- Heeft last van ruis door luchtbubbels
- Vissen die dicht bij elkaar staan kunnen niet uit elkaar gehouden worden en zijn dus te zien als 1 grote 'klodder'

DIDSON

De DIDSON is een Dual-frequency identification sonar die wordt geproduceerd door het bedrijf Sound metrics. De DIDSON werkt door het versturen en ontvangen van ultrasone geluidspulsen door een rij aan 96 sonar die werken op 1.8 MHz of 48 sonar die werken op 1.0 MHz. De DIDSON kan op 1.8MHz tot 12m objecten opnemen op hoge resolutie en op 1.0 MHz tot 40m op een lagere resolutie [15].

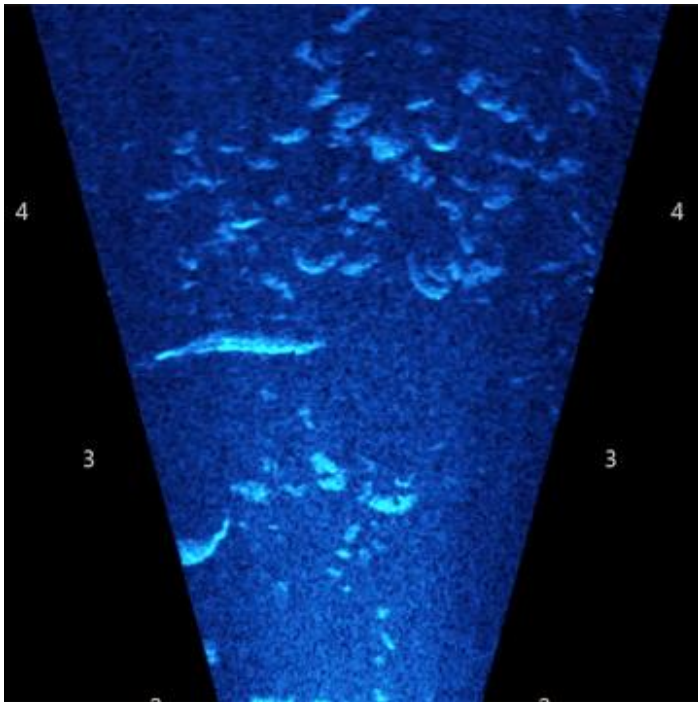
Met de DIDSON is het mogelijk om hoge kwaliteit beelden te maken, zelfs in troebel water. De DIDSON verbruikt 30 Watt. In Figuur 11 is een sonar beeld te zien dat is gemaakt met de DIDSON. Naast het autonoom opnemen heeft de DIDSON ook software om automatisch het aantal vissen te tellen, vissen te volgen en de lengte van de vissen te schatten. Verder maakt de DIDSON 5 tot 21 frames per seconde, afhankelijk van de gekozen frequentie en het maximale bereik.

Voordelen:

- Kan vissen detecteren in troebel water
- Werkt volledig autonoom
- Heeft geen belichting nodig voor beeldopnames
- Belemmert de vissen niet

Nadelen:

- Heeft last van ruis door luchtbubbels
- Vissen die dicht bij elkaar staan kunnen niet uit elkaar gehouden worden en zijn dus te zien als 1 grote 'klodder'
- Verbruikt 30 Watt
- De DIDSON is zeer duur (>€60.000) [16]



Figuur 11 [51]. Het beeld dat een DIDSON heeft gemaakt. In de afbeelding zijn er duidelijk vissen te zien. Deze vissen zijn langer dan 30cm, vissen kleiner dan 10cm zijn detecteerbaar maar niet duidelijk af te beelden [52].

Akoestische tag

Akoestische tags werken door het verzenden van een sonarpuls vanuit de vis. Indien er in het water een receiver staat, wordt de sonar puls ontvangen. Door het verzenden van meerdere pulsen per seconde wordt een unieke vis ID en de locatie van de vis doorgegeven aan de receiver. Aan de hand van deze vis ID en locatie is te zien waar en wanneer welke vis aanwezig is. Ook kan men met akoestische tags de vis driedimensionaal volgen.

Voordelen:

- Werkt in principe overal indien er ook een receiver in het water staat
- De tag gaat lang mee en verbruikt weinig energie [17] [18] [19]

Nadelen:

- Sensor is groot en past mogelijk moeilijk in kleinere vissen
- De PIT tag moet chirurgisch in de vis worden gezet.
- Elke vis heeft een tag nodig, anders wordt de vis niet gedetecteerd.

4.2.1.2 Optisch

Optische meetmethodes zijn meetmethodes waarbij door middel van het reflecteren of blokkeren van licht door de vis, metingen worden verricht. Hierbij kan het dan gaan om een natuurlijke lichtbron als de zon of om een synthetische lichtbron. Indien er een synthetische lichtbron aanwezig is kunnen er ook metingen worden verricht in de nacht.

Camera & edge computing

Met een camera is het mogelijk om in realtime opnames te maken van de vissen die langs de camera zwemmen. Een camera ten alle tijden een lichtbron nodig, zodat het ook 's nachts vismetingen kan verrichten. Dit heeft als gevolg dat een camera veel energie verbruikt. Zodra een camera beeldopnames heeft van vissen kunnen deze beeldopnames opgeslagen en verwerkt worden door een edge computer. Deze kan dan bepalen wat de lengtes van de vissen zijn en welke soorten vissen aanwezig zijn.

Omdat een camera licht nodig heeft voor het zicht kan het niet ver zien in troebel water. Dit komt doordat vervuiling in het water het licht blokkeert waardoor het licht niet ver kan reiken.

Voordelen:

- Kan vissoorten en lengtes nauwkeurig bepalen
- Op de beeldopnames zijn vissen duidelijk te zien, ook voor personeel

Nadelen:

- Het constant maken van beelden kost veel energie [20] [21]
- Het verwerken van de beelden door een edge computer kost veel energie [20] [21]
- Een edge computer is duur [20] [21]
- Werkt matig in troebel water
- Erg fragiel, zonder lichtbron zijn er geen goede beeldopnames

Lineaire licht reeks

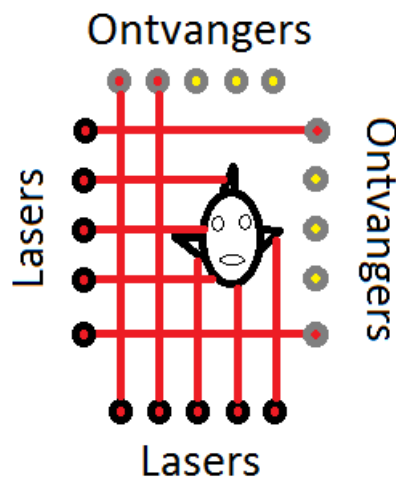
Twee rijen aan lampen/lasers worden verticaal en naast elkaar geplaatst. Ook worden er aan de overkant twee rijen aan licht ontvangers geplaatst. Zodra de vis langs de lasers komt wordt het licht geblokkeerd en komt het niet meer bij de ontvangers. Het blokkeren van de lichtbron werkt als een trigger waardoor de tijd wordt bijgehouden, in Figuur 12 is te zien hoe dit werkt. Door de afstand tussen de twee rijen en het tijdsverschil tussen de triggers van beide rijen is de snelheid van de vis te berekenen. Daarna kan men met de snelheid van de vis en aan de hand van hoe lang lasers waren geblokkeerd, de lengte van de vis berekenen. In Figuur 13 is te zien hoe dit werkt.

Voordelen:

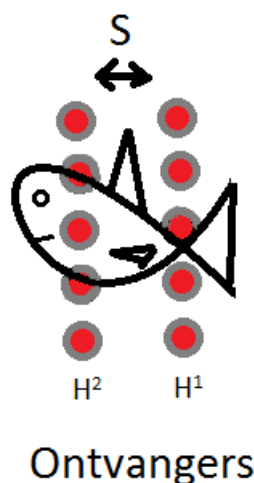
- Zeer energiezuinig, 1mW energieverbruik per laser [6]
- Zeer goedkoop [6]
- Er wordt zeer weinig data gegenereerd. Alleen de timings van het blokkeren en weer deblokkeren van de laserstralen

Nadelen:

- Weinig info uit te lezen indien er weinig lasers worden gebruikt
- Ondervindt last van troebel water
- Reflectie van laserlicht door de vis kan bij een verkeerde ontvanger terechtkomen. Dit kan ruis veroorzaken
- Sommige vissen geven zelf licht af of zijn doorzichtig. Dit veroorzaakt ook ruis



Figuur 12. Hier is te zien hoe een vis wordt gedetecteerd. Zodra de vis voor de lichtbron staat kunnen de ontvangers geen licht meer zien. Dit is een trigger en zorgt ervoor dat de tijd wordt bijgehouden waarop de lasers werden geblokkeerd.



Figuur 13. De snelheid van de vis wordt bepaald met de gegeven vaste afstand S en het verschil in starttijd van triggers tussen ontvanger reeksen H^1 en H^2 . Met deze snelheid en tijdsduur van de blokkade van reeks H^1 of H^2 kan de lengte van de vis worden bepaald.

LIDAR

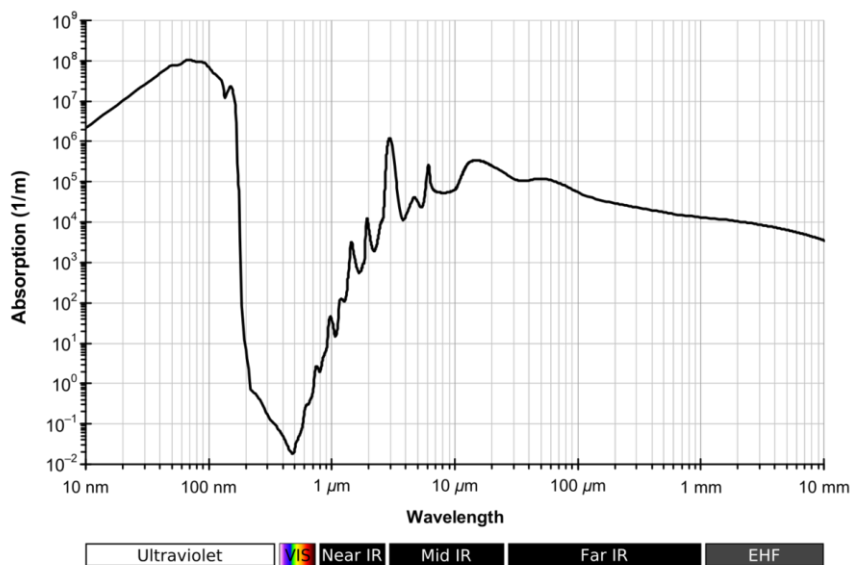
LIDAR werkt door middel van het uitzenden van laser licht. Dit licht wordt gereflecteerd door objecten onderwater. De LIDAR heeft ook een lichtsensor die de reflectie opvangt en analyseert. Uit de hoeveelheid tijd die is verstreken van uitzenden tot opvang van het licht is te zien of er vissen aanwezig zijn en kan er een schatting worden gemaakt hoe diep de vissen zitten.

Voordelen:

- Kan in één keer een groot gebied belichten en analyseren
- Werkt op 532nm golflengte. In Figuur 14 is te zien dat 532nm licht veel beter door water kan

Nadelen:

- Verbruikt veel energie [22]
- Niet alle lichtsoorten gaan even ver door het water. Dit is beschreven in Figuur 14
- LIDAR ondervindt last van troebel water en zonlicht



Figuur 14 [23]. De absorptie van verschillende soorten licht in water. Zichtbaar paars, violet, blauw en rood zijn de kleuren die het langst door water heen kunnen. Ultraviolet en infrarood kunnen het minst goed door water.

4.2.1.3 Tagging

Meetmethodes met tags zijn methodes waarbij er een apparaat chirurgisch in de vis wordt gestopt. Dit apparaat bevat de unieke ID van de vis. Zodra de vis langs een meetstation komt is te zien welke ID de vis heeft, waar de vis langskwam en hoe laat. De PIT tag en akoestische tag (zie hoofdstuk 4.2.1.1) werken beiden op deze manier.

PIT tag

PIT tags zijn tags die werken met de Radio Frequency Identification (RFID) Technologie. Deze tags worden chirurgisch in de vis geplaatst. Zodra de vis door een transceiver (een PIT tag lezer) gaat, laad de PIT tag zich op met een minuscule hoeveelheid energie. Deze energie wordt dan door de PIT tag gebruikt om de unieke vis ID terug te zenden naar de transceiver.

Voordelen:

- De PIT tag in de vis is zeer energiezuinig omdat het alleen werkt met energie die het van de transceiver verkrijgt
- PIT tags zijn robuust en hebben weinig last van ruis [24]

Nadelen:

- De transceiver is niet energiezuinig [25]
- De PIT tag moet chirurgisch in de vis worden gezet
- Elke vis heeft een tag nodig, anders wordt de vis niet gedetecteerd
- Vissen moeten door een nauw transceiver station heen, anders worden ze niet gedetecteerd [24]

4.2.1.4 Resistive

Een resistive counter werkt door het verschil in weerstand van water en een vis te meten. Zodra een vis langs de sensor komt passeert het onder andere meerdere elektroden in het water. Dit zorgt ervoor dat er een andere weerstand ontstaat tussen de elektroden dan normaal omdat de weerstand van een vis anders is dan de weerstand van het water. Met 3 elektroden in het water kan men ook de lengte en zwemrichting van de vis bepalen. Een resistive counter als de 2100C Logie Fish Counter van het bedrijf Aquantic werkt volgens dit principe [26].

Voordelen:

- Belemmerd de vissen niet
- Werkt ook in het donker

Nadelen:

- Vereist veel stroom [27]
- Is best duur [26]
- Meerdere vissen die tegelijk langs zwemmen worden gezien als 1 vis
- Vissoorten met een vergelijkbare weerstand als water zijn moeilijk te meten

4.2.1.5 Mechanisch luik

Bij deze methode wordt er gebruik gemaakt van een luik die de vis opent door erdoorheen te zwemmen. Door de snelheid waarmee het luik is geopend te analyseren is te zien of het object dat door het luik heen zwemt een vis of een levenloos object is. Deze methode heeft nog geen praktische uitvoering en is dus puur theoretisch en nog niet getest.

Voordelen:

- Een luik in het water is goedkoop om te maken en plaatsen
- De sensor meet alleen een verandering in de positie van het luik. Dit is te doen zonder al te veel energiekosten
- Werkt ook in het donker

Nadelen:

- Het luik belemmert de vissen
- Kan veel onderhoud vereisen als de componenten niet lang meegaan
- Vissoort herkenning is niet mogelijk
- Meerdere vissen die tegelijk langs zwemmen worden gezien als 1 vis

4.2.1.6 Vangnet methodes

In dit deel worden vangnet methodes in het algemeen besproken. Er zal een korte opsomming worden gedaan van de voor- en nadelen van vangnet methodes. Er zal niet worden ingegaan op de uiterste details per methode. Er zijn veel verschillende vangnet methodes beschikbaar. Aan de hand van de omgeving en situatie kan men bepalen welke methode het beste uitkomt.

Voordelen:

- Het meten kan overal plaatsvinden, ook buiten vispassages
- Men kan in één keer een groot gebied meten

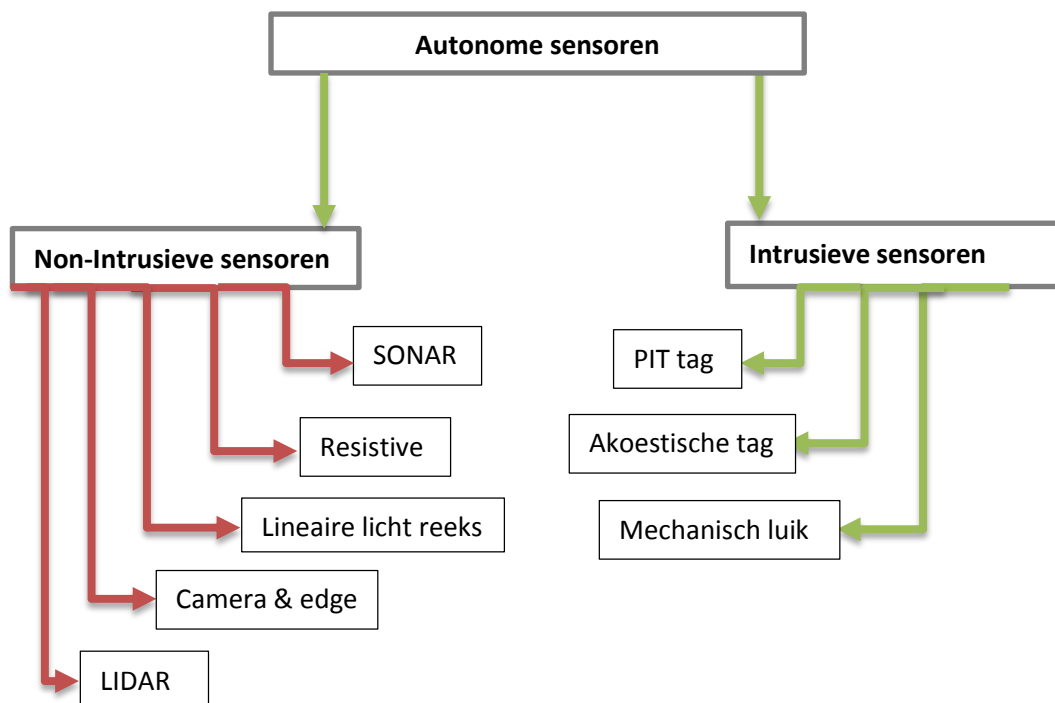
Nadelen:

- Het tellen van de vissen kan niet autonoom worden uitgevoerd
- Vangnet methodes belemmeren de vissen volledig
- Kost veel geld door personeel dat nodig is
- Kan alleen worden uitgevoerd met (dag)licht
- Het vangen van vissen met vangnet methodes kan zorgen voor sterfte van meerdere vissen en andere negatieve effecten op het milieu [28]

4.2.2 Vis detectie sensoren

Om te kijken welke sensoren het meest geschikt zijn moet eerst worden gekeken naar de omstandigheden waarin de sensoren gebruikt gaan worden en de eisen die zijn gesteld. In bijlage II is uitgelegd welke eigenschappen zijn vergeleken en waarom.

Deze eigenschappen worden als rode draad meegenomen in de vergelijking van alle sensoren en meetmethodes. Om vissen te detecteren zijn er meerdere mogelijke manieren en sensoren. Alle geschikte methoden om vismigratie te detecteren worden opgesomd in Figuur 15 en vergeleken in Tabel 1.



Figuur 15. Flowchart met alle mogelijke en relevante manieren om autonoom vismigratie te meten.

Tabel 1. Een vergelijking van alle sensoren.

Eigenschap	SONAR	PIT tag	Akoestische tag	LIDAR	Laser	Resistive	Mechanisch luik	Camera & edge computing
Energieverbruik	0,2 - 3,2W [43] [42] [44] [45] [46]	24-112W [25]	255 - 3000 dagen & 450 dagen (receiver) [17] [18] [19]	>5 W [22]	<5 mW [6]	19,2 W [54]	Geen, genereert stroom.	50 – 166 W [20] [21]
Prijs	€199-460 [57] [58]	€1,50 + €570 voor reader [63] [64]	N/A **	Hoog [55]	€1 [6]	€6300 [26]	<€50	>10.000 [20] [21]
Vis identificatie mogelijkheid	Hoog [59] [60]	Hoog [61]	Hoog [56]	Hoog [53]	Laag	Hoog [67]	Laag	Zeer Hoog [20] [21]
Waterdichtheid/ onderwater geschiktheid	Zeer Hoog [58]	Hoog [61] [62]	Hoog [56]	Hoog [53]	Laag [6]	Hoog [67]	Laag	Hoog [20] [21]
Complexiteit plaatsen sensor	Laag [58]	Hoog [62]	Hoog [56]	Laag [53]	Laag	Hoog [67]	Hoog	Hoog [20] [21]
Belemmering vissen	Laag voor zoetwatervissen [69]	Hoog [65]	Hoog [56]	Laag [53]	Laag [53]	Hoog [68]	Hoog	Laag [20] [21]
Max vissen zien per sensor	1	1	1	>1	<1	>1	1	>1
Datakosten (IoT)	Gemiddeld (afstand in cm) [58]	Laag [63]	Gemiddeld [66]	Hoog [53]	Laag (aan/uit)	Gemiddeld [54] [67]	Laag (Per trigger)	Laag * [20] [21]

* Data na verwerking door edge computer

** Prijs alleen beschikbaar na offerte

4.3 IoT communicatiemethodes

In Tabel 2 is een vergelijking te vinden van de meest relevante Internet of Things (IoT) communicatiemethodes. De methodes die in de vergelijking voorkomen hebben als eigenschap gemeen dat ze allemaal gericht zijn op energiezuinigheid. In dit hoofdstuk zal worden uitgelegd wat het verschil is tussen alle methoden. Voor alle voor- en nadelen per communicatiemethode kan Tabel 2 worden geraadpleegd.

4.3.1 LPWAN communicatiemethodes

Onder de Low Power Wide Area Network (LPWAN) communicatiemethodes behoren narrowband, LoRa en Sigfox. Deze protocollen hebben als eigenschap gemeen dat ze de focus hebben op een laag energieverbruik, lage bandbreedte en een hoog zendbereik. Het grootste verschil tussen de protocollen is de mate waarin ze zich richten op de 3 verschillende eigenschappen.

Narrowband

Narrowband is een communicatiemethode die gebruikmaakt van gelicenseerde frequenties en is deel van de Low Power Wide Area Networks (LPWAN) technologieën. Narrowband maakt gebruik van dezelfde frequenties als 3G en 4G. Dit betekent dat er in theorie geen restrictie is op de hoeveelheid berichten die men met narrowband mag uitwisselen. In de praktijk moet men een abonnement afsluiten dat bepaalt hoeveel berichten er mogen verzonden en ontvangen. Daarnaast maakt narrowband gebruik van het bestaande backend en hardware apparatuur voor 3G en 4G. Daardoor heeft de techniek al volledige dekking in Nederland.

Voordelen:

- Betere bandbreedte
- Geen restrictie op het aantal berichten per dag
- Volledige dekking in Nederland

Nadelen:

- Energieverbruik
- Narrowband vereist afname van een abonnement

LoRa

LoRa is een communicatiemethode die gebruik maakt van een ongelicenseerde frequentie en is deel van LPWAN. LoRa maakt gebruik van het 868 MHz frequentie. Hierdoor mag men met LoRa maximaal 1% van de tijd berichten verzenden waarna het 99% van de tijd niks mag doen. Hetzelfde principe geldt voor een LoRa gateway, maar omdat een gateway honderden nodes moet aanspreken is de hoeveelheid dat een gateway mag communiceren verdeeld over het aantal nodes waarmee het communiceert. LoRa heeft meerdere Spreading Factors (SF) waaruit men kan kiezen zodat er een hoger zendbereik, lagere bandbreedte en een hoger energieverbruik gerealiseerd kan worden, of juist het tegenovergestelde een lager zendbereik, meer bandbreedte en een lager energieverbruik.

Daarnaast is LoRa een techniek die nog niet lang bestaat, daardoor zijn er in Nederland maar 2 providers beschikbaar die een LoRa netwerk en backend leveren.

Ten eerste is er TheThingsNetwork [29], een bedrijf dat crowd sourced te werk gaat en zelf geen LoRa gateways heeft opgezet, de LoRa gateways van TheThingsNetwork worden aangeschaft, onderhouden en opgezet door de 'crowd' oftewel iedereen die het bedrijf steunt. Dit betekent dat het LoRa netwerk en dekking afhankelijk zijn van de crowd die een LoRa gateway hebben gekocht en geplaatst. Daardoor heeft het (nog) geen volledige dekking in Nederland.

Ten tweede is er KPN [30]. KPN heeft volledige dekking in Nederland maar vraagt in ruil daarvoor wel een maandelijks bedrag voor het gebruikmaken van dit LoRa netwerk. Daarnaast heeft men naast de 1% restrictie van LoRa ook nog de restrictie van KPN afhankelijk van het afgesloten abonnement.

Voordelen:

- Significant lager energieverbruik
- Hoog zendbereik
- Geen abonnement nodig, alleen een gateway

Nadelen:

- Lage bandbreedte
- Weinig dekking in Nederland of een extra restrictie (afhankelijk van provider)

Sigfox

Sigfox maakt gebruik van een ongelicenseerde frequentie (zelfde frequentie als LoRa) en is deel van LPWAN. Sigfox heeft door het gebruik van het 868 MHz frequentie een restrictie van 1%. Dit betekent dat maximaal 1% van de tijd berichten mogen worden verzonden waarna er 99% van de tijd niks mag worden verzonden. Daarnaast kan er in een sigfox bericht maximaal 12 bytes aan data. Om gebruik te maken van sigfox moet er een abonnement worden afgenomen bij Aerea. Afhankelijk van het afgesloten abonnement is er een extra restrictie bovenop de 1% restrictie.

Voordelen:

- Is het meest energiezuinig & heeft het hoogste zendbereik van alle LPWAN methodes
- Heeft volledige dekking in Nederland

Nadelen:

- Heeft het laagste bandbreedte van alle LPWAN methodes en een bericht bevat maximaal 12 bytes aan data
- Heeft standaard een 1% restrictie en een nog hogere restrictie afhankelijk van de abonnementskeuze

4.3.2 Wifi

Wifi maakt gebruik van een ongelicenseerde frequentie. Om gebruik te maken van wifi is een abonnement nodig. Wifi is een techniek die in principe niet bedoeld is om energiezuinig te zijn. Hierdoor is het energieverbruik van wifi hoger dan die van de LPWAN technologieën. Daarnaast heeft wifi een laag zendbereik met een hoge bandbreedte. Ook is wifi geen veilige optie in verband met andere apparaten die op het netwerk zitten [27].

Om gebruik te maken van wifi moet dan er een abonnement worden afgesloten bij een internetprovider. KPN of Ziggo, de 2 grootste internetproviders van Nederland [31] [32], leveren een netwerk aan kosteloos toegankelijke wifi hotspots waar klanten gebruik van kunnen maken. Op deze manier kan men grotendeels dekking in Nederland realiseren rond stedelijke gebieden [33].

Voordelen:

- Grotendeels dekking in Nederland (rond bewoonde gebieden)
- Hoge bandbreedte

Nadelen:

- Zeer hoge energieverbruik
- Laag zendbereik
- Heeft last van ruis door andere apparaten op het 2.4 GHz netwerk [34]

4.3.3 Mesh protocollen

In dit deel worden alle protocollen met de focus op mesh netwerken besproken.

Bluetooth LE

Bluetooth LE staat voor Bluetooth Low Energy en is ontworpen om met een laag energieverbruik hetzelfde zendbereik als Bluetooth te hebben. Bluetooth LE maakt gebruik van een gelicenseerde frequentie en heeft geen restricties. Omdat Bluetooth LE een laag zendbereik heeft, werkt het protocol het best door meerdere Bluetooth slave modules te koppelen aan een Bluetooth master module die als verzamelpunt werkt en alle data doorstuurt via een andere communicatiemethode [27]. Ook kan Bluetooth LE gebruikt worden om een mesh netwerk aan Bluetooth LE transceivers op te zetten, zo kunnen verstuurde berichten een langere afstand afleggen indien nodig.

Voordelen:

- Bluetooth is energiezuinig
- Gemiddeld hoge bandbreedte

Nadelen:

- Heeft een laag zendbereik
- Heeft last van ruis door andere apparaten op het 2.4 GHz netwerk [35]

Zigbee

Zigbee is een communicatieprotocol dat werkt op 868 MHz, 915 MHz en 2.4 GHz. Zigbee heeft een maximum bandbreedte van 250 kbps en een laag zendbereik en werkt hierdoor net als Bluetooth LE het best in een mesh netwerk [36]. Het grootste voordeel van zigbee is dat er 65536 zigbee nodes per zigbee netwerk geplaatst kunnen worden [36].

Voordelen:

- Is energiezuinig
- Heeft een gemiddelde bandbreedte

Nadelen:

- Heeft last van ruis door andere apparaten op het 2.4Ghz netwerk [37]
- Heeft een laag zendbereik

Tabel 2. Een vergelijking van alle communicatiemethodes.

Eigenschap	Narrowband-IoT	LoRa	SigFox	WiFi	Bluetooth LE	ZigBee
Energieverbruik	74-220 mA [70] [83] [84]	10,5 - 48 mA [77] [83] [84]	3 - 30 mA [70]	25 - 160 mA [81]	15 - 30 mA [70] [82]	30 mA [70] [82]
Prijs	€5 + 6/j [72]	€0 - 100 * of €10 + €10/m [78] [30]	€1-14/j [80]	Router & internet abonnement	N/A	N/A
Bereik (in meters)	>1000 meter [70] [78]	>5000 meter [78]	>10.000 meter [70] [78]	<100 meter [82] [85]	15 - 100 meter [70] [82]	10 – 100 meter [70] [82] [85]
Bandbreedte	200 - 250 kbps [75] [76] [78] [83] [85]	<50 kbps [76] [78] [83]	100 bps UL, 600 bps DL [70] [76] [78]	54 mbps [81] [82]	<1 mbps [70]	250 kbps [70] [82] [85]
Dekking	Volledig in NL [73]	Deels/beperkt [74]	Volledig in NL [71]	Grotendeels in NL [33]	N.v.t. ** [82]	N.v.t. ** [70] [82]
Betrouwbaarheid	Laag [78] [83]	Hoog [78] [83]	Hoog [78]	Normaal [34]	Hoog [35]	Hoog [37]
Beveiliging	Normaal [70] [78]	Hoog [78]	Hoog [70] [78] [79]	Hoog [81]	Hoog [70]	Hoog [70]
Restrictie	N.v.t. [78]	1% [76]	140 UL + 4 DL & 1% [78]	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Leverancier	T-Mobile, Vodafone	KPN, TTN	Aerea	ZIGGO, KPN, XS4ALL, TELE2	N.v.t.	N.v.t.

* Eigen gateway zonder abonnement.

** Speciaal, geen router nodig. Transceivers

4.4 Microcontrollers met LoRa module

In figuur 8 is een vergelijking van de SODAQ LoRa one v3, de TTN uno en de Marvin LoRa te vinden. In dit hoofdstuk zal kort een uitleg worden gegeven over de 3 microcontrollers met LoRa module.

4.4.1 Sodaq LoRa One v3

De Sodaq LoRa One is een microcontroller met LoRa chip die geproduceerd wordt door het bedrijf Sodaq. De microcontroller werkt op 48 MHz en is hiermee anders dan de TTN Uno en de Marvin LoRa. Ook heeft de microcontroller de mogelijkheid om aangesloten te worden op een zonnepaneel. De microcontroller heeft daarnaast ook een erg laag energieverbruik. Een groot nadeel is wel dat de pins van de microcontroller maximaal 3,3 volt en 7 milliampère leveren.

4.4.2 TTN Uno

De TTN Uno is een board gebaseerd op de Arduino Uno. Deze microcontroller wordt geproduceerd door het bedrijf TheThingsNetwork. Het grootste voordeel is van deze microcontroller is de prijs en het aantal pins. Ook de input voltage, voltage per pin en ampère per pin zijn wat flexibeler bij de TTN Uno. Door gebrek aan documentatie is er geen informatie over het energieverbruik beschikbaar. Omdat de microcontroller gebaseerd is op de Arduino Uno kan het energieverbruik ook te vergelijken zijn.

4.4.3 Marvin LoRa

De Marvin LoRa wordt geproduceerd door het Kickstarter bedrijf Marvin. De Marvin LoRa is gemaakt om plug-and-play te werken met standaard sensoren die erbij worden geproduceerd. Deze microcontroller is meer bedoeld voor beginnende programmeurs. Daarom heeft de Marvin LoRa maar 3 analoge- en 2 digitale pins. Het grote nadeel van de Marvin LoRa is het energieverbruik dat erg hoog ligt.

Tabel 3. Een vergelijking van 3 microcontrollers met een geïntegreerde LoRa module.

Eigenschap	SODAQ LoRa One v3 [86]	TTN Uno [87]	Marvin LoRa [88] [89] [90]
Energieverbruik	8 mA - 50 mA [49]	N/A	50 mA - 200 mA
Prijs	€95	€40	€85
Processor	ATSAMD21G18	ATmega32u4	Atmega32u4
Processor snelheid	48 MHz	16 MHz	16 MHz
Aantal pins analoog	14 *	12 *	3
Aantal pins digitaal	14 *	20 *	2
Max voltage I/O pins	3,3v	5v	5v
Max ampère per I/O pin	7 mA	40 mA	40 mA
LoRa module	RN2483	RN2483	RN2483
Input power board	3,7 - 5v	5v of 7 - 12v	3,3 - 5v
Protocollen	PWM, UART, SPI, I2C	PWM, UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C

* Analooq en digitale pins (deels) gedeeld

4.5 Energiezuinigheid hardware & software

In dit hoofdstuk wordt onder andere beschreven hoe het prototype hardware- en softwarematig zo energiezuinig mogelijk kan worden gemaakt. Energiezuinigheid krijgt in dit hoofdstuk meer toewijding omdat het een van de basis eisen is (beschreven in 1.1.2). Van de meetmethodes die in bijlage VII het hoogst scoren worden in dit hoofdstuk de relevante sensoren verder vergeleken. Hierbij is energiezuinigheid het belangrijkste maar ook andere eigenschappen worden opgenoemd.

4.5.1 Energiezuinigheid hardware

Sonar sensoren

In Tabel 4 en bijlage X is een vergelijking van alle relevante sonar. Omdat er meer dan alleen de energiezuinigheid vergeleken moet worden, is deze tabel aangevuld met verdere details van elke sonar. Alle sonar die zijn vergeleken zijn speciaal geproduceerd voor boten. Een uitzondering hierop is de Maxbotix MB7040 sonar. Deze sonar is gemaakt voor metingen in lucht en niet in water. Hoewel deze sensor niet is gemaakt voor metingen in het water, is wel bewezen dat het in het water kan werken [38] [39] [40] [41]. In bijlage XII is een testplan voor de MB7040 sonar te vinden.

Tabel 4. Alle sonar vergeleken

Eigenschap	Airmar DST800 [42] [43] [44]	Airmar P39 [42] [43] [45]	Garmin intelliducer NMEA 0183/2000 [42] [43]	MB7040-131 [46]
Energieverbruik	1 - 3,2 W (25V, <40mA of 16V, <200mA)	1,12 - 3,2 W (28V, <40mA of 16V, <200mA)	N/A	0,0187 W (5V, 3,4mA)
Frequentie	235 kHz	235 kHz	160 kHz	42 kHz
Communication protocol	NMEA 0183/2000	NMEA 0183/2000	NMEA 0183/2000	I2C
Update rate	Elke seconde	Elke seconde	Elke seconde	Elke 0,025 seconde (40 Hz)
Prijs	€240	€460	€199	€205
Waterdichtheid	Volledig	Volledig	Volledig	Volledig
Geschiktheid voor onderwater gebruik	Volledig	Volledig	Volledig	Niet officieel, wel getest en bewezen [38] [39] [40] [41]
Minimumafstand voor detectie vissen	1,7 meter	1,54 meter	0,95 meter	0 - 0,8 meter
Bereik maximum visdetectie?	70 meter	100 meter	275 meter	31 meter
Cone angle (in graden)	10x44	11	17,5	11

Lasers

Voor de vergelijking van lasers is niet veel keuze beschikbaar. Lasers worden gemaakt op basis van de intensiteit van de laserstraal en golflengte van de laser. Daardoor verschillen lasers alleen in energieverbruik en golflengte (en prijs). De lasers die zijn vergeleken staan in Tabel 5, deze lasers hebben allemaal een golflengte van 650 nanometer (nM). Lasers met een golflengte anders dan 650 nM zijn meerdere malen duurder, hebben een energieverbruik dat vele malen hoger ligt en presteren mogelijk slechter in water (zie Figuur 14). Daarom worden alleen lasers met een golflengte van 650 nM vergeleken. In de vergelijking worden infrarood lasers ook niet meegenomen omdat de lasers zichtbaar moeten zijn voor het testen van het prototype.

Tabel 5. De vergeleken lasers met een golflengte van 650 nM

Eigenschap	Laser 1 [6]	Laser 2 [47]	Laser diode Adafruit [48]
Energieverbruik	24 mW	45 mW	70 mW
Prijs	€1,19	€1,32	€5
Vermogen	1 mW	5 mW	5 mW
Golflengte	650 nM	650 nM	650 nM

4.5.2 Energiezuinigheid software

Sleep functie

Door gebruik te maken van de sleep functie kan het energieverbruik van de microcontroller met LoRa module worden teruggebracht tot een aantal microampère. Onder andere de Sodaq LoRa One v3 (zie hoofdstuk 4.4) heeft op die manier een energieverbruik van 50 microampère [49]. De LoRa module en de microcontroller zelf kunnen beiden apart in slaap modus gebracht worden indien dit nodig is.

Dit principe kan ook voor de lasers worden toegepast. Niet alle lasers hoeven aan te staan, als er geen vissen langs zwemmen hoeft alleen 1 rij aan lasers aan te staan. Zodra er een vis wordt gedetecteerd kunnen de rest van de lasers ook aangezet worden voor metingen.

Pulserende lasers

Pulserende lasers zijn lasers die constant aan- en uitgaan met een bepaalde lengte en een bepaalde herhalende tempo. Zo kunnen lasers herhalend 1 milliseconde aan staan waarna de lasers 4 milliseconden uit staan (voorbeeld). Hierdoor wordt er 80% minder energie verbruikt vergeleken met een laser die continu aan staat.

Hoe lang de lasers aan of uit mogen hangt af van hoe snel het te detecteren object langs zwemt. Het handigst is om de snelheid van de snelst zwemmende vis te gebruiken in de berekeningen. Daarnaast moeten de sensoren ook snel genoeg kunnen schakelen en detecteren. Met vergelijking (9), de breedte van de laserstraal (als s) en de snelheid van de vis (als v) kan worden berekend hoe lang een cyclus (lasers aan en uit) duurt. De lasers zelf moeten zo kort mogelijk aan staan per cyclus voor maximale energiebesparing, waarna ze de rest van de tijd van de cyclus uit moeten staan.

$$t = s/v \quad (9)$$

4.6 Resultaten praktische test lineaire licht reeks

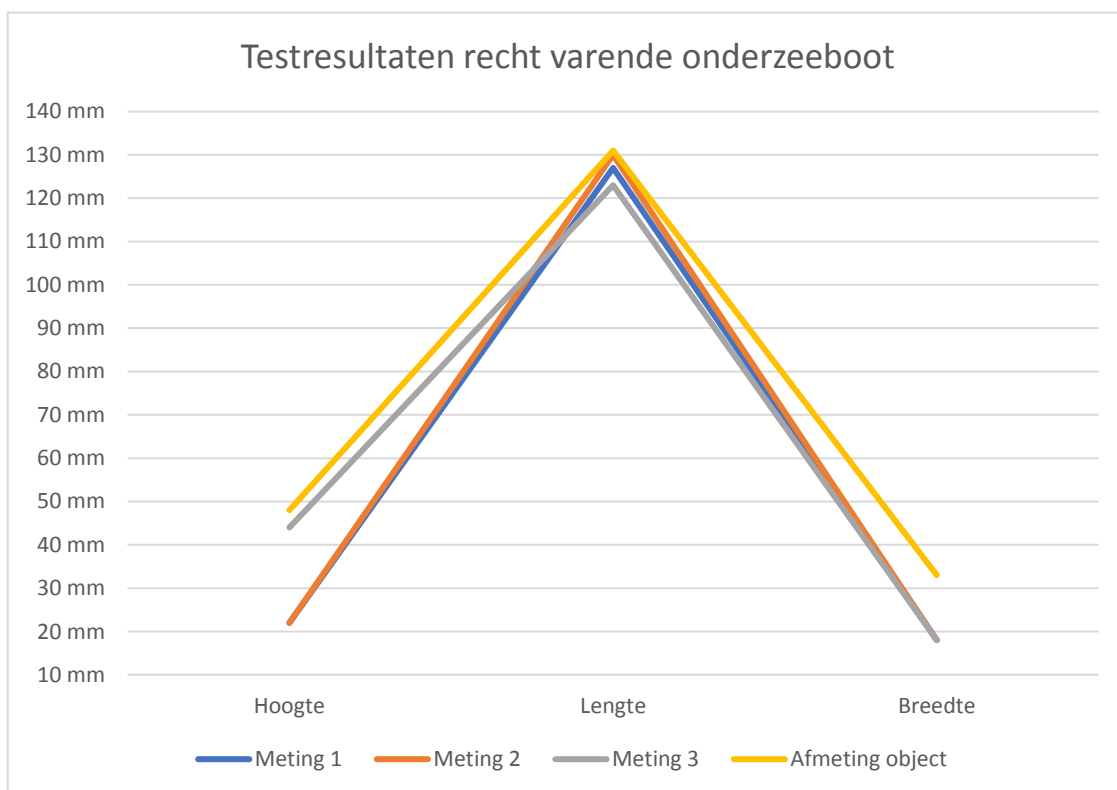
Voor de praktische test (testplan in bijlage XI) is de testopstelling en hardware beschreven in hoofdstuk 3.6 en 2 testobjecten gebruikt (foto's in bijlage XVI). De software die is gebruikt voor de metingen is beschreven in de 2^e flowchart in bijlage I. Het eerste testobject waarmee is gemeten, is een onderzeeboot en heeft een afmeting van 48 millimeter hoog, 131 millimeter lang en 33 millimeter breed. Een schematische tekening van het object is te vinden in bijlage V. Het tweede testobject is een grotere onderzeeboot met afmetingen van 115 millimeter hoog, 305 millimeter lang en 65 millimeter breed. In bijlage VI is een schematische tekening van het object te vinden. In bijlage XI is een gedetailleerd testplan te vinden van de tests die zijn uitgevoerd in dit hoofdstuk.

4.6.1 Testresultaten kleine onderzeeboot

Testresultaten recht varende onderzeeboot

Tabel 6. De meetresultaten van de recht varende kleine onderzeeboot.

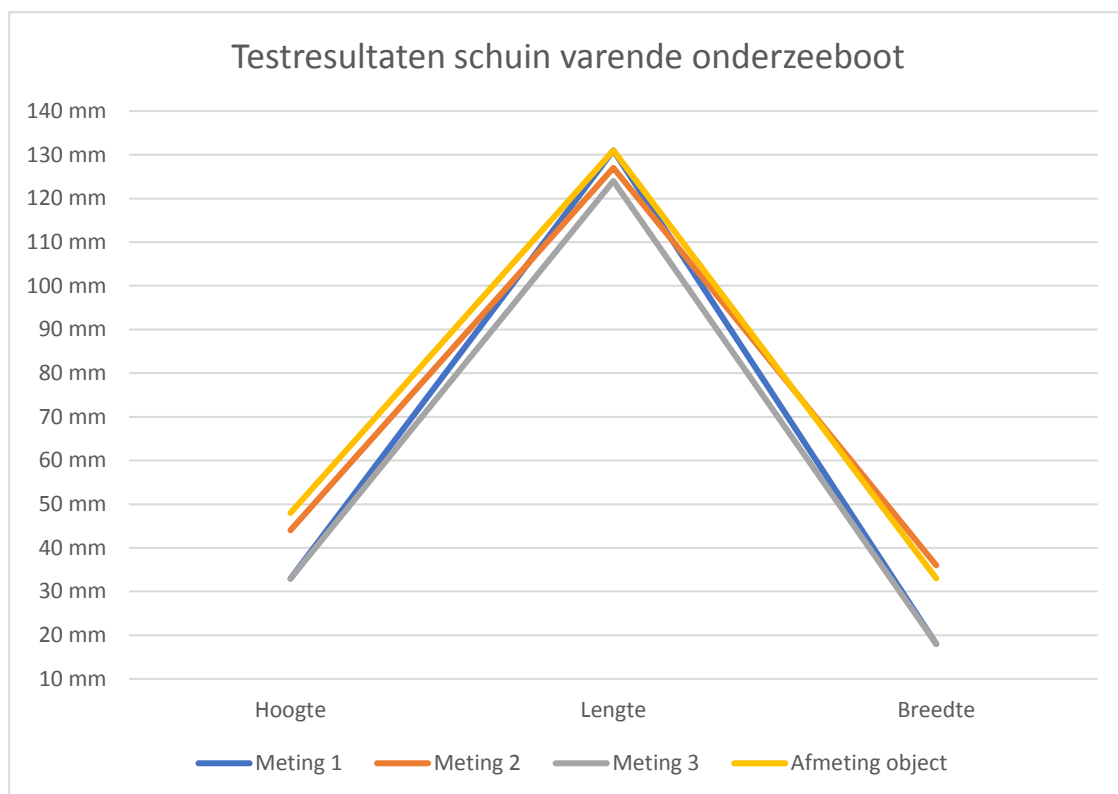
	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Afmeting object	Gemiddelde metingen	Gemiddelde afwijking	Gemiddelde afwijking (percentage)
Hoogte (in mm)	22	22	44	48	29,3	18,7	38,9%
Lengte (in mm)	127	130	123	131	126,7	4,3	3,3%
Breedte (in mm)	18	18	18	33	18	15	45,5%



Figuur 16. De meetresultaten in een grafiek.

Tabel 7. De meetresultaten van de schuin varende kleine onderzeeboot.

	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Afmeting object	Gemiddelde metingen	Gemiddelde afwijking	Gemiddelde afwijking (percentage)
Hoogte (in mm)	33	44	33	48	36,7	11,3	23,6%
Lengte (in mm)	131	127	124	131	127,3	3,7	2,8%
Breedte (in mm)	18	36	18	33	24	9	27,3%



Figuur 17. De meetresultaten in een grafiek.

Testresultaten schuin varende onderzeeboot

4.6.2 Testresultaten grote onderzeeboot

De grote onderzeeboot heeft de tests niet gehaald en er waren heel wat problemen mee. Meer informatie is te vinden in bijlage XIII.

4.6.3 Testresultaten meerdere onderzeeboten

De test met meerdere onderzeeboten die tegelijk langs de sensoren varen is niet gelukt door verschillende omstandigheden. Zie bijlage XIII.

4.6.4 Kalibratie test

In Tabel 8 zijn de resultaten van de tests met verschillende soorten lichtbronnen te vinden. De resultaten zijn waardes van 0 tot 1023 en geven aan hoe intens het waargenomen licht is.

Tabel 8. De kalibratie van de ontvanger sensoren met verschillende soorten licht.

Soort licht	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Gemiddelde van metingen
Zonlicht (in 0 - 1023)	189	195	183	189
Kunstlicht (in 0 - 1023)	75	86	102	88
Laserlicht (in 0 - 1023)	1022	989	1007	1006

5. Conclusie

In dit hoofdstuk zal per deelvraag een conclusie worden gegeven op basis van de resultaten in hoofdstuk 4, bijbehorende bijlages en het eindproduct dat voldoet aan alle eisen beschreven in hoofdstuk 1.1.2 (alle eisen behalve de waterdichtheid eis, zie hierover hoofdstuk 7).

5.1 Meetmethode

Deelvraag: Hoe kan vismigratie worden gemeten?

Het meten van vismigratie kan op de vele manieren die zijn opgenoemd in Figuur 10. Aan de hand van dit figuur en de eisen beschreven in hoofdstuk 1.1.2 kan worden geconcludeerd dat de meest relevante meetmethodes de autonome en non-intrusieve meetmethodes zijn. De sonar, DIDSON, lineaire licht reeks, resistive meetmethode, Camera & edge computer en LIDAR zijn het meest relevant.

5.2 Sensoren

Deelvraag: Welke sensoren zijn het meest geschikt?

Uit de resultaten van hoofdstuk 4 en bijlage VII blijkt dat sonar en lasers het beste resultaat leveren. Vooral op het gebied van de meest belangrijke criteria (te zien in bijlage VII, met weging 3x), scoren deze twee sensoren het hoogst. Beide sensoren hebben een laag energieverbruik en doen het, vergeleken met de andere sensoren, beter op het gebied van de meest belangrijke criteria. Daarom is het advies om een combinatie van deze sensoren te gebruiken in het eindproduct. Dit zorgt ervoor dat beide producten elkaar aanvullen op elkaars zwakheden en zo is er een back-up sensor die klaarstaat indien er factoren aanwezig zijn die licht blokkeren maar niet geluid of andersom (ruis).

5.3 Communicatieprotocol

Deelvraag: Welke IoT communicatiemethode is het meest geschikt (in water)?

In bijlage VIII is te zien welk communicatieprotocol het meeste punten scoort aan de hand van de vergelijkingstabel met weging systeem. Door meer bandbreedte en minder restrictie op het communicatieprotocol scoort LoRa iets beter dan Sigfox. Daarom is het advies om LoRa te gebruiken. Verder moet voor nu de antenne voor het communiceren via het communicatieprotocol, buiten het water geplaatst worden (dit moet verder onderzocht worden, aanbeveling, hoofdstuk 7.2).

5.4 Microcontroller

Deelvraag: Welke microcontroller is het meest geschikt?

Uit de resultaten van hoofdstuk 4.4 en de vergelijkingstabel uit bijlage IX is te zien welke microcontroller het hoogst scoort. Op basis van die resultaten is het advies om de LoRa Sodaq One v3 te gebruiken. Alle microcontrollers scoren ongeveer even goed op alle vergeleken punten behalve energiezuinigheid. Hier scoort de LoRa Sodaq One v3 het beste en daarom is het advies deze microcontroller te gebruiken.

5.5 Energiezuinigheid

Deelvraag: Hoe kan de hardware en software zo energiezuinig mogelijk worden gemaakt?

Van de sonar vergeleken in Tabel 4, is het advies om de Maxbotix MB7040 te gebruiken. Deze sonar is het meest energiezuinig, vele malen energiezuiniger dan alle andere sonar. In bijlage X is te zien hoe deze sonar scoort vergeleken met rest. De sonar scoort het hoogst op bijna alle aspecten die in de bijlage zijn vergeleken. Met het testplan in bijlage XII is te testen of deze sonar ook goed in het water werkt en kan de sonar gekalibreerd worden.

Van de lasers vergeleken in Tabel 5 is laser 1 het meest energiezuinig. Daarom is het een simpele keuze en het advies om laser 1 [6] te gebruiken. In bijlage XI is een testplan om de lasers te testen op lichtsterkte.

Van de methodes voor energiezuinigheid (beschreven in 4.5.2) is het sterk geadviseerd om gebruik te maken van deze methodes. In bijlage XV is te zien wat het energieverbruik is in een praktische en reële situatie. Door gebruik te maken van pulserende lasers, waarbij er alleen 1 rij lasers pulseert en de rest van de lasers uit staan, kan het energieverbruik fors omlaag worden gehaald. Indien hierbij ook de LoRa module van de microcontroller gebruik maakt van beschikbare sleep functies, kan het prototype veel langer mee (bijlage XV).

5.6 Testresultaten en eindconclusie

Hoofdvraag: Hoe kan door middel van Internet of Things vismigraties worden gemeten?

Aan de hand van de testresultaten (zie 4.6.4) valt te concluderen dat het prototype de faal/succes criteria niet heeft gehaald (criteria beschreven in bijlage XI). De breedte- en hoogtemetingen van de recht- en schuin varende onderzeeboot hebben als resultaat een afwijking die ver boven de 10% zit. De gemeten hoogtes en breedtes hebben een afwijking van 23% tot 45%. Dit betekent dat het prototype dat is beschreven en gebouwd in huidige staat niet geschikt is om vismigraties mee te meten. Het prototype kan vissen detecteren maar is ongeschikt voor het meten van afmetingen.

In tegenstelling tot de breedte- en hoogtemetingen, zijn de lengtemetingen juist erg nauwkeurig en binnen de 10% afwijking beschreven in de criteria in bijlage XI. Met een maximale afwijking van 3,3% is dit zo goed als perfect te noemen.

De test met de schuin varende onderzeeboot heeft vergeleken met de test van de recht varende onderzeeboot betere resultaten opgeleverd in alle aspecten (te zien in de gemiddelde afwijking). Een reden hiervoor kan zijn omdat er bij de schuin varende onderzeeboot meer wiskunde wordt gebruikt. Dit kan resulteren in een meer gemiddelde uitkomst en dus minder afwijking in de meetresultaten.

In Tabel 8 is de test met verschillende soorten lichtbronnen te vinden. Uit deze resultaten valt te concluderen dat het laserlicht veel intenser is dan zonlicht of kunstmatig licht. Door een drempelwaarde van 2,5 keer de waarde van kunstmatig licht of zonlicht te nemen is het altijd veilig te zien of de lasers aan of uit staan. Een meting onder de drempelwaarde betekent dan dat de lasers uit staan en een meting boven deze drempelwaarde betekent dat de lasers aan staan.

6. Discussie

In dit hoofdstuk worden onder andere de resultaten van de metingen, de meetmethode, problemen die zijn ondervonden tijdens het meten en logistieke problemen besproken.

6.1 Afwijkingen meetresultaten

In dit deel van het hoofdstuk wordt uitgelegd waarom de resultaten in hoofdstuk 4.6 afwijken van de werkelijke afmetingen van het testobject dat is gebruikt.

Afwijkende lengte

Het testobject beschreven in bijlage V heeft een propeller gedeelte aan de achterkant dat niet volledig afgesloten is. Hierdoor komen de laserstralen door de onderzeeboot heen terwijl dit eigenlijk niet moet gebeuren. Hierdoor vallen de gemeten waarden net iets lager uit dan de werkelijke afmetingen van het testobject. De lengte van het propeller gedeelte is 10 mm (bijlage V) waarbij ongeveer 50% van die lengte niet afgesloten is. De afwijking door dit probleem is dus maximaal 5 mm.

Afwijkende breedte

In de breedte is het testobject (beschreven in bijlage V) 33 mm breed. In hoofdstuk 3.6.2 is te zien dat de afstand tussen 2 lasers, 18 mm is. Hierdoor raakt de onderzeeboot 2 lasers waarbij het net niet een 3^e laser kan raken (de 3^e laser zit op 36 mm afstand). Omdat de onderzeeboot bij alle tests net geen 3^e laser kan blokkeren komt de gemeten breedte altijd uit op 18 mm, de afstand tussen 2 geblokkeerde lasers. De afwijking in de breedte is dus een resolutie probleem (beschreven in 3.6.2).

Om dit te bevestigen zijn er 3 extra tests uitgevoerd waarbij het testobject iets breder is dan normaal (Figuur 18). Bij deze tests was de gemeten breedte twee keer 36 mm en een keer 18mm.

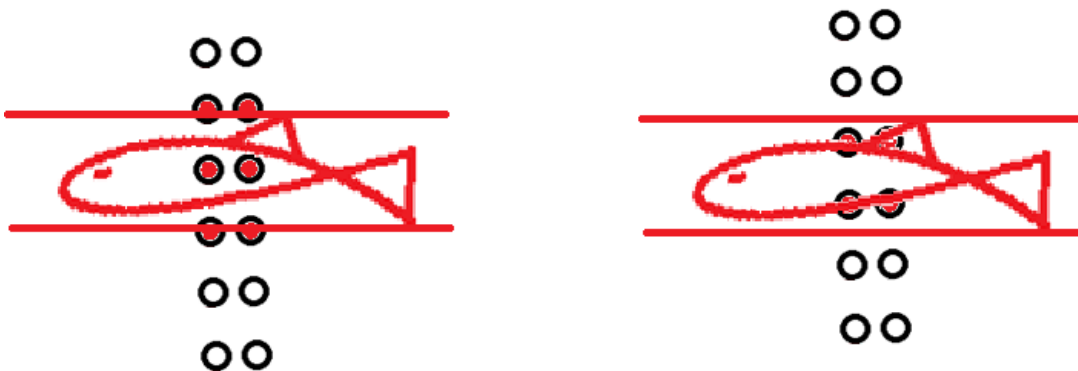
Uit verdere analyse van deze resultaten is gebleken dat het mogelijk is voor de onderzeeboot om zo te zwemmen dat het in de breedte zo min mogelijk lasers blokkeert (zie Figuur 19). Dit is een probleem dat met het design van het prototype te maken heeft en in hoofdstuk 7 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 18. De onderzeboot met ducttape. De breedte van het testobject met ducttape is 40mm.

Afwijkende hoogte

Uit analyse van meerdere tests en opnames van de tests blijkt dat het mogelijk is voor de onderzeboot om zo te varen dat het in de hoogtemetingen zo min mogelijk lasers blokkeert. In Figuur 19 is te zien wat hiermee bedoeld wordt. Dit probleem heeft te maken met het design van het prototype en in hoofdstuk 7 wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 19. De vis die correct alle sensoren blokkeert en de vis die zo min mogelijk sensoren blokkeert.

Tijdens alle tests die zijn uitgevoerd zijn meerdere problemen ondervonden die ook directe invloed hebben gehad op de testresultaten. Deze problemen worden beschreven in bijlage XIII.

Verskil in resultaten schuin- en recht varende onderzeeboot

Zoals eerder vermeld in hoofdstuk 5.6. Een reden voor de afwijkende resultaten tussen de schuin- en recht varende onderzeeboot kan zijn omdat er bij de schuin varende onderzeeboot meer wiskunde wordt gebruikt. Dit kan resulteren in een meer gemiddelde uitkomst en dus minder afwijking in de meetresultaten. Hoewel dit hoogstwaarschijnlijk het geval is, is het niet gelukt dit te bevestigen.

6.2 Logistieke problemen

Tijdens het project zijn er meerdere problemen ontstaan in verband met het bestellen van benodigdheden voor het project. Voor alle benodigdheden heeft het bedrijf Atos, de opdrachtgever, eerst een goedkeuring moeten uitgeven zodat deze benodigdheden besteld kunnen worden. Het uitbrengen van de goedkeuring heeft 2 weken geduurd.

Na de goedkeuring zijn onder andere de lasers die zijn beschreven in hoofdstuk 2.2 besteld uit China. Deze lasers zijn onderweg in detentie genomen in het Chinese DHL-magazijn, waar de lasers ongeveer 4 weken hebben gewacht, mede doordat de verkoper van de lasers geen Engels kan spreken/schrijven.

Tot slot heeft ook het bestellen van het aquarium (de testopstelling) voor heel wat vertraging gezorgd. Het bestellen, laten goedkeuren van de bestelling en het laten goedkeuren door facilitair management heeft heel wat vertraging veroorzaakt.

Door deze redenen heeft het project zware vertragingen opgelopen. Tijdens deze vertraging is wel meer tijd ingestoken in het onderzoeksverslag en in het vergelijkend onderzoek (hoofdstuk 4) in zoverre dat mogelijk was.

6.3 Problemen met de testobjecten

In bijlage XIII zijn problemen beschreven die tijdens het testen van het prototype zijn ontstaan.

Samen met de problemen beschreven in hoofdstuk 6.2 heeft dit ertoe geleid dat er geen tests zijn uitgevoerd met verschillende testobjecten en meerdere testobjecten die tegelijk langs de sensoren varen. Door de zware vertragingen werd het niet meer mogelijk extra onderzoek te doen naar onderzeeboten en om nieuwe onderzeeboten te bestellen.

Ook werd het niet meer mogelijk om onderzoek te doen naar troebelheid van rivierwater. Hierdoor is er ook geen extra testopstelling opgezet om het prototype in troebel water te testen. De geavanceerde testopstelling met stromend water die moet worden opgezet kost te veel tijd en past niet meer in de scope.

Tot slot zijn er ook geen tests gedaan met echte vissen. Omdat er lasers zijn gebruikt die zichtbaar licht afgeven is dit niet mogelijk in verband met schadelijkheid voor visogen. Daarnaast is er ook niemand die voor de vissen kan zorgen na het project.

7. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden alle aanbevelingen besproken.

7.1 Correctie design

Ten eerste moet de resolutie van de sensoren worden aangepast. Dit betekent dat de afstand tussen lasers (zie hoofdstuk 3.6) kleiner moet. Op dit moment resulteert de grote afstand tussen de lasers in metingen die niet correct zijn. Zodra de vis een laser niet raakt resulteert dit in een grote vermindering in de gemeten breedte of hoogte van de vis (hoofdstuk 6). Door de afstand tussen de lasers kleiner te maken wordt de kans dat de vis minder lasers raakt kleiner (zie Figuur 19). Indien de vis toch een laser niet raakt, is de meting minder incorrect omdat de afmeting die niet gemeten kon worden minder significant is. Het design moet daarnaast altijd op maat te maken aan de hand van waar het product geplaatst zal worden. Op basis van de kleinste en grootste vis die gemeten moeten worden. Dit zorgt voor betere meetresultaten.

7.2 Aanbeveling vervolg prototype

Voor het vervolg op dit prototype is de aanbeveling om het volgende te onderzoeken (in verband met de originele eis van waterdichtheid, hoofdstuk 1.1.2):

- Op welke manieren kan ervoor worden gezorgd dat het prototype niet zinkt in het water en bij extreme weersomstandigheden?
- Hoe kan de hardware waterdicht worden gemaakt, zo dat het nog radiosignalen kan versturen en ontvangen?

Ten tweede is het advies om sonar te testen, te kalibreren en te implementeren in het vervolg product. Sonar zorgt voor ruisfiltering waar laserlicht wel ruis ondervindt.

Ten derde is het aanbevolen om realtime kalibratie uit te voeren met de lasers (beschreven in hoofdstuk 2.2 en 3.6). Door de lasers volledig aan te zetten en de lichtintensiteit te meten kan er een realtime kalibratie worden uitgevoerd. Zo is te zien hoe troebel het water is en hoeveel licht van de lasers erdoorheen komt. Dit resulteert dan in betere metingen van vissen.

Ook is het aanbevolen om snel schakelende lasers en LDR te gebruiken. Indien de lasers snel aan en uit kunnen hoeven de lasers per puls cyclus maar heel kort aan te staan en besparen de lasers meer energie (beschreven in hoofdstuk 4.5).

Tot slot is het advies om de methoden voor energiezuinigheid (beschreven in hoofdstuk 4.5) te implementeren in het vervolg op het prototype.

7.3 Extra tests vervolg prototype

Voor een vervolg product is het aanbevolen om extra tests uit te voeren. Onder andere tests met:

- Vissen met verschillende afmetingen en meerdere vissen die tegelijk langs het prototype zwemmen

Zo kan worden getest wat het effect is van vissen met verschillende afmeting die langs het product zwemmen. Het testen met meerdere vissen die tegelijk langs elkaar zwemmen is een reëel scenario dat kan voorkomen en dit moet dus eerst getest worden in een testomgeving.

- Echte vissen

Het testen met echte vissen is een laatste stap voor het volwaardig eindproduct.

- De werking van lasers in troebel water

Rivierwater kan troebel zijn en hier moet ook op getest worden in een geavanceerde testomgeving.

Literatuurlijst

- [1 „wikipedia,” Wikimedia Foundation, Inc., 25 12 2017. [Online]. Available:
] https://en.wikipedia.org/wiki/Fish_counter. [Geopend 21 1 2018].
- [2 „wikipedia,” Wikimedia Foundation, Inc., 14 6 2017. [Online]. Available:
] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Sonar>. [Geopend 21 1 2018].
- [3 M. Tušer, „theses.cz,” 2013. [Online]. Available: [https://theses.cz/id/kekxn8/PhD_series_-](https://theses.cz/id/kekxn8/PhD_series_-_Tuser_final_version.pdf)
] [_Tuser_final_version.pdf](https://theses.cz/id/kekxn8/PhD_series_-_Tuser_final_version.pdf). [Geopend 21 1 2018].
- [4 H. Mader, S. Käfer en F. Kratzert, „THE FISHCAM MIGRATION MONITORING SYSTEM FOR FISH
] PASSES,” researchgate, Melbourne, 2016.
- [5 H. Jun en A. Asada, „Acoustic Counting Method of Upstream Juvenile Ayu *Plecoglossus altivelis* by
] Using DIDSON,” IEEE, Tokyo, 2007.
- [6 „Aliexpress.com,” Aliexpress, [Online]. Available: [https://nl.aliexpress.com/item/6mm-650nm-](https://nl.aliexpress.com/item/6mm-650nm-1mW-Laser-Dot-Module-Industrial-Grade-APC-Driver/32794246865.html)
] [1mW-Laser-Dot-Module-Industrial-Grade-APC-Driver/32794246865.html](https://nl.aliexpress.com/item/6mm-650nm-1mW-Laser-Dot-Module-Industrial-Grade-APC-Driver/32794246865.html). [Geopend 01 04 2018].
- [7 „adafruit.com,” adafruit, [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/2831>. [Geopend
] 04 06 2018].
- [8 „aliexpress.com,” aliexpress, [Online]. Available: [https://nl.aliexpress.com/item/3PCS-100-New-](https://nl.aliexpress.com/item/3PCS-100-New-Original-NCR18650B-3-7-v-3400-mah-18650-Lithium-Rechargeable-Battery-for-Panasonic/32352951216.html)
] [Original-NCR18650B-3-7-v-3400-mah-18650-Lithium-Rechargeable-Battery-for-](https://nl.aliexpress.com/item/3PCS-100-New-Original-NCR18650B-3-7-v-3400-mah-18650-Lithium-Rechargeable-Battery-for-Panasonic/32352951216.html)
] [Panasonic/32352951216.html](https://nl.aliexpress.com/item/3PCS-100-New-Original-NCR18650B-3-7-v-3400-mah-18650-Lithium-Rechargeable-Battery-for-Panasonic/32352951216.html). [Geopend 17 06 2018].
- [9 „polulu.com,” polulu, [Online]. Available: <https://www.polulu.com/product/2122>. [Geopend 17
] 06 2018].
- [1 „ti.com,” ti, [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf>. [Geopend 17
0] 06 2018].
- [1 „irf.com,” irf, [Online]. Available: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irlz34n.pdf>.
1] [Geopend 17 06 2018].
- [1 „Sodaq.com,” Sodaq, [Online]. Available: <http://support.sodaq.com/sodaq-one/sodaq-one/>.
2] [Geopend 17 06 2018].
- [1 „adafruit.com,” adafruit, [Online]. Available: [https://cdn-shop.adafruit.com/product-](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2831/HW5P-1_2015__1_.pdf)
3] [files/2831/HW5P-1_2015__1_.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2831/HW5P-1_2015__1_.pdf). [Geopend 17 06 2018].
- [1 G. Rakowitz, W. Herold, C. Fesl, H. Keckeis, J. KubeAka en H. Balk, „Two methods to improve the
4] accuracy of target-strength estimates for horizontal beaming,” Elsevier B.V., 2008.
- [1 E. Belcher, W. Hanot en J. Burch, „Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON),” in *Proceedings*
5] *of the 2002 International Symposium on Underwater Technology*, IEEE, 2002, pp. 187-192.

- [1 „<http://GSAAdvantage.gov>,” 07 07 2011. [Online]. Available:
- 6] https://www.gsaadvantage.gov/ref_text/GS07F0041V/0JN5M1.2BVSJU_GS-07F-0041V_OMI070711REV080211.PDF. [Geopend 01 06 2018].
- [1 „vemco.com,” Vemco, [Online]. Available: <https://vemco.com/products/v7-to-v16-69khz/>.
- 7] [Geopend 05 03 2018].
- [1 „vemco.com,” [Online]. Available: <https://vemco.com/wp-content/uploads/2014/01/vr2w.pdf>.
- 8] [Geopend 05 03 2018].
- [1 K. M. Stehfest, J. M. Lyle en J. M. Semmens, „The use of acoustic accelerometer tags to determine
- 9] seasonal changes in activity and catchability of a recreationally caught marine teleost,” in *ICES Journal of Marine Science, Volume 72, Issue 8*, Oxford University Press, 1 Oktober 2015, pp. 2512-2520.
- [2 E. Washburn, J. Gregory en P. Claburn, „Using video images for fisheries,” Environment Agency,
- 0] Bristol, 2008.
- [2 J. L. Anderson, N. J. Hetrick, D. Spencer, J. P. Larson en M. Santos, „Design and Performance of a
- 1] Digital Video Monitoring Station Incorporated in a V-Shaped Resistance Board Weir,” U.S. Fish and Wildlife Service, 2006.
- [2 „saphotonics.com,” [Online]. Available: [http://www.saphotonics.com/wp-](http://www.saphotonics.com/wp-content/uploads/2017/02/MILOS-Datasheet.pdf)
- 2] [content/uploads/2017/02/MILOS-Datasheet.pdf](http://www.saphotonics.com/wp-content/uploads/2017/02/MILOS-Datasheet.pdf). [Geopend 21 03 2018].
- [2 „wikipedia.com,” wikipedia, [Online]. Available:
- 3] https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_absorption_by_water#/media/File:Absorption_spectrum_of_liquid_water.png. [Geopend 10 03 2018].
- [2 „biomark.com,” biomark, [Online]. Available: <https://www.biomark.com/help/faqs/#faq400>.
- 4] [Geopend 02 04 2018].
- [2 „biomark.com,” biomark, [Online]. Available:
- 5] https://www.biomark.com/technical_services/power_supply/. [Geopend 10 04 2018].
- [2 „Aquantic.com,” Aquantic, [Online]. Available: <http://www.aquantic.com/2100c/index.htm> .
- 6] [Geopend 15 03 2018].
- [2 „link-labs.com,” [Online]. Available: [http://info.link-](http://info.link-labs.com/hubfs/Wireless_Technology_for_Industrial_Internet_of_Things.pdf?hsCtaTracking=795475fc-9cc3-4770-a8e9-6db961b7ec59%7C0d9312af-a29a-40f8-89d2-413db03a1179)
- 7] [labs.com/hubfs/Wireless_Technology_for_Industrial_Internet_of_Things.pdf?hsCtaTracking=795475fc-9cc3-4770-a8e9-6db961b7ec59%7C0d9312af-a29a-40f8-89d2-413db03a1179](http://info.link-labs.com/hubfs/Wireless_Technology_for_Industrial_Internet_of_Things.pdf?hsCtaTracking=795475fc-9cc3-4770-a8e9-6db961b7ec59%7C0d9312af-a29a-40f8-89d2-413db03a1179). [Geopend 28 04 2018].
- [2 „zeevruchtengids.org,” zeevruchtengids, [Online]. Available:
- 8] <http://www.zeevruchtengids.org/nl/actieve-visserijmethoden> . [Geopend 20 06 2018].
- [2 „<https://www.thethingsnetwork.org/>,” [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/>.
- 9] [Geopend 01 06 2018].

- [3 „<https://www.simpoint.com/en/lora/>,” [Online]. Available: <https://www.simpoint.com/en/lora/>.
0] [Geopend 01 06 2018].
- [3 „Breedbandwinkel.nl,” [Online]. Available: <https://www.breedbandwinkel.nl/nieuws/gefuseerde-1-ziggo-grootste-aanbieder-van-nederland>. [Geopend 01 06 2018].
- [3 „gratissoftwaresite.nl,” [Online]. Available:
2] <https://gratissoftwaresite.nl/nieuws/Top%20vijf%20grootste%20internetaanbieders%20in%20Nederland>. [Geopend 01 06 2018].
- [3 „wile.net,” wile, [Online]. Available: <https://wile.net/>. [Geopend 01 06 2018].
3]
- [3 D. Murray, T. Kozieniec, M. Dixon en K. Lee, „Measuring the reliability of 802.11 WiFi networks,”
4] IEEE, Wrexham, 2015.
- [3 Q. Duy la, D. Nguyen-Nam, M. V. Ngo en T. Q. S. Quek, „Coexistence Evaluation of Densely
5] Deployed BLE-Based Body Area Networks,” IEEE, Singapore, 2018.
- [3 S. Farahani, ZigBee Wireless Networks and Transceivers, Oxford: Elsevier Ltd., 2008.
6]
- [3 S. Y. Shin, H. S. Park, S. Choi en W. H. Kwon, „Packet Error Rate Analysis of ZigBee Under WLAN
7] and Bluetooth Interferences,” IEEE, 2007.
- [3 „coconutpi.wordpress.com,” wordpress, 12 04 2013. [Online]. Available:
8] <https://coconutpi.wordpress.com/>. [Geopend 16 06 2018].
- [3 „[maxbotix.com](https://www.maxbotix.com),” maxbotix, 10 12 2015. [Online]. Available:
9] <https://www.maxbotix.com/Tutorials/underwater-ranging.htm>. [Geopend 16 06 2018].
- [4 „robogoby.blogspot.com,” blogspot, 31 03 2014. [Online]. Available:
0] <http://robogoby.blogspot.com/2014/03/waterproofed-maxbotix-sonar-w-arduino.html>.
[Geopend 16 06 2018].
- [4 „[rs-online.com](https://www.rs-online.com),” rs-online, 15 11 2012. [Online]. Available: [https://www.rs-](https://www.rs-online.com/designspark/coconut-pi-individual-components-development-for-an-auv)
1] [online.com/designspark/coconut-pi-individual-components-development-for-an-auv](https://www.rs-online.com/designspark/coconut-pi-individual-components-development-for-an-auv). [Geopend
16 06 2018].
- [4 „Garmin,” [Online]. Available: <https://www8.garmin.com/marine/PDF/transducers.pdf>. [Geopend
2] 03 15 2018].
- [4 „[garmin.com](https://www.garmin.com),” [Online]. Available:
3] https://www8.garmin.com/marine/brochures/06545_Transducer_Selection_Guide.pdf. [Geopend
20 03 2018].
- [4 „[Airmar.com](http://www.airmar.com/uploads/Brochures/dst800.pdf),” [Online]. Available: <http://www.airmar.com/uploads/Brochures/dst800.pdf>.
4] [Geopend 16 03 2018].
- [4 „[Airmar.com](http://www.airmar.com/uploads/Brochures/p39.pdf),” [Online]. Available: <http://www.airmar.com/uploads/Brochures/p39.pdf>.

- 5] [Geopend 20 03 2018].
- [4 „Maxbotix.com,” [Online]. Available: [https://www.maxbotix.com/documents/I2CXL-MaxSonar-6\] WR_Datasheet.pdf](https://www.maxbotix.com/documents/I2CXL-MaxSonar-6] WR_Datasheet.pdf) . [Geopend 20 03 2018].
- [4 „aliexpress.com,” aliexpress, [Online]. Available: [https://nl.aliexpress.com/item/Focusable-7\] Economical-6mm-650nm-5mW-Laser-Dot-Module-Industrial-Grade-APC-Driver/32728923132.html](https://nl.aliexpress.com/item/Focusable-7] Economical-6mm-650nm-5mW-Laser-Dot-Module-Industrial-Grade-APC-Driver/32728923132.html). [Geopend 16 06 2018].
- [4 „adafruit.com,” adafruit, [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/1054>. [Geopend 8] 16 06 2018].
- [4 „sodaq.com,” sodaq, [Online]. Available: [http://forum.sodaq.com/t/sodaq-one-power-9\] consumption/346/](http://forum.sodaq.com/t/sodaq-one-power-9] consumption/346/). [Geopend 01 06 2018].
- [5 sportvisserijjoostnederland, „sportvisserijjoostnederland,” 2017. [Online]. Available: http://www.sportvisserijjoostnederland.nl/files/folder-vismigratiedag_5018.pdf. [Geopend 21 Januari 2018].
- [5 „soundmetrics.com,” soundmetrics, [Online]. Available: [http://www.soundmetrics.com/Image-1\] Gallery/Fisheries/Habitat-Observations/Kenai-Salmon](http://www.soundmetrics.com/Image-1] Gallery/Fisheries/Habitat-Observations/Kenai-Salmon). [Geopend 01 06 2018].
- [5 „soundmetrics.com,” soundmetrics, [Online]. Available: [http://soundmetrics.com/FAQ/FAQ-2\] FishDetection.pdf](http://soundmetrics.com/FAQ/FAQ-2] FishDetection.pdf). [Geopend 01 03 2018].
- [5 F. Dalgleish, B. Ouyang, A. Vuorenkoski, B. Ramos, G. Alsenas, B. Metzger, Z. Cao en J. Principe, 3] „Undersea LiDAR imager for unobtrusive and eye safe marine wildlife detection and classification,” IEEE, Aberdeen, 2017.
- [5 „Aquantic.com,” [Online]. Available: <http://www.aquantic.com/2100c/2100lurb1.pdf>. [Geopend 4] 15 03 2018].
- [5 „Saphotonics.com,” Saphotonics, [Online]. Available: [http://www.saphotonics.com/ladar-5\] systems/underwater-imaging/](http://www.saphotonics.com/ladar-5] systems/underwater-imaging/). [Geopend 12 04 2018].
- [5 C. Bridget en R. Booth, „The Effects of Biotelemetry Transmitter Presence and Attachment 6] Procedures on Fish Physiology and Behavior,” in *Reviews in Fish Biology & Fisheries*, 2003, pp. 13-34.
- [5 „Compass24,” Compass, [Online]. Available: [http://www.compass24.nl/cross-7\] selling/73863/airmar-p39-smart-sensor-heckmontage-nmea-2k-triducer](http://www.compass24.nl/cross-7] selling/73863/airmar-p39-smart-sensor-heckmontage-nmea-2k-triducer). [Geopend 22 03 2018].
- [5 „garmin.com,” garmin, [Online]. Available: <https://buy.garmin.com/nl-NL/NL/p/26511>. [Geopend 8] 24 03 2018].
- [5 N. Ramani, W. Hanson, P. Patrick en H. Anderson, „FISH IDENTIFICATION FROM SONAR ECHOES - 9] PREPROCESSING AND PARALLEL NETWORKS,” IEEE, Toronto, 1991.
- [6 L. M. Wolff en S. Badri-Hoeher, „Imaging sonar-based fish detection in shallow waters,” IEEE, St.

- 0] John's, 2014.
- [6 E. F. Prentice, T. A. Flagg, C. S. McCutcheon en D. F. Brastow, „PIT -Tag Monitoring Systems for
1] Hydroelectric Dams and Fish Hatcheries,” in *American Fisheries Society Symposium 7*, Seattle,
1990, pp. 323-334.
- [6 „biomark.com,” [Online]. Available:
2] <http://www.biomark.com/Documents%20and%20Settings/67/Site%20Documents/PDFs/Fish%20Tagging%20Methods.pdf>. [Geopend 29 03 2018].
- [6 „oregonrfid.com,” oregonrfid, [Online]. Available: <https://www.oregonrfid.com/products/fdx-pit-3tags/8-mm-x-1-4-mm-fdx-b-skinny-pit-tag/>. [Geopend 28 03 2018].
- [6 „oregonrfid.com,” oregonrfid, [Online]. Available: <https://www.oregonrfid.com/products/fdx-4hdx-proximity-readers/handheld-reader/>. [Geopend 28 03 2018].
- [6 M. H. Larsen, A. N. Thorn, C. Skov en K. Aarestrup, „Effects of passive integrated transponder tags
5] on survival and growth of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*,” in *Animal Biotelemetry*,
biomedcentral, 2013, p. 1:19.
- [6 „imos.org.au,” [Online]. Available:
6] http://imos.org.au/fileadmin/user_upload/shared/IMOS%20General/documents/IMOS/Fact_Sheets/IMOS_Factsheet_AATAMS_web.pdf. [Geopend 12 04 2018].
- [6 M. Lambert, „finterest.com.au,” [Online]. Available: <http://www.finterest.com.au/wp-content/uploads/2013/09/Forums06/Dr%20Stan%20Woithe%20-%20Resistivity%20Fish%20Counter.pdf>. [Geopend 14 02 2018].
- [6 W. Beaumont, „Fish Welfare,” in *Electricity in Fish Research and Management: Theory and
8] Practice*, Hoboken, John Wiley & Sons, Ltd, 2016, pp. 145-156.
- [6 „scientificamerican,” scientificamerican, [Online]. Available:
9] <https://www.scientificamerican.com/article/does-military-sonar-kill/>. [Geopend 29 03 2018].
- [7 S. Al-sarawi, M. Anbar, K. Alieyan en M. Alzubaida, „Internet of Things (IoT) communication
0] protocols: Review,” IEEE, Amman, 2017.
- [7 „sigfox.com,” sigfox, [Online]. Available: <https://www.sigfox.com/en/coverage>. [Geopend 15 04
1] 2018].
- [7 „iot.t-mobile.com,” T-mobile, [Online]. Available: <https://iot.t-mobile.com/>. [Geopend 16 04
2] 2018].
- [7 „dekkingskaart.t-mobile.nl,” T-mobile, [Online]. Available: <https://dekkingskaart.t-mobile.nl/coverageportal/?profile=nb-iot>. [Geopend 17 04 2018].
- [7 „thethingsnetwork.org,” thethingsnetwork, [Online]. Available:
4] <https://www.thethingsnetwork.org/country/the-netherlands/>. [Geopend 17 04 2018].
- [7 „wikipedia.org,” wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT.

- 5] [Geopend 17 04 2018].
- [7 F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melià-Seguí en T. Watteyne,
6] „Understanding the Limits of LoRaWAN,” IEEE, 2017.
- [7 L. Casals, B. Mir, R. Vidal en C. Gomez, „mdpi.com,” 16 oktober 2017. [Online]. Available:
7] <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/10/2364/pdf>. [Geopend 18 04 2018].
- [7 K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel en F. Meyer, „A comparative study of LPWAN technologies for large-
8] scale IoT deployment,” Sciencedirect, Nancy, 2017.
- [7 „sigfox.com,” [Online]. Available: [https://www.sigfox.com/sites/default/files/1701-SIGFOX-](https://www.sigfox.com/sites/default/files/1701-SIGFOX-White_Paper_Security.pdf)
9] [White_Paper_Security.pdf](https://www.sigfox.com/sites/default/files/1701-SIGFOX-White_Paper_Security.pdf). [Geopend 18 04 2018].
- [8 „radiocrafts.com,” radiocrafts, [Online]. Available: [https://radiocrafts.com/kb/much-cost-use-](https://radiocrafts.com/kb/much-cost-use-sigfox/)
0] [sigfox/](https://radiocrafts.com/kb/much-cost-use-sigfox/). [Geopend 19 04 2018].
- [8 A. Varghese, D. Tandur en A. Ray, „Suitability of WiFi based communication devices in low power
1] industrial applications,” IEEE, Toronto, 2017.
- [8 J. Hughes, J. Yan en K. Soga, „DEVELOPMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORK USING BLUETOOTH
2] LOW ENERGY (BLE) FOR CONSTRUCTION NOISE MONITORING,” Cambridge university, Cambridge,
2015.
- [8 R. S. Sinha, Y. Wei en S.-H. Hwang, „A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,”
3] Sciencedirect, 2017.
- [8 „amihotechnology.com,” amihotechnology, 27 february 2018. [Online]. Available:
4] <https://www.amihotechnology.com/lorawan-cellular-nb-iot-power-consumption-comparison/>.
[Geopend 20 04 2018].
- [8 S. Shreyas, J. Koo en S. Bagchi, „TRIFECTA: Security, Energy Efficiency, and Communication
5] Capacity Comparison for Wireless IoT Devices,” IEEE, 2018.
- [8 „sodaq.com,” sodaq, [Online]. Available: <https://shop.sodaq.com/sodaq-one-eu-rn2483-v3.html>.
6] [Geopend 25 04 2018].
- [8 „dropbox.com,” dropbox, [Online]. Available:
7] [https://www.dropbox.com/s/679gjqa5fk5tp3/LoRa%20QuickStart%20Guide%20\(English\).pdf?dl](https://www.dropbox.com/s/679gjqa5fk5tp3/LoRa%20QuickStart%20Guide%20(English).pdf?dl=0)
=0. [Geopend 25 04 2018].
- [8 „github.com,” github, [Online]. Available:
8] <https://github.com/iotacademy/marvin/tree/master/Hardware> . [Geopend 26 04 2018].
- [8 „kickstarter.com,” kickstarter, [Online]. Available:
9] <https://www.kickstarter.com/projects/688158475/marvin-the-lora-development-board/> .
[Geopend 27 04 2018].
- [9 „conrad.nl,” conrad, [Online]. Available: <https://www.conrad.nl/p/marvin-lora-development->

0] board-for-iot-048158 . [Geopend 28 04 2018].

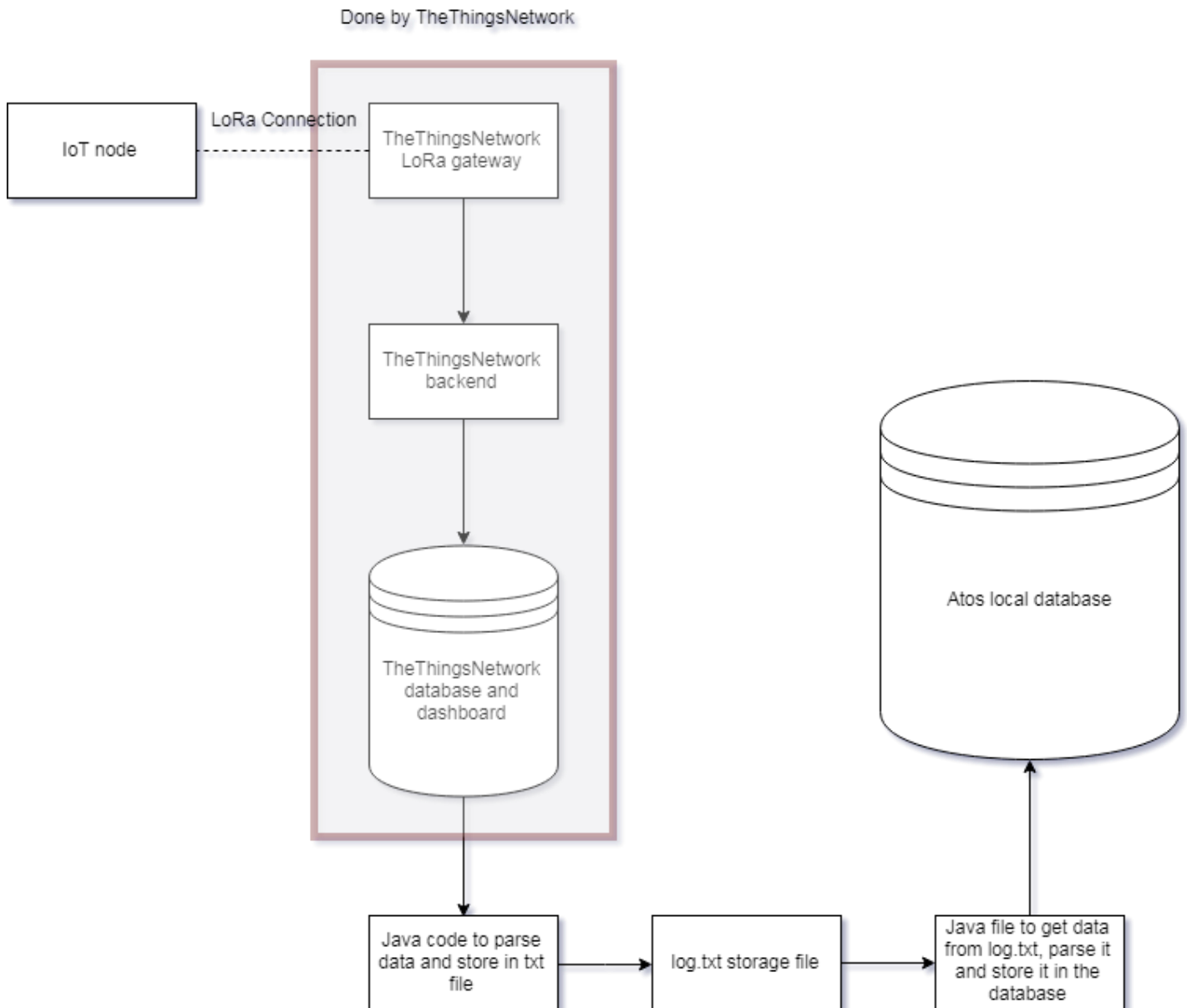
[9 „researchgate.net,” researchgate, [Online]. Available:

1] https://www.researchgate.net/post/Can_anyone_recommend_an_underwater_infrared_light_lamp_that_can_be_used_to_monitor_fish_behaviour. [Geopend 18 06 2018].

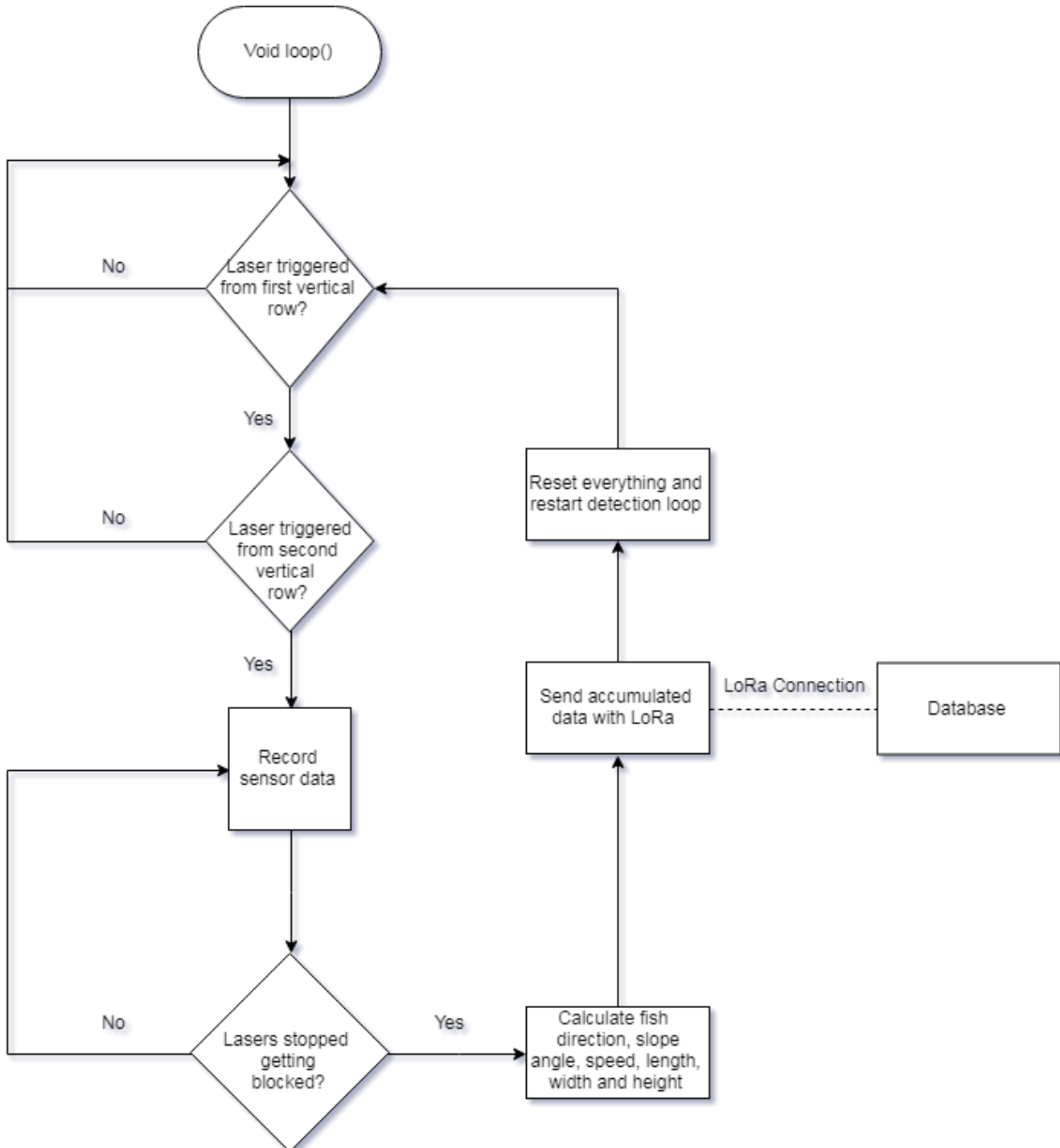
Bijlages

Bijlage I Flowcharts systemen

Ten eerste de flowchart van de database connectie. Het gedeelte in rood wordt geregeld door TheThingsNetwork. Alles wat niet in het rood staat is deel van het project en gemaakt door projectleden.



Ten tweede een vereenvoudigde flowchart van de microcontroller code.



Bijlage II Uitleg criteria sensoren vergelijking

Om de geschikte sensor te vinden moet rekening worden gehouden met meerdere criteria. Niet alle punten zijn even belangrijk. Daarom wordt er gebruik gemaakt van een weging systeem waarbij sommige criteria zwaarder meewegen dan andere criteria. De vergeleken eigenschappen zijn gebaseerd op de volgende eisen:

- De sensoren autonoom werken.
- De sensoren non-intrusief zijn voor de vissen.
- De sensoren zo goedkoop mogelijk zijn.
- De sensoren minimaal energie verbruiken.
- De sensoren waterdicht zijn.

Hierna is een uitleg te vinden per eigenschap die is meegenomen in de vergelijking.

- Energieverbruik

Voor de sensoren is het belangrijk dat het energieverbruik laag is zodat de sensor meerdere weken mee kan gaan op een accu.

- Aanschafkosten

Voor het eindproduct is het van enig belang dat het niet te duur wordt. Hoewel er geen budget is bepaald en geen specifieke eisen zijn gesteld aan de totale kosten en uitgaven is het toch belangrijk om de goedkoopst mogelijke keuzes te maken.

- Type herkenning/identificatie

Om vismigratie te herkennen moeten vissen te onderscheiden zijn van andere objecten (e.g. vuilnis in het water). Daarnaast is het ook interessant om vis soorten te kunnen herkennen en vissen te kunnen identificeren.

- Waterdichtheid/onderwater geschiktheid

Een eis is dat de hardware waterdicht is en onderwater metingen kan verrichten. Daarom moet er worden gekeken naar de waterdichtheid van een sensor en in hoeverre een sensor bedoeld is om in water te gebruiken. Sensoren kunnen later nog waterdicht gemaakt worden met siliconen kit indien mogelijk.

- Complexiteit plaatsen sensor

Het plaatsen van de sensor in een (onderwater) omgeving mag niet te complex zijn. Dit is van enig belang bij het testen en bij het eindproduct.

- Intrusief & non-intrusief (Belemmering vissen)

Een eis is dat de sensoren de vissen niet fysiek mogen belemmeren.

- Max vissen

Het aantal vissen dat 1 sensor maximaal kan zien. Beschreven in minder dan 1 vis per sensor, 1 vis per sensor en meer dan 1 vis per sensor.

- Datakosten

Hoewel er altijd wel data compressie toegepast kan worden is het toch belangrijk om te weten hoeveel data er wordt gegenereerd omdat dit in direct verband staat met het energieverbruik en de mogelijke IoT communicatiemethodes.

Bijlage III Energieverbruik, databerekening & maximum vissen per seconde met LoRa

In volgend figuur is te zien hoeveel vissen per seconde er verwerkt kunnen worden bij een LoRa bericht met 64 bytes aan data (51 bytes vis data en 13 bytes LoRa header). Per vis is 3 bytes aan data benodigd. Dit betekent dat er maximaal 17 vissen verstuurd kunnen worden per LoRa bericht.

Dit is ook gelijk het piek aantal vissen dat het systeem aan kan in het geval dat er veel vissen tegelijk langs het systeem zwemmen. Zodra het piek aantal is bereikt zal het systeem het LoRa bericht verzenden en de wacht lengte afwachten voor het volgende bericht verzonden kan worden.

Door een lagere spreading factor te kiezen kan er meer vis info per LoRa bericht verzonden worden en meer vissen per seconde verwerkt worden. Het piek aantal vissen dat is berekend staat gelijk aan het maximum aantal vissen dat kan worden verzonden per LoRa bericht.

Spreading factor	SF12	SF11	SF10	SF9	SF8	SF7
Airtime (in milliseconden)	2465,80	1314,80	698,40	390,10	215,60	118,00
Wacht lengte (in seconden)	244,11	130,17	69,14	38,62	21,34	11,68
Dutycycle lengte (in seconden)	246,58	131,48	69,84	39,01	21,56	11,80
Detectiesnelheid (in vissen per minuut)	4,14	7,76	14,60	26,15	47,31	86,44
Detectiesnelheid (in vissen per seconde)	0,07	0,13	0,24	0,44	0,79	1,44
Bereik platteland (in kilometers)	20	14	8	6	4	2
Bytes verspild per vis	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Piek aantal vissen dat het systeem aankan (per dutycycle)	17	17	17	17	17	17

In volgend figuur is te zien hoeveel vissen per seconde er verwerkt kunnen worden bij een LoRa bericht met 230 bytes (217 bytes vis data en 13 bytes LoRa header) aan data. Dit is het maximaantal bytes data met spreading factor 7 en 8 verstuurd kan worden. Voor spreading factor 9, 10, 11 en 12 is dit een te grote hoeveelheid aan bytes en is het dus niet mogelijk om die spreading factoren te gebruiken.

Met 230 bytes passen er 72 vissen per LoRa bericht en is dit efficiënter dan een maximum van 64 bytes aan data. Wel betekent dit dat er meer data verloren kan gaan per bericht dat wordt verzonden, als het bericht niet aankomt (packet loss). In geval van packet loss moet een bericht opnieuw worden verzonden. Het piek aantal vissen dat is berekend staat gelijk aan het maximum aantal vissen dat kan worden verzonden per LoRa bericht.

Spreading factor	SF8	SF7
Airtime (in milliseconden)	635,39	363,78
Wait length (in seconden)	62,90	36,01
Dutycycle length (in seconden)	63,54	36,38
Detection rate (in vissen per minuut)	68,30	119,30
Detection rate (in vissen per seconde)	1,14	1,99
Bereik platteland (in kilometers)	4	2
Bytes verspild per vis	0,18	0,18
Piek aantal vissen dat het systeem aankan (per dutycycle)	72	72

Instellingen LoRa calculator tool

Deze berekeningen zijn onder andere gemaakt met behulp van de LoRa calculator tool en de volgende instellingen:

Instelling	Spreading factor	Bandwidth	Coding rate	Low datarate	Payload length	Programmed Preamble	Header mode	CRC mode
Status	Variabel	125	1	Uit	Lengte bericht (64 bytes of 230 bytes)	8	Explicit header aan	Aan

Bijlage IV Requirements analyse, MoSCoW, kwaliteitseisen code

Must have	Autonome functionaliteit prototype
	Werking met het Internet of Things
	Opslag IoT vismigratie data op lokale database
	Non-intrusieve meetmethode voor vissen
	Correcte metingen en werking onderwater
	Werking op batterijvoeding
	Energiezuinigheid hardware
Should have	Waterdichtheid hardware
	Energiezuinigheid software
	Sonar vis detectie
Could have	Een volledig waterdichte behuizing met custom design
	Nog meer sensoren voor vis detectie (meer lasers, pH sensor, water snelheidsmeter)
	Test met echte vissen
Won't have	Volledige test prototype in een vispassage
	Lokale visuele omgeving voor het direct afbeelden van ontvangen metingen

Functionele requirements

Ten behoeve van de gebruiker van het systeem.

Specifiek: Het prototype moet autonoom functioneren zonder input van een gebruiker of toezicht van een medewerker.

Meetbaar: Het prototype moet autonoom vismigratie meten en de data doorsturen naar de server.

Aanwijsbaar: Ik ben verantwoordelijk voor deze taak.

Realistisch: Het prototype werkt onder normale omstandigheden autonoom. Indien er zich een fout voordoet door externe factoren of onderhoud benodigd is, zal er alsnog een medewerker moeten worden ingeschakeld.

Tijdsgebonden: binnen 4 weken.

Specifiek: Het prototype moet werken met het Internet of Things.

Meetbaar: Het prototype kan succesvol berichten versturen via het Internet of Things.

Aanwijsbaar: Ik ben verantwoordelijk voor deze taak.

Realistisch: Het prototype stuurt berichten via het Internet of Things naar een kant-en-klaar platform waar deze berichten te zien zijn voor de beheerder van de node.

Tijdsgebonden: binnen 2 weken.

Specifiek: Het prototype moet non-intrusief zijn voor vissen.

Meetbaar: Uit onderzoek moet blijken dat vissen geen last hebben van de geadviseerde meetmethode.

Aanwijsbaar: Ik ben verantwoordelijk voor deze taak.

Realistisch: Uit vooronderzoek blijkt dat de te adviseren meetmethode non-intrusief is voor vissen.

Tijdsgebonden: binnen 2 weken.

Non-functionele requirements

Kwaliteitseisen waaraan het systeem moet voldoen, ISO 9126 voor kwaliteitseisen.

Specifiek: Het prototype moet correct onderwater metingen verrichten.

Meetbaar: Uit praktische tests moet blijken dat het prototype een correctheid van meer dan 90% heeft in alle aspecten van de meting.

Aanwijsbaar: Ik ben verantwoordelijk voor deze taak.

Realistisch: Met een bepaalde hoeveelheid praktische tests moet de correctheid van het prototype worden bepaald.

Tijdsgebonden: binnen 1 week.

Specifiek: Het prototype moet hardware matig energiezuinig zijn

Meetbaar: Het prototype maakt gebruik van de meest energiezuinige hardwarecomponenten

Aanwijsbaar: Ik ben verantwoordelijk voor deze taak.

Realistisch: Na vergelijking van meerdere componenten, het meest energiezuinige component gebruiken.

Tijdsgebonden: binnen 1 week.

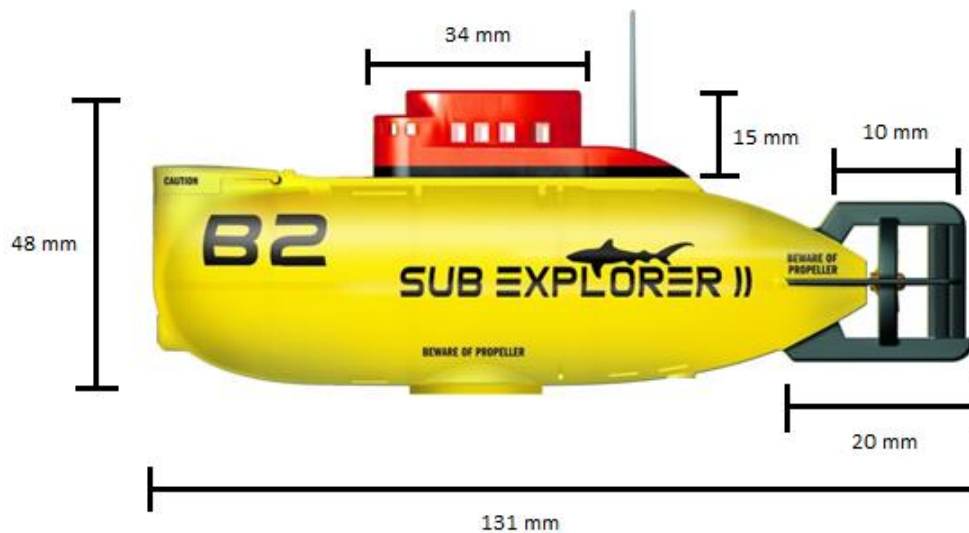
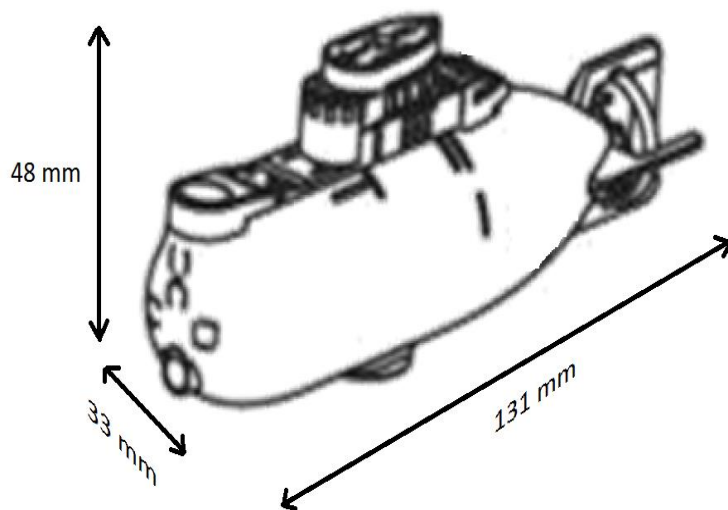
Kwaliteitseisen code

Voor geschreven code is het volgende belangrijk:

- Code werkt correct onder normale omstandigheden en tijdens het verrichten van metingen
- De code is zo efficiënt mogelijk geschreven (waarbij niks dubbel wordt uitgevoerd)
- De code bestaat uit functies of classes die de code modulair maken
- De code bevat geen verwarrende onderdelen en leesbaar zijn. (Geen magic numbers, niet gedocumenteerde onderdelen etc.)

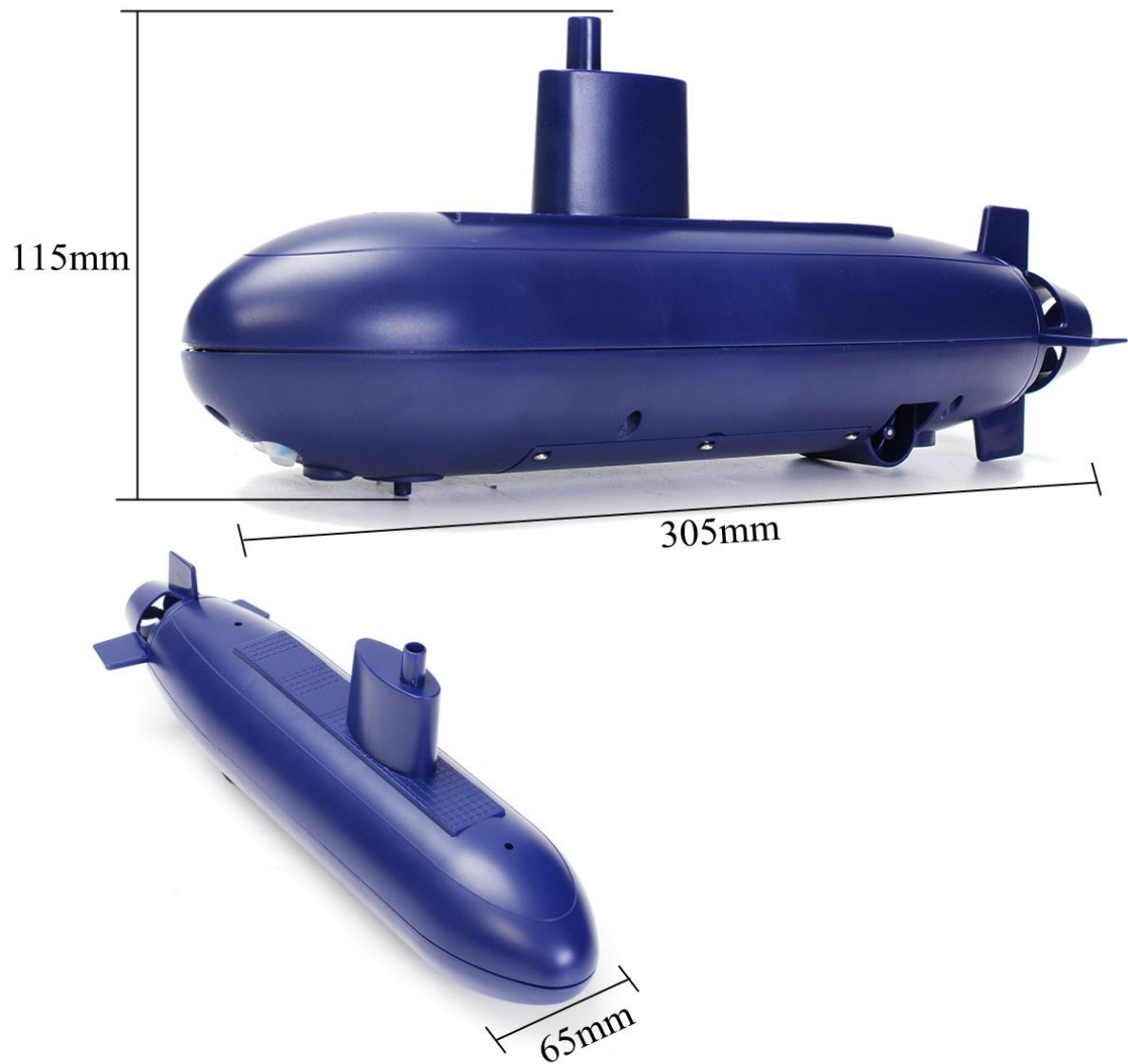
Bijlage V Afmetingen testobject 1

Een schematische tekening van het kleinere testobject met daarnaast een foto van het testobject. Alle afmetingen in de tekening zijn volledige afmetingen van het geheel van het object. Dit object moet een driedoornige stekelbaars vertegenwoordigen.



Bijlage VI Afmetingen testobject 2

Een foto met afmetingen van het tweede testobject. Dit object moet een zalm voorstellen.



Bijlage VII Vergelijkingstabel vismigratie methodes

Eigenschap	SONAR	PIT tag	Akoestische tag	LIDAR	Laser	Resistive	Mechanisch luik	Camera & edge computing
Energieverbruik	+	--	++	-	+++	-	+++	---
Prijs	+	+	N/A	-	+++	--	+++	--
Vis identificatiemogelijkheid	++	++	++	++	--	++	--	+++
Waterdichtheid/onderwater geschiktheid	+++	++	++	++	--	++	--	++
Complexiteit plaatsen sensor	++	--	--	++	++	--	--	--
Belemmering vissen	++	--	--	++	++	--	--	++
Max vissen zien per sensor	+	+	+	++	--	++	+	++
Datakosten (IoT Narrowband/LoRa)	+	++	+	--	++	+	++	++
Totaal (punten)	13	2	4	6	6	0	1	4
Totaal impact	26	5	10	7	19	-2	6	10

Legenda

+ = Goed genoeg voor het projectdoel
 ++ = Meer dan voldoende
 +++ = Uitermate geschikt/perfect
 - = Niet geschikt, maar valt te proberen
 -- = Zeer ongeschikt
 --- = Uitermate ongeschikt

= Hoogste score

= Weging 1x

= Weging 2x





= Weging 3x

Totale impact = weging * score

Bijlage VIII Vergelijkingstabel IoT communicatiemethodes

Eigenschap	Narrowband-IoT	LoRa	SigFox	WiFi	Bluetooth	ZigBee
Energieverbruik	--	+++	+++	-	+++	+++
Prijs	€5 + 6/j (++)	€0 - 100 of €10 + €10/m (+)	€1-14/j (+)	Router & internet abonnement (-)	N/A (+++)	N/A (+++)
Bereik	+	++	+++	---	---	---
Bandbreedte	++	+	---	+++	++	++
Dekking in NL	+++	--	+++	++	N/A (---)	N/A (---)
Betrouwbaarheid	--	++	++	+	++	++
Beveiliging	+	++	++	++	++	++
Restrictie	N/A (+++)	1% (+)	140U+4D & 1% (-)	N/A (+++)	N/A (+++)	N/A (+++)
Leverancier	T-Mobile, Vodafone	KPN, TTN	Aerea	ZIGGO, KPN, XS4ALL, TELE2	N/A	N/A
Totaal (punten)	8	10	10	6	9	9
Totaal impact	15	21	20	5	13	13

Legenda

+ = Goed genoeg voor het projectdoel
 ++ = Meer dan voldoende
 +++ = Uitermate geschikt/perfect
 - = Niet geschikt, maar valt te proberen
 -- = Zeer ongeschikt
 --- = Uitermate ongeschikt
 = Hoogste score
 = Weging 1x
 = Weging 2x
 = Weging 3x
 Totale impact = weging * score

Bijlage IX Vergelijkingstabel microcontrollers

Eigenschap	SODAQ LoRa one v3	TTN Uno	Marvin LoRa
Energieverbruik	++	N/A	-
Prijs	-	+	-
Processor	ATSAMD21G18	ATmega32u4	Atmega32u4
Processorsnelheid	+++	+	+
Aantal pins analoog	+	+	--
Aantal pins digitaal	+	++	--
Max voltage I/O pins	3,3v	5v	5v
Max amperage per I/O pin	+	++	++
LoRa module	RN2483	RN2483	RN2483
Input power board	3,7 - 5v	5v of 7 - 12v	3,3 - 5v
Protocollen	PWM, UART, SPI, I2C	PWM, UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C
Totaal (punten)	7	7	-1
Totaal impact	10	8	-6

Legenda

- + = Goed genoeg voor het projectdoel
- ++ = Meer dan voldoende
- +++ = Uitermate geschikt/perfect
- = Niet geschikt, maar valt te proberen
- = Zeer ongeschikt
- = Uitermate ongeschikt
- = Hoogste score
- = Weging 1x
- = Weging 2x
- = Weging 3x

Totale impact = weging * score

Bijlage X Vergelijkingstabel sonar

Eigenschap	Airmar DST800	Airmar P39	Garmin intelliducer NMEA 0183/2000	MB7040-131
Energieverbruik	-	-	N/A	+++
Frequentie	+	+	++	+++
Communication protocol	NMEA 0183/2000	NMEA 0183/2000	NMEA 0183/2000	I2C
Update rate	-- (Elke seconde)	-- (Elke seconde)	-- (Elke seconde)	++ (Elke 0,025 seconde (40 Hz))
Prijs	+ (€240)	-- (€460)	+ (€199)	+ (€205)
Waterdichtheid	Volledig	Volledig	Volledig	Volledig
Geschiktheid voor onderwater gebruik	+++	+++	+++	+
Minimumafstand detectie vis	--- (1,7 m)	-- (1,54 m)	- (0,95 meter)	++ (0 - 0,8 m)
Bereik maximum visdetectie	++ (70 m)	++ (100 m)	+++ (275 m)	+ (31 m)
Cone angle (in graden)	10x44	11	17,5	11
Totaal (punten)	1	-1	6	13
Totaal impact	-4	-7	7	30

Legenda

- + = Goed genoeg voor het projectdoel
- ++ = Meer dan voldoende
- +++ = Uitermate geschikt/perfect
- = Niet geschikt, maar valt te proberen
- = Zeer ongeschikt
- = Uitermate ongeschikt
- = Hoogste score
- = Weging 1x
- = Weging 2x
- = Weging 3x

Totale impact = weging * score

Bijlage XI Testplan prototype

1.1 Test risico's/problemen analyse

Risico	Kans	Impact	Effect (kans x impact)
De lasers zijn niet goed afgesteld en resulteren tot een verkeerde meting	2	2	4
Golven in het wateroppervlak beïnvloeden de verticale laserstralen	2	2	4
Weerkaatsing van laserstralen vanaf het testobject valt op de verkeerde ontvanger sensoren	2	3	6

1.2 Te testen onderdelen

Testonderdeel	Test beschrijving	Test datum	Verantwoordelijkheid
Laser functionaliteit in water	Lasers onderwater plaatsen en meten of de laserstralen door het water heen gaan en effectiviteit testen.	21-05-2018	Feyyaz
Licht kalibratie in water	Prototype kalibreren met licht van lasers en ruis van andere lichtbronnen (daglicht en kunstmatig licht).	25-05-2018	Feyyaz
Algoritme test prototype in water	Algoritme visdetectie en afmeting bepaling testen.	28-05-2018	Feyyaz

1.3 Test aanpak

Functionaliteit en kalibratie in water

Voor het testen van de functionaliteit zullen de lasers buiten het water op een hoek van 90 graden met het water geplaatst worden om te kijken of de laserstralen door het water heen kunnen.

Voor het kalibreren van de lichtintensiteit zal worden gekeken naar de lichtintensiteit als de lasers uit staan en aan staan. De lichtintensiteit zonder de laserstralen wordt als ruis genoteerd. De lichtintensiteit waarbij de lasers aan staan is het maximum. Indien de lichtintensiteit gelijk staat aan meer dan 2,5x de lichtintensiteit bij ruis dan wordt dat gezien als een laserstraal. Dit zorgt ervoor dat een kleine dip in de lichtintensiteit door viezigheid in het water niet gelijk als een vis wordt aangezien.

Het testen en kalibreren van de lichtintensiteit wordt uitgevoerd tijdens een zonnige middag en tijdens een avond waarbij er alleen kunstlicht aanwezig is. Deze test wordt herhaald op 3 verschillende dagen waarbij er een samples worden genomen voor een gemiddelde. Zo worden er 3 metingen verricht voor vol zonlicht en 3 metingen voor kunstlicht. Het gemiddelde van deze 3 metingen wordt meegenomen voor het bepalen van het gemiddelde aan lichtintensiteit.

Beide tests zullen worden uitgevoerd in een aquarium van 150x40x40 cm (L x B x H)¹. De lichtintensiteit sensor zal naar de lichtbron toe worden geplaatst met het aquarium (met water) tussen de sensor en lichtbron in. Bij de metingen met zonlicht zit er ook een glazen raam tussen het aquarium en de zon in.

Algoritme test

Voor het testen van het algoritme en de logica voor het detecteren en meten van de afmetingen van de vis zal gebruik worden gemaakt van een aquarium van 150x40x40 cm (L x B x H). In dit aquarium zullen er twee testobjecten geplaatst worden die een vis moeten simuleren. Deze objecten zwemmen op verschillende lengtes, hoogtes en breedtes langs de lasers. Het eerste testobject is een onderzeeboot met afmetingen van 131x33x48 mm (L x B x H). Het tweede testobject is een grotere onderzeeboot met afmetingen van 305x65x115 mm (L x B x H). Samen moeten de twee testobjecten een kleine en grote vis die langs zwemmen simuleren.

Beide testobjecten zullen 3 keer langs de lasers zwemmen waarbij de lengte, breedte en hoogte van het object wordt gemeten. Deze metingen worden daarna verwerkt in een grafiek waarin is te zien wat de afwijking is en hoe goed het prototype werkt.

De testobjecten zullen ook 3 keer tegelijk langs de lasers zwemmen, op willekeurige posities om meerdere vissen die tegelijk langs de lasers zwemmen te simuleren.

1. Maximale toegestane grootte van het aquarium. Een groter aquarium werd niet toegestaan in verband met het gewicht van het aquarium.

1.4 Test succes- en faalcriteria

Succes

- De lasers kunnen door het water heen schijnen.
- Het prototype kan succesvol berekenen wat de lengte, breedte en hoogte van een langs zwemmend object is.
- Maximaal een afwijking van 10% voor de berekeningen van de lengte, breedte en hoogte.
- Minimaal 66% van alle metingen klopt met de verwachte resultaten

Faal:

- De laserstralen kunnen niet door het water heen
- Het prototype kan geen lengte, breedte of hoogte berekenen
- De afwijking van een enkele meting is boven de 10%
- In totaal kloppen minder dan 66% van de metingen

1.5 Test deliverables

Als deliverable zal er een tabel en grafiek worden gemaakt waaruit de metingen af te lezen zijn en vergeleken worden.

Bijlage XII Testplan sonar

1.1 Test risico's/problemen analyse

Risico	Kans	Impact	Effect (kans x impact)
Sonar werkt totaal niet onderwater	2	3	6
Sonar werkt zeer fluctuerend met metingen	2	1	2
De testopstellingen zijn niet beschikbaar	2	3	6

1.2 Te testen onderdelen

Testonderdeel	Test beschrijving	Test datum	Verantwoordelijkheid
Sonar functionaliteit in water	Sonar plaatsen in water en kijken of het metingen doet op verschillende afstanden.	7-05-2018	Feyyaz
Sonar kalibratie in water	Sonar plaatsen in water en metingen doen op vooraf bepaalde afstanden. Met deze metingen en de echte afstanden de sonar kalibreren.	14-05-2018	Feyyaz
Voltage test in water	De sonar zal worden getest op 3,3v en 5v om het effect in het water te testen.	14-05-2018	Feyyaz

1.3 Test aanpak

Functionaliteit en kalibratie in water

Voor het testen van de functionaliteit zal de sonar in het water geplaatst worden om te kijken of de sonar metingen kan doen. Deze test zal ten eerste worden uitgevoerd in een aquarium van 150x40x40 cm (L x B x H). Daarna zal de test in een groter aquarium worden uitgevoerd van 500x50x50 cm en in een zwembad van meer dan 100 x 100 x 100 cm. Zo wordt de sonar getest op meerdere testplekken van verschillende hoogtes, dieptes en breedtes.

Het kalibreren van de sonar zal worden uitgevoerd door het testen van de sonar in de 3 beschreven testopstellingen. Deze metingen zullen (zover mogelijk) op afstanden van 1 m, 1,5 m en 2 m van het eindpunt van de testopstelling uitgevoerd worden. Nog grotere afstanden zijn onrealistisch voor het eindproduct en worden daarom niet meegenomen in de kalibratie. Elke meetafstand zal 3 keer worden getest waarbij het gemiddelde zal worden meegenomen in de eindresultaten.

De diepte en breedte positie van de sonar is ten alle tijden zoveel mogelijk in het midden van de totale lengtes. Dus bij de eerste testopstelling op 20 x 20 cm, bij de tweede opstelling op 25 x 25 cm en bij de derde opstelling op 50 x 50 cm. Dit zorgt ervoor dat de sonar geluidspuls genoeg ruimte heeft.

Voedingsspanning

De sonar kan werken op verschillende voltages, met verschillende resultaten als gevolg. Voor het testen van deze verschillen zal de sonar worden aangestuurd met een voedingsspanning van 3,3v en 5v. Beide voltages zullen volledig worden getest in combinatie met de verschillende testopstellingen en testafstanden beschreven in de vorige paragraaf.

1.4 Test reglementen/toestemming

Voor de test is toestemming vereist van de eigenaren van de testopstellingen. Voor de eerst beschreven testopstelling van 150 x 40 x 40 cm is dit niet het geval, deze testopstelling is van het projectteam. Voor alle testopstellingen is het van belang om te voldoen aan de reglementen van de eigenaren.

1.5 Test succes- en faalcriteria

Succes

- De sonar kan in het water metingen verrichten. Er zijn meetresultaten boven de 20 cm.
- De metingen van de sonar in het water kloppen met de verwachte resultaten.
- Maximaal een foutmarge van 5% voor de meetresultaten.
- Metingen fluctueren, maar 66% van alle metingen klopt vergeleken met de verwachte resultaten.

Faal

- De sonar kan geen metingen in het water verrichten. Alle meetresultaten zijn tussen de 0 en 20 cm.
- De meetresultaten kloppen niet met de werkelijke afstanden.
- De foutmarge van de meetresultaten is groter dan 5%
- De metingen fluctueren hevig. Meer dan 33% van de metingen klopt niet.

1.6 Test deliverables

Als deliverable zal er een grafiek worden gemaakt waaruit de metingen en kalibratie af te lezen zijn.

Bijlage XIII Problemen onderzeeboten

Hoogte problemen grote onderzeeboot (bijlage VI)

De onderzeeboot heeft geen hoogte bediening. Daarnaast is het zo ontworpen dat de onderzeeboot of op het wateroppervlak blijft drijven óf naar de bodem zinkt. Dit betekent dat de hoogte van de onderzeeboot niet getest kan worden.

Waterdichtheid grote onderzeeboot (bijlage VI)

De onderzeeboot is niet waterdicht genoeg en begaf het na een aantal functionele tests. Dit gebeurde kort voor het einde van het project en hierdoor zijn er ook geen metingen van de breedte en lengte van de onderzeeboot.

Radio Frequentie problemen kleine onderzeeboot (bijlage V)

Tijdens het project zijn er ook 2 kleine onderzeeboten besteld om het prototype te testen voor meerdere vissen. Bij het testen bleek dat beide onderzeeboten op hetzelfde frequentie werken. Hierdoor was mogelijk met 1 afstandsbediening beide onderzeeboten te besturen.

Bestuurbaarheid kleine onderzeeboot (bijlage V)

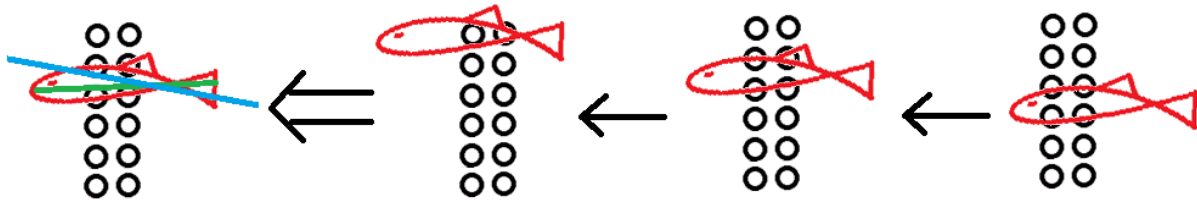
De kleine onderzeeboot is lastig te besturen mede door de 3 functies (vooruit/achteruit, links/rechts draaien, duiken/opkomen) die tegelijk aangestuurd moeten worden. Ook heeft de onderzeeboot problemen met het bewaren van zijn hoogte, deze is zeer onstabiel en vereist constante correcties tijdens het vooruit/achteruit varen. Daarnaast heeft de onderzeeboot een erg trage reactiesnelheid op hoogte correcties wat resulteert in te veel correctie in de verkeerde richting. Het uitvoeren van één specifieke meting kan zo meer dan 10 minuten duren met weinig garantie op succes.

Duikproblemen kleine onderzeeboot (bijlage V)

De kleine onderzeeboot duikt door middel van een schroefmotor die de duiktank vult. Door het extra gewicht zal de boot dan duiken. Wanneer de duiktank wordt geleegd zal de onderzeeër weer stijgen. Dit principe is anders dan bij een vis en resulteert dus in onrealistische tests. In de figuur hieronder is te zien wat voor problemen het oplevert.

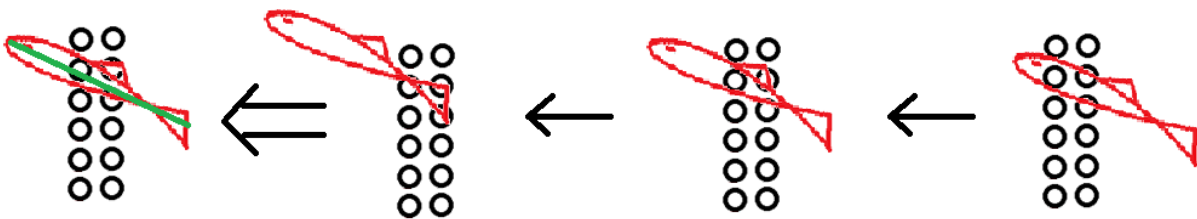
De onderzeeboot duikt en behoudt tijdens het duiken zijn volledig horizontale houding. Een vis zal bij het duiken of opkomen een hoek aannemen en zichzelf voortstuwen met zijn staart. Om te duiken/opkomen als een vis zijn tijdens de tests voor het schuin varen, een gewicht verbonden aan de voorkant van de onderzeeboot (te zien in de laatste figuur in deze bijlage).

De onderzeeboot werkt op deze manier:



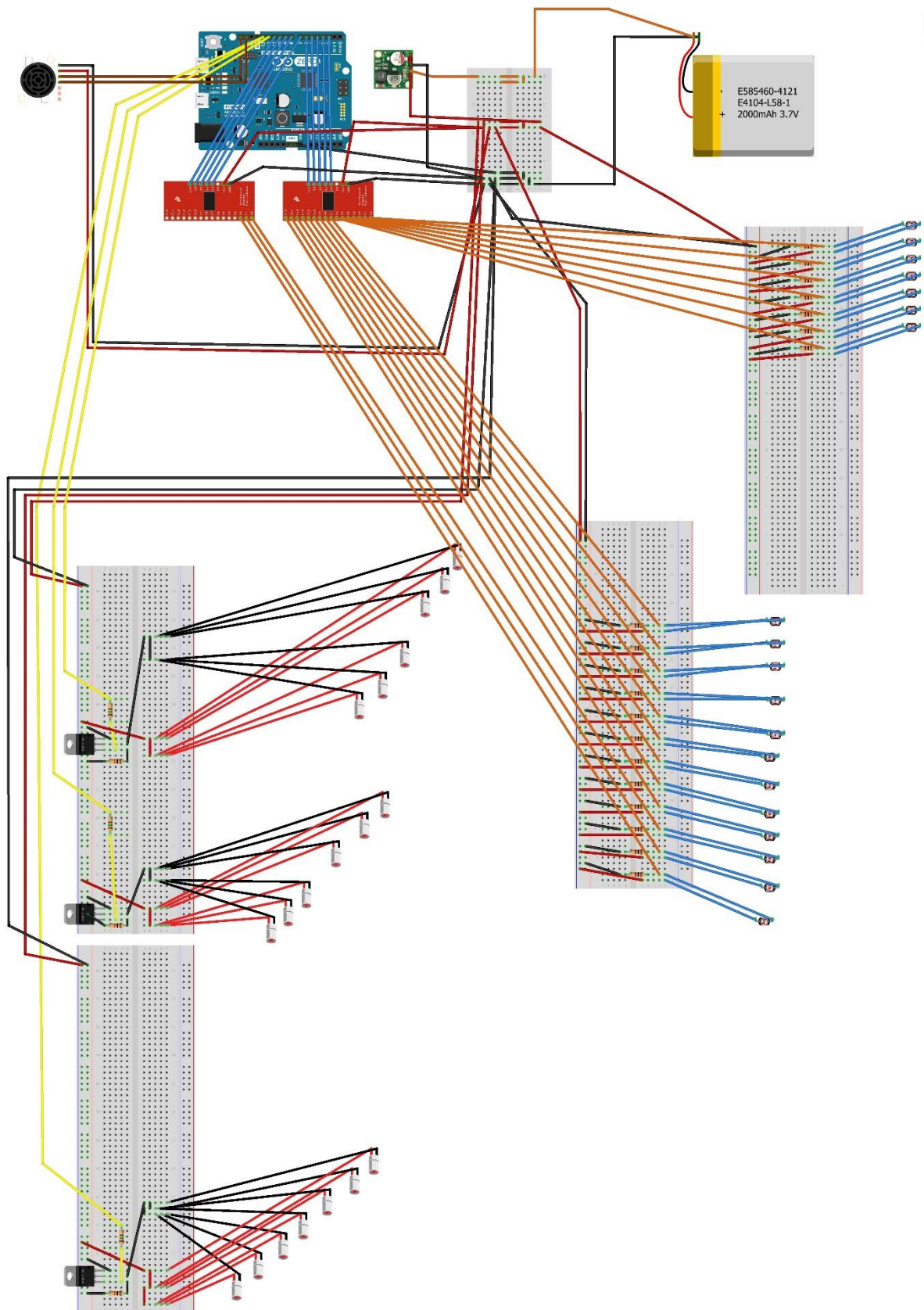
De blauwe lijn op de vis is wat op deze manier wordt gemeten en de groene lijn is wat gemeten moet worden.

Een vis zwemt op deze manier:



De onderzeeboot met het gewicht aan de voorkant bevestigd.

Bijlage XIV Schematische tekening hardware



Bijlage XV Energieberekening prototype.

Hardware specificaties:

Batterij 13,6 Ah @ 3,7 volt

Laser 8 mA @ 3 volt, 19 stuks

Pololu voltage regulator 90% efficiëntie

Microcontroller met CPU (+15 mA) en LoRa module (+9 mA)

Batterij 1200 mAh @ 3,7 volt

Gebruikte methodes voor energiebesparing:

Sleep functie voor lasers en microcontroller (Alleen voor de LoRa module)

Pulserende lasers

De MOSFET transistoren, LDR's, multiplexers, weerstanden en andere inefficiëntie factoren worden buiten beschouwing gelaten voor simplificatie van deze theoretische energieberekening.

Uitleg nut pulserende lasers en sleep functie:

Indien 1/3^e van de lasers (1 van de 3 rijen aan lasers) aan staan tijdens het pulseren en er met pulseren 80% (1 ms puls, 4 ms uit) minder energie wordt verbruikt, is de totale energie die is verbruikt:

$$0,2 * 0,33 * 100\% = 6,6\%$$

Dit betekent dat, indien er geen vissen langskomen, maar 6,6% energie wordt verbruikt vergeleken met wat de lasers normaal verbruiken.

Voor het berekenen van de snelheid van het pulseren is de volgende vergelijking gebruikt:

$$t = s/v$$

Waarbij de snelheid van de vis, 2 meter per seconde of 200 centimeter per seconde (als v) en de breedte van de laserstraal, 1 centimeter (als s) gebruikt worden om de cyclus tijd van de puls te berekenen in seconden (als t).

$$1/200 = 0,005$$

Dit betekent dat een volledige cyclus 5 milliseconden mag duren. De laser moet per 5 milliseconden één keer zo kort mogelijk pulseren. Indien er een cyclus wordt genomen langer dan 5 milliseconden, zwemt de vis voorbij en wordt een deel van de vis dus gemist en niet meegenomen in berekeningen van zijn afmeting.

Energieberekening zonder energiezuinigheid:

Er zijn 19 lasers die 0,008 ampère en 3 volt gebruiken.

$$19 * 0,008 * 3,0 = 0,456 \text{ Watt}$$

Normaal gesproken gebruiken deze lasers 0,456 Watt aan energie. De batterijen hebben een capaciteit van:

$$13,6 * 3,7 = 50,32 \text{ Wh}$$

Om te kunnen achterhalen hoe lang de lasers non-stop door kunnen op deze batterijen doen we het volgende:

$$50,32 / 0,456 = 110,4 \text{ uur}$$

Dit betekent dat de lasers 110,4 uur oftewel 4,6 dagen lang mee kunnen indien de lasers 24 uur per dag aan staan.

Energieberekening met energiezuinigheid:

Voor het gemak nemen we aan dat er elke 3 seconden een vis langs zwemt en dat de vis binnen een seconde langs kan zwemmen. Dit betekent dat de lasers 1 seconde per 3 secondes aan staat en de rest van de tijd pulseert. Bij het pulseren wordt er van de 19 lasers, alleen 1 horizontale rij aan 6 lasers gebruikt.

Als de lasers 1 seconde per 3 secondes aan staan betekent dit ook dat ze 8 uur per 24 uur aan staan en omdat ze de rest van de tijd pulseren betekent dit dat de lasers 16 uur per 24 uur pulseren. Voor het gemak nemen we ook aan dat de lasers 1 milliseconde per 5 milliseconden aan staan tijdens een cyclus.

De 6 lasers die pulseren doen dit 1 milliseconde per 5 milliseconden oftewel de lasers staan 1/5e deel van het pulseren aan. Dit doen de lasers gedurende 16 uur lang. Dit betekent dat de lasers:

$$1/5 * 16 = 3,2 \text{ uur}$$

De 6 lasers staan dus 3,2 uur lang aan tijdens het pulseren. 6 laser die 3,2 uur lang aan staan, staat gelijk aan 19 lasers die:

$$6/19 * 3,2 = 1,01 \text{ uur}$$

In totaal staan er dus 19 lasers 9,01 uur per 24 uur aan.

$$\frac{110,4}{9,01} = 12,25 \text{ dagen}$$

De lasers kunnen dus 12,25 dagen mee met pulseren en sleep waarbij alleen 6 van de 19 lasers werken.

Energieberekening microcontroller:

De microcontroller werkt met 25 milliampère op 3,7 volt (zonder GPS en Axis/Accelerometer modules) en op 15 milliampère indien de LoRa module ook uit staat.

De batterij levert 1200 mAh aan energie op 3,7 volt.

Indien de microcontroller geen gebruik maakt van de sleep methode voor de LoRa module, kan de module maximaal 80 uur mee:

$$1200 / 25 = 48 \text{ uur}$$

De microcontroller kan zo dus maar 2 dagen lang mee.

Energieberekeningen met sleep functie LoRa module:

Voor het gemak nemen we aan dat er 72 vissen in 1 LoRa bericht passen (bijlage III) en dat er elke 3 seconden een vis wordt gedetecteerd. De LoRa module moet zo dus elke 216 seconden, 0,6 seconden (bijlage III) lang aan staan om het bericht te kunnen verzenden.

0,6 seconden per 216 seconden oftewel 1/360e van het normale energieverbruik (10 mA voor de LoRa module).

$$\frac{1}{360} * 10 = 0,028 \text{ mA}$$

De LoRa module verbruikt 0,028 mA aan stroom.

$$\frac{1200}{15,028} = 79,85 \text{ uur}$$

De microcontroller kan met sleep functionaliteit op de LoRa module dus 3,33 dag mee. Langer dan zonder sleep functionaliteit. Voor een nog langere duur moet een grotere batterij worden gekozen.

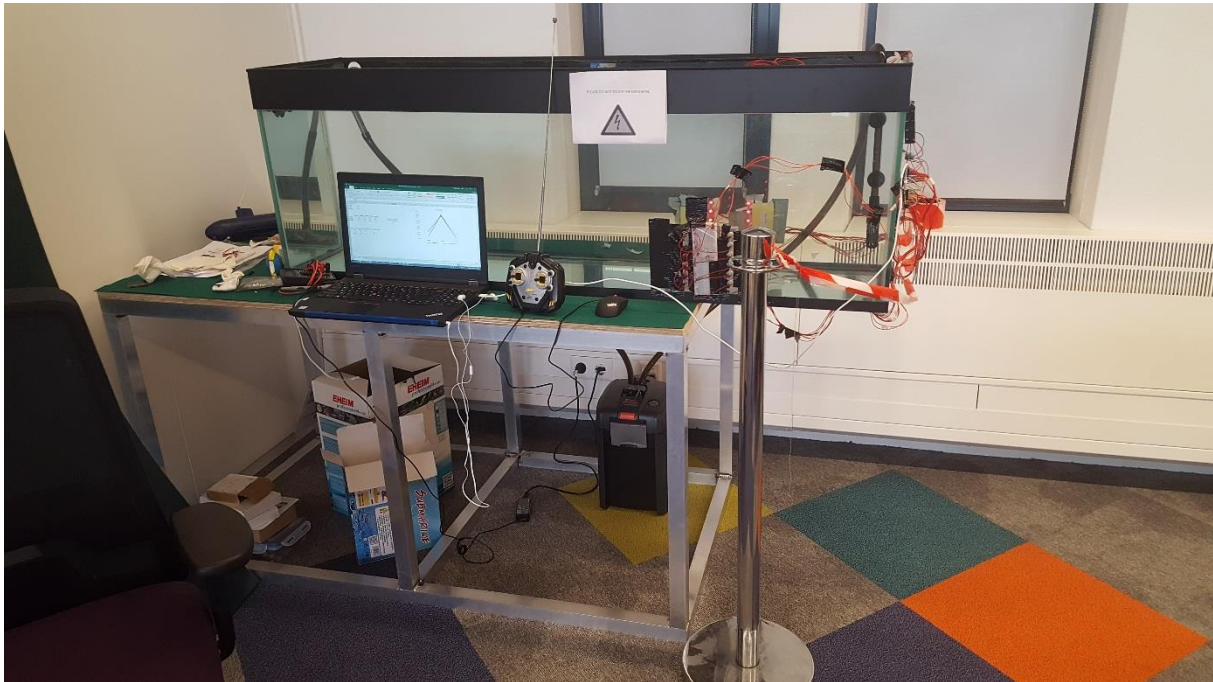
Niet reële situatie:

Indien ook de microcontroller gebruik kan maken van de sleep functionaliteit, kan het energieverbruik van de microcontroller worden teruggebracht tot 50 microampère. In dat geval gaat de batterij meerdere malen langer mee.

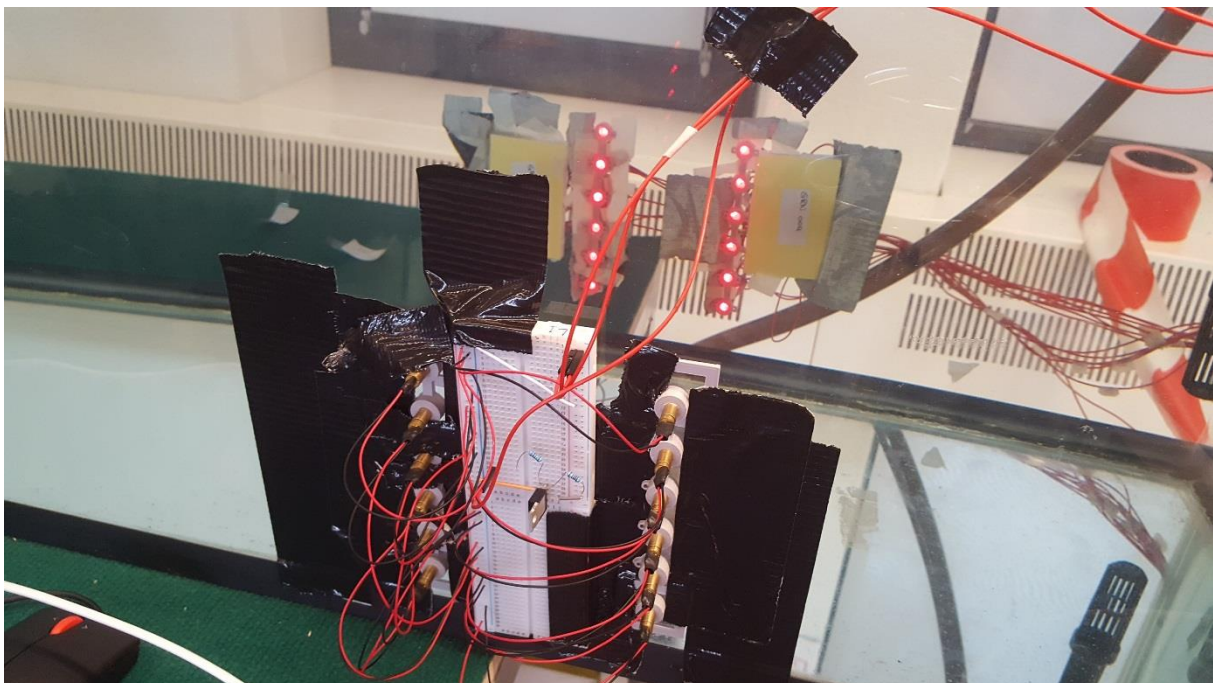
Hoewel dit erg gunstig is, is deze situatie niet reëel omdat de microcontroller de lasers moet laten pulseren en constant in de gaten moet houden of er vissen aanwezig zijn.

Bijlage XVI Foto's testopstelling

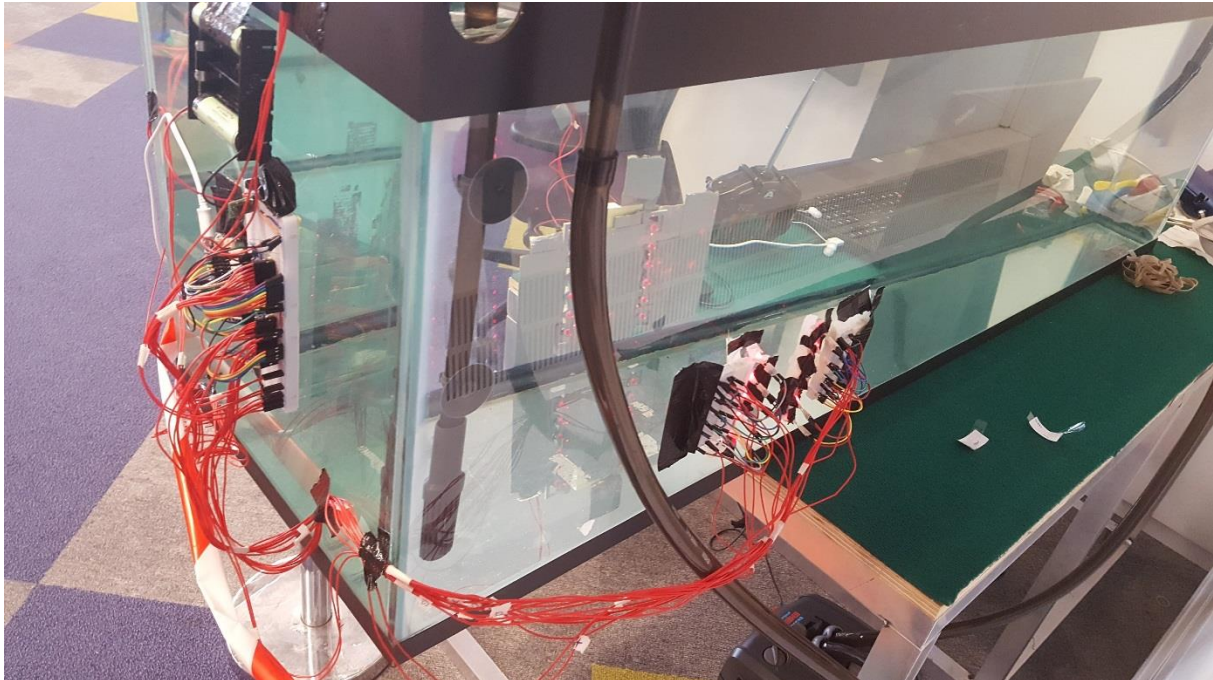
Zijaanzicht



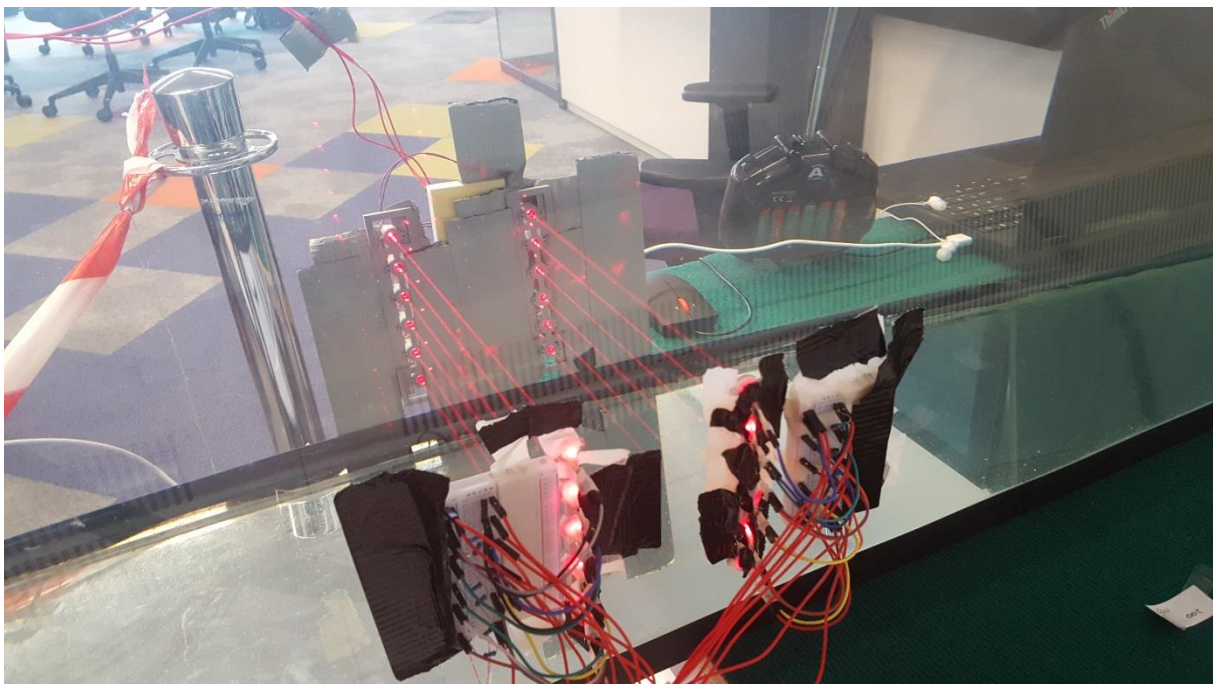
Close-up zijaanzicht



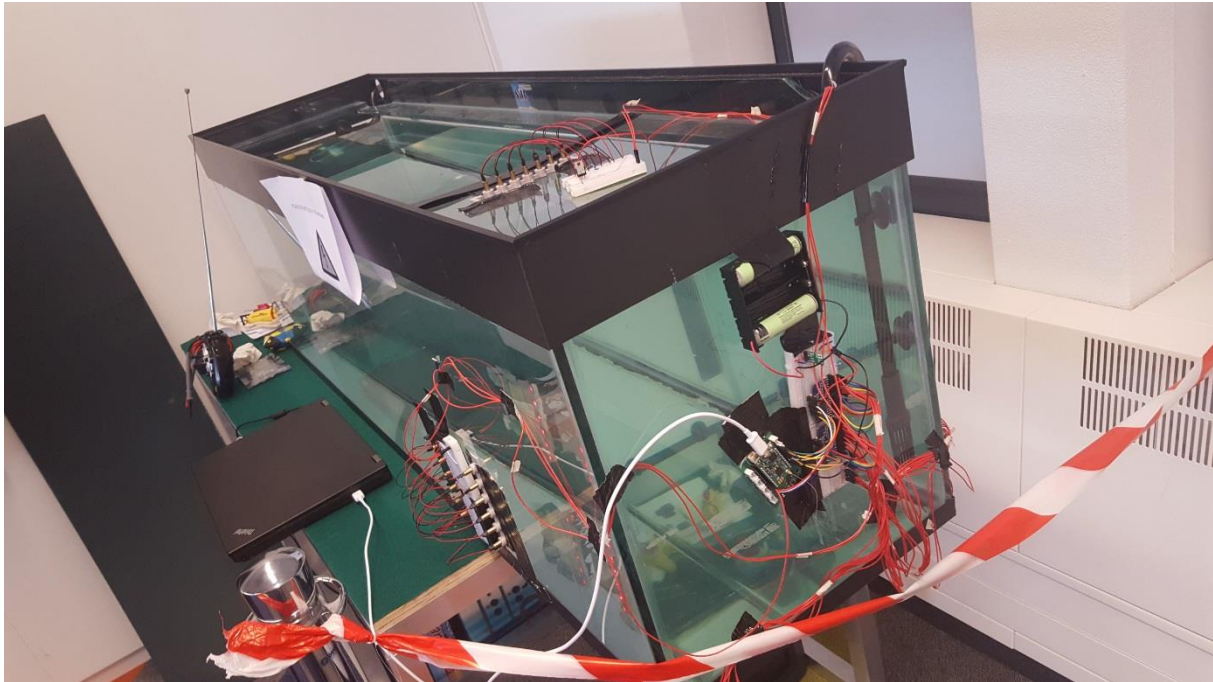
Zijaanzicht 2



Close up zijaanzicht 2



Bovenaanzicht



Hardware

