VRIJ TECHNISCH INSTITUUT St. ALOYSIUS

PAPEBRUGSTRAAT 8A

8820 TORHOUT

Industriële wetenschappen

De ROV

Derynck Simon

Desmet Florian

De Temmerman Arne

Schoonbaert Flor

Timbremont Hendrik

Tolpe Aaron

Vande Walle Benjamin

2015-2016

VTI TORHOUT SINT-ALOYSIUS
Papebrugstraat 8a
8820 Torhout
Telefoon: 050 23 15 15
E-mail: vti@sint-rembert.be

De ROV

"Remotely Operated Vehicle"

Leerlingen:

Derynck Simon

Desmet Florian

De Temmerman Arne

Schoonbaert Flor

Timbremont Hendrik

Tolpe Aaron

Vande Walle Benjamin

Mentors:

Delaere Miranda

Hemeryck Paul

Kindt Augustijn

Vansteenlandt Dave

Boeyden Joke

Geraert Koen

Geïntegreerde proef

2de jaar - 3de graad TSO

team ROV

Industriële Wetenschappen

Schooljaar 2015 - 2016

Préface

Au début du mois de septembre, après quelques jours de consultations et le rejet de nos propositions par nos professeurs , nous avions l'idée sublime de construire quelque chose de nautique. Premièrement nous pensions a un sous-marin; donc avec une personne là-dedans, Bientôt nous nous réalisions que c'etait trop compliqué à réaliser dans une année . Mais l'idée de sous-marin collait. Par hasard on trouvait ROV à l'Internet . Sauf quelques-uns, personne ne savait de l'existance d'une telle machine, méme les professeurs n'avaient auqune idée. En regardant des films YouTube nous nous familiarisions un peu avec l'idée, Il s'agissait d'un petit robot contrôlé à distance . Ce robot est construit et employé non seulement par des amateurs mais aussi par des professionels pour l'exploration sous l'eau. Après avoir proposé le principe de ROV et montré que la construction est adaptée dans notre programme d'études , nous recevions le support de nos enseignants du projet pour notre expédition sous marin.

remercier

Nous voulons remercier quelques personnes qui nous ont aidé avec la réalisation de notre épreuve intégré. Premièrement nous voulons remercier les mentors Mme. M. Delaere, Mme. J. Boeyden, Mr. D. Vansteenlandt, Mr. A. Kindt, Mr. P. Hemeryck et Mr. K. Geeraardt pour leur support. A part de nos professeurs il y a aussi quelques entreprises qui nous ont aidé avec le développement et le support de matériel de notre projet. Spie pour le boitier électronique, VLIZ pour l' information première de ROV. BMC parce qu'il a donné un moteur prototype. Ian Leverington a donné la première information technique sur un ROV. Nous remercions également Mr. Baekeland et Mr. Seys et aussi l'atelier pour leur aide dans la mise en pratique. Enfin le jury pour leur intérêt et leurs questions critiques.

Wie zijn wij?

De Temmerman Arne; Tolpe Aaron; Vande Walle Benjamin; Timbremont Hendrik

Desmet Florian; Derynck Simon; Schoonbaert Flor

Inhoudsopgave

1 Inleiding 12

2 Geschiedenis 15

2.1 Eerste ROV 15

2.1.1 Whitehead torpedo 15

2.1.2 Poodle 17

2.2 US Navy 18

2.2.1 Cutlet 18

2.2.2 CURV 19

2.3 Commerciële ROV's 22

2.3.1 MOBOT voorouder van de commerciële ROV 22

2.3.2 Vliegende commerciële ROV's 23

2.4 Verdere carrière van ROV's in de industrie 24

2.5 Verdere carrière niet-commerciële ROV's 24

2.5.1 Militaire ROV's en politiediensten 25

2.5.2 Onderzoekcentra 25

3 Ontwerp 26

3.1 Evolutie 26

3.2 Laatste ontwerp 29

3.2.1 Zijwanden 30

3.2.2 Profielen 30

3.2.3 Elektronicabehuizing 31

3.2.4 Thrusters 32

3.3 Waterdichte doorvoering 32
3.3.1 Methode 1 32
3.3.2 Methode 2 33
3.3.3 Methode 3 33
3.4 Stabiliteit van de ROV onder water 34
3.4.1 Stabiliteit in rust 34
3.4.2 Stabiliteit in beweging 37
3.5 Materiaalkeuze 44
3.5.1 Elektronicabehuizing 44
3.5.2 Profielen 46
3.5.3 Zijwanden 47
3.5.4 Keuze Thrusters 48
3.6 Berekeningen 52
3.6.1 Krachten 52
3.6.2 Momenten 56
3.7 Schroeven 58
3.7.1 Effecten 58
3.7.2 Opbouw 59
3.7.3 Systemen 60
3.7.4 Wat voor de ROV? 62
3.8 Risicoanalyse 62
3.8.1 Gebruikslimieten 62
3.8.2 Identificeren, grootte bepalen en evalueren van de risico’s 63
4 Elektronica 68
4.1 Schema 69

4.2 Motoren 70
4.2.1 Gelijkstroommotor 70
4.2.2 Labo motoren 71
4.3 Werkingsprincipe 79
4.3.2 Soorten gelijkstroommotoren 83
4.3.3 Snelheidsregeling 85
4.3.4 Pulsbreedtesturing 85
4.3.5 Toepassing op de ROV 86
4.3.6 Specificaties Johnson JPL650 86
4.4 H-brug 88
4.4.1 Opbouw 88
4.4.2 Principe 88
4.4.3 In de ROV 89
4.4.4 H-bruggen aansluiten op Arduino 89
4.4.5 Schema 91
4.5 Arduino 92
4.5.1 Waarom microcontroller? 92
4.5.2 Waarom Arduino 92
4.5.3 Wat is Arduino 92
4.5.4 Wat moet de Arduino kunnen? 93
4.5.5 Soorten 93
4.5.6 Wat voor ROV? 95
4.5.7 Codering 95
4.6 Lampen 96
4.7 Sensoren 96

4.7.1 Temperatuur 97
4.7.2 Onze temperatuursensor (ds18b20) 102
4.7.3 Druk 109
4.7.4 Onze druksensor (MPX570ASX) 115
4.8 Staalname 118
4.8.1 Opstelling 118
4.8.2 Werking 118
4.8.3 Testen op ons staal 119
4.9 Leidingverliezen 119
4.9.1 Voeding 120
5 Chemie 124
5.1 Wat is water? 124
5.1.1 Fysische eigenschappen van water 124
5.1.2 Chemische opbouw van water 125
5.1.3 Soorten water 127
5.1.4 Waterverbruik 128
5.1.5 Parameters water 130
6 Fysica 149
6.1 Lichtverval in water 149
6.1.1 Wat is licht 149
6.1.2 Waarom is dat water nu blauw 151
6.1.3 Verstrooiing van licht 152
6.2 Beeldvorming onder water 154
6.2.1 Wazig beeld onder water 154
6.3 Thermocline 159

6.3.1 Wat is de thermocline en hoe ontstaat ze? ... 159
6.3.2 Welke factoren spelen een rol ... 160
6.3.3 Waarom is water het zwaarst bij 4°C ... 163
6.3.4 Invloed van de thermocline ... 166
7 Bezoeken ... 169
7.1 VLIZ ... 169
7.1.1 Verloop activiteit ... 169
7.1.2 Besluit ... 170
7.2 Europort ... 171
7.2.1 Deepvision ... 171
7.2.2 Seascape ... 171
7.2.3 MacArtney & Subconn ... 172
7.3 D.E.C.O. ... 172
8 Testen ... 174
8.1 Testen motoren ... 174
8.2 Testen programma ... 174
8.3 Testen waterdichtheid ... 174
8.4 Testen programma ... 175
8.5 Testen waterdichtheid ... 175
8.6 Testen waterdichtheid ... 176
8.6.1 Wartels ... 176
8.6.2 Flenzen ... 177
8.6.3 Elektronicabehuizing ... 177
8.7 Testen waterdichtheid ... 178
8.8 Testen geheel ... 178

8.8.1 Opendeurdag 178
8.8.2 GP-awards 179
9 Handleiding 181
9.1 Hardware 181
9.2 Software 181
9.2.1 Arduino 181
9.2.2 Webcam 182
10 Kosten 183
10.1 Gemaakt op school 183
10.2 Gekregen van school 183
10.3 Sponsors 184
10.4 Gekocht 185
11 Figuren 187
12 Begrippenlijst 193
13 Bibliografie 198
13.1 Inleiding 198
13.2 Geschiedenis 198
13.3 Ontwerp 199
13.4 Elektronica 200
13.5 Chemie 200
13.6 Fysica 201
13.7 Bezoeken 202
14 Bijlagen 203
14.1 Temperatuursensor 204
14.2 Mosfet 227

14.3 Druksensor 235

14.4 Code 250

14.5 Logboeken 258

14.5.1 Derynck Simon 258

14.5.2 Desmet Florian 261

14.5.3 De Temmerman Arne 264

14.5.4 Schoonbaert Flor 267

14.5.5 Timbremont Hendrik 274

14.5.6 Tolpe Aaron 277

14.5.7 Vande Walle Benjamin 280

14.6 Tekeningen 286

14.6.1 2D's 286

14.6.2 Gerenderde 3D's 296

1 Inleiding

Toen we op de proppen kwamen met het idee om een ROV te maken hadden velen geen besef wat dit precies inhield. Daarom is het best eerst te verduidelijken wat een ROV precies is, waar en voor wat hij wordt toepast

ROV staat letterlijk voor remotely operated vehicle. Wat niet meer betekent dan een op afstand bestuurde robot. Dit toestel is wel onbemand, maar de sturing gebeurt nog wel met een kabel. Deze kabel noemen we een tether of umbellical. De Nederlandse vertaling is navelstreng, wat je in ons geval wel letterlijk mag nemen. Deze verbinding met het oppervlak zorgt voor de voorziening van stroom, maar ook voor de sturing en de metingen. Meestal is er ook een live verbinding voor camera en sonar, zodat de piloot (de persoon die de ROV bestuurt) weet waar de ROV zich bevindt.

De ROV met navelstreng maakt het mogelijk om een lange duik uit te voeren. Dit is een groot voordeel t.o.v. een conventionele duik met mensen. De diepte van een ROV is begrenst vanwege de navelstreng, meestal ligt deze diepte rond de 3000m maar als we kijken naar de mens zien we dat de maximum diepte ooit gedoken met perslucht op een diepte ligt van 318m. Dit is slechts een fractie van de werkdiepte van een ROV. Er kan tevens ook zwaarder werk worden uitgevoerd, zoals het bergen van archeologische vondsten. Er zijn natuurlijk ook zaken die een ROV niet kan. Hierbij denken we vooral aan zeer precieze werken die moeten worden uitgevoerd onder water. We hoorden ook uit verschillende bronnen dat de navelstreng van de ROV soms vast komt te zitten aan een steen of iets dergelijks. Dit probleem is er uiteraard niet wanneer men duikt met flessen. Er bestaat ook een manier waarbij een duiker ook met een navelstreng duikt maar als deze vast komt te zitten dan kan de duiker deze navelstreng zelf losmaken.

Figuur 1.1: Opmeten van een gezonken kanon.

Vanwege de mogelijkheid om op grote diepte te worden ingezet, maakt vooral de olie-industrie gebruik van ROV's. Men gebruikt hem voor de installatie of inspectie van hun infrastructuur onder water. Deze soort ROV's behoren tot de werkklasse ROV's. Dit is een begrip dat zeer veel omvat. Er is een grote variatie in de doelen van ROV's. Zo groeit de markt van de offshore industrie zeer snel. Onder de offshore industrie vallen bijvoorbeeld de windmolenparken op zee. Deze parken moeten natuurlijk verbonden worden met het elektriciteitsnet aan land, en omdat dit nog altijd niet draadloos kan moet er dus een kabel gelegd worden. Deze kabel is zeer kwetsbaar als deze bloot ligt op de zeebodem. Hiervoor is er een ander type ROV gebouwd, nl. de trencher-ROV gemaakt. Deze beschikt over twee armen van ongeveer twee meter lang, voorzien van spuitgaten. De ROV rijdt

Figuur 1.2: Trencher-ROV

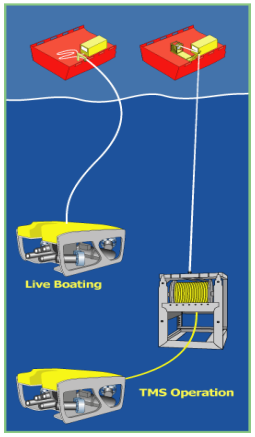
als het ware over de kabel. Tussen de twee armen ligt de kabel. Door de spuitgaten spuit er water naar buiten, die het zand wegspuit, waardoor er tussen de armen een gleuf ontstaat. De kabel valt dan in deze gleuf en daarna vult de gleuf zich door de stroming van het water vanzelf weer op met zand. Zo ligt deze veilig verwijderd van visnetten of andere risico's.

De ROV heeft nu ook de aandacht gekregen van de mijnindustrie. Omdat de bodem van de zee zo goed als onbewerkt terrein is, zijn er nog veel waardevolle stoffen te vinden. Daarom is er ook een type ROV dat gemaakt is voor het delven van deze stoffen. Dit is wel een type dat nog niet courant is. Er zijn slechts een aantal bedrijven die hierop inzetten. Dit type is dus nog in testfase en nog niet op industriële schaal aanwezig.

Ook het leger en douane maken gebruik van ROV's. De douane gebruikt ze vooral voor de inspectie van bijvoorbeeld boten, want het gebeurt geregeld dat er drugs verborgen word aan de onderkant van een schip. Het leger gebruikt ze dan weer voor ontmijning. Voor het ontmijnen van zeemijnen zijn er verschillende technieken en dus ook verschillende ROV's nodig. Eerst moet de zeemijn worden gelokaliseerd.. Om de mijn dan onschadelijk te maken is er een ander type ROV nodig. Een eerste methode is het plaatsen van een explosief naast de mijn. De tweede methode is gebaseerd op het kamikaze principe. Dit type van ROV is geladen met explosieven en vaart zichzelf stuk tegen de mijn waardoor alles ontploft.

Figuur 1.3: Ontginnings-ROV

Een terugkerend fenomeen dat we zien bij alle ROV's is dat ze stuk voor stuk positief drijvend zijn, wat wil zeggen dat als je ze in het water plaatst zij niet zullen zinken. Dit is om te voorkomen dat de ROV zinkt tijdens een technisch defect. De ROV moet natuurlijk ook recht hangen in het water. Dit wordt gerealiseerd door het drijfpunt en zwaartepunt net boven elkaar te plaatsen en ze zo ver mogelijk uit elkaar te plaatsen. De stabiliteit van de ROV wordt nog verder uitgelegd bij het ontwerp. We weten ondertussen al dat een ROV tot zeer grote dieptes kan werken. Als we kijken naar de druk die aanwezig is op 3000m is dat al snel meer dan 300bar. Omdat er in de ROV luchtruimtes aanwezig zijn deze dus onderworpen aan enorme krachten. Hoe groter het volume van deze ruimtes, hoe groter de kracht die deze ruimte wil indrukken. Daarom maakt men gebruik van minerale olie. Dit is een olie die niet geleidt, want in die luchtruimtes is er vaak elektronica aanwezig. Alle ruimtes waar lucht aanwezig is worden gevuld met deze olie. Zoals we weten is olie niet of zeer weinig samendrukaar. Dit zorgt ervoor dat er als het ware een tegendruk is voor die grote druk onder water. wij zullen geen gebruik maken van minerale olie, omdat wij niet te maken hebben met dergelijke grote drukken.



Figuur 1.4: Live Boating & TMS

Om ROV's te water te laten zijn er verschillende methodes voorhanden. Dit kan gebeuren door live boating, het systeem waarbij de ROV rechtstreeks vanop de boot bediend wordt. Een andere manier is via TMS. TMS staat voor tether management system. Met dit systeem laten

we de ROV eerst tot op een zekere diepte zakken. Daarna komt de ROV uit zijn kooi. Dit systeem wordt vooral gebruikt bij dieptes van meer dan 1000m. De positie van de ROV wordt ten allen tijde bijgehouden aan de hand van geluidsgolven. Dit is nodig omdat radiogolven onder water slechts een beperkte draagwijdte hebben.

2 Geschiedenis

2.1 Eerste ROV

Er is discussie over wie effectief de eerste ROV ontworpen heeft. Aan de ene kant heb je de zichzelf voortstuwende torpedo die in 1864 ontwikkeld is werd door de Engelsman Robert Whitehead. Maar de vraag is of je dan al echt van een ROV kunt spreken? En aan de andere kant heb je de eerste echte ROV: Poodle, die 1953 ontwikkeld werd geweest door de Franse ingenieur, wetenschapper Dimitri Rebikoff.

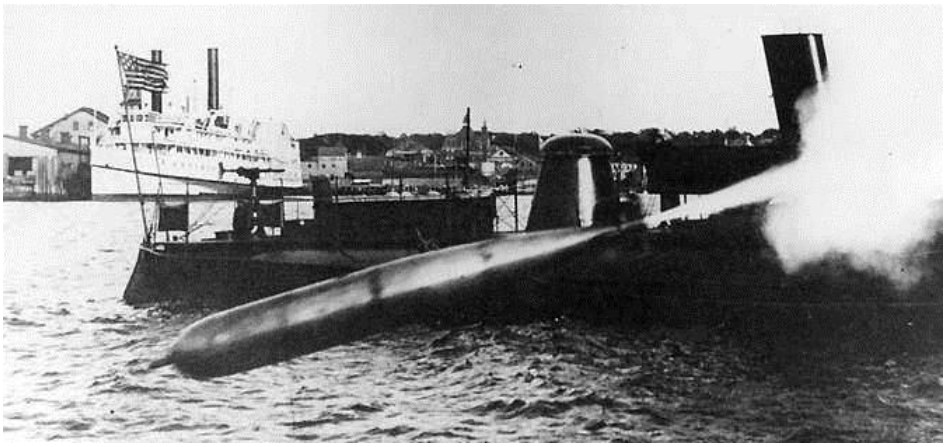
2.1.1 Whitehead torpedo

In de 19e eeuw bedacht een anonieme officier van de Oostenrijkse Marine Artillerie het idee om een kleine boot beladen met explosieven te gebruiken tegen vijandelijke schepen. De boot zou worden voortbewogen door een stoom- of een luchtmotor en aangestuurd worden door kabels. Zijn papieren kwamen net na zijn dood in het bezit van Kapitein Giovanni Luppis. Luppis liet een model van het apparaat bouwen. Het werd aangedreven door een veer zoals bij een uurwerk en op afstand bestuurd vanaf het land met kabels. Ontevreden met het apparaat, dat hij de "coast-saver" (=kustredder) noemde, wendde Luppis zich tot Robert Whitehead, die toen werkte voor Stabilimento Tecnico Fiumano, een fabriek in Fiume, Oostenrijk. In 1850 vroeg de Oostenrijkse marine Whitehead om dit ontwerp om te vormen tot een zichzelf voortstuwende torpedo.

Figuur 2.1: Een gehavende whitehead testtorpedo.

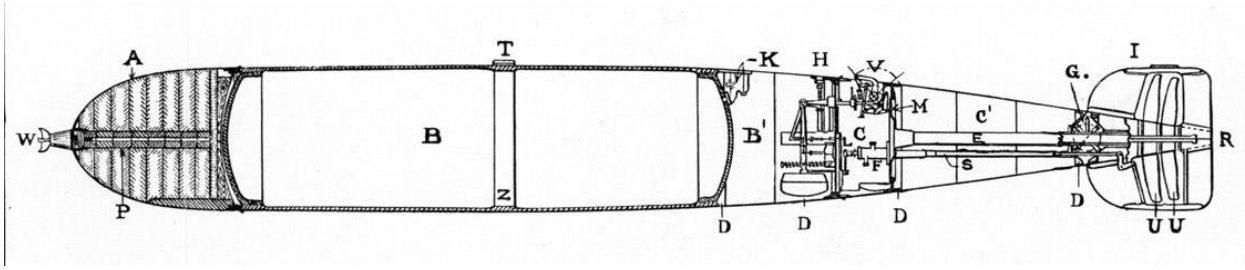
Whitehead ontwikkelde wat hij noemde de Minenschiff (‘mijnschip’). In 1868 introduceerde hij een oplossing voor het stabiliteitsprobleem van zijn torpedo: Pendulum-en-hydrostaat control. Hij bood in 1868 twee soorten torpedo’s aan. De één was 3,5m lang met een diameter van 35,5 cm. Het woog 157 kg en droeg een 18,1 kg zware kernkop. De andere was 4,3 m lang met een diameter van 40,6 cm. Het woog 295 kg en droeg een 27,2 kg zware kernkop. Beide modellen kunnen 8-10 knopen of 17 km/h met een bereik van 183 m halen. De Oostenrijkse marine kocht de productierechten van de Whitehead torpedo in 1869. In 1870 werden Whitehead torpedo's opgevoerd tot 31,5 km/h. Toch bleef er nog het probleem van de koerscorrectie: de terugkeer van de torpedo naar de juiste koers nadat deze was afgeweken door de wind of golfslag. De oplossing kwam er in de vorm van de gyroscoopversnelling, die werd gepatenteerd door Ludwig Obry, de rechten werden gekocht door Whitehead in 1896.

Deze vroege torpedo bewees zichzelf in de strijd tijdens de Russisch-Turkse Oorlog toen, op 16 januari 1878, het Turkse schip Intibah tot zinken werd gebracht door Russische torpedoboten die bewapend waren met Whiteheads.



Figuur 2.2: Lancering van de Whitehead torpedo.

De United States Navy begon met het gebruik van de Whitehead torpedo in 1892 nadat een Amerikaans bedrijf, EW Bliss, de productierechten had verzekerd. De Whitehead torpedo werd verdeeld in vier secties: Het hoofd, de luchtkolf, het na-lichaam en de staart. Het hoofd bevatte de explosieve lading van schietkatoen. De luchtkolf bevatte gecomprimeerde lucht met een druk van 1350 psi of 90 bar. Het na-lichaam bevatte de motor en het regelmechanisme. De propellers en het roer zaten in de staart. De luchtkolf werd opgebouwd uit zwaar gesmeed staal. De schil van de andere delen van de torpedo werden gemaakt van dun plaatstaal. Het interieur van de onderdelen waren over het algemeen opgebouwd uit brons. De torpedo wordt boven of onder de waterlijn uit een buis gelanceerd (Figuur 2.2), met lucht of buskruit.



Figuur 2.3: Doorsnede whitehead Torpedo

Algemeen profiel Whitehead torpedo's:

A. kernkop	G. conische-versnellingsbak	R. roer
B. lucht-kolf	H. diepte-index	S. stuurstaaf buis
B '. immersie-kamer	I. staart	T. gids-knop
C tot C '. na-lichaam	K. laad en stop-kleppen	UU. schroeven
C. machinekamer	L. vergrendelingstandwiel	V. ventiel-groep
D. afvoergaten	M. motor bed-plaat	W. ontstekingsmechanisme
E. as-buis	P. slaghoedje houder	Z. versterking-band
F. stuurmotor		

De vraag is nu of je al van een ROV kunt spreken. Het toestel kan zichzelf voortstuwen en zijn koers corrigeren als hij uit koers wordt geslagen dankzij de gyroscoop. Maar meer dan een gegeven richting volgen kan het niet.

2.1.2 Poodle

In 1952 ontwierp de Franse ingenieur, wetenschapper en bioloog Dimitri Rebikoff de eerste echte ROV: ‘Poodle’. Dimitri was een fervent onderwaterfotograaf. Hij ontwierp al verschillende hulpstukken voor duikers en onderwaterfotograven zoals de eerste elektrische flits onder water en de Pegasus. Hij schreef ook een aantal boeken over zijn onderwateronderzoeken, -ontdekkingen en -fotografie.

Gefrustreerd door het feit dat sommige mediterrane wrakken te diep lagen voor duikers om te onderzoeken, installeerde hij een camera in een drukvaste behuizing, voegde een water-gecorrigeerde lens toe en monteerde ze op een kabel-gecontroleerd voertuig dat hij Poodle noemde. Poodle was de eerste ROV die alle eigenschappen van een moderne ROV heeft. Hij was zeer manoeuvreerbaar en was verbonden met het oppervlak door een umbelical-kabel.

Via een gesloten TV-circuit, camera's, side-scan sonar, magnetometer en lichten kon hij dieper onderzoeken doen dan ooit te voren. De Poodle werd echter alleen gebruikt voor archeologisch en wetenschappelijk onderzoek, maar het idee inspireerde de US Navy.

Figuur 2.4: Dimitri Rebikoff met zijn Poodle

2.2 US Navy

2.2.1 Cutlet

In de jaren 1950 gebruikte de Royal Navy voor het eerst "Cutlet", een op afstand bediende duikboot, om oefentorpedo's terug te halen. Cutlet werd gebruikt tot eind de jaren 1980. RCA (Noise) was verantwoordelijk voor het onderhoud van de "Cutlet 02" systeem gestationeerd op de BUTEC schietbaan, terwijl het "03" systeem gestationeerd was op de onderzeeërbasis op de Clyde en werd

Figuur 2.5: Cutlet

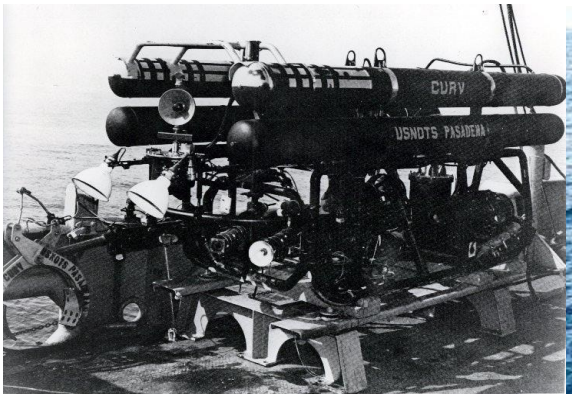
beheerd en onderhouden door RN personeel.

2.2.2 CURV

In de jaren 1960 financierde de Amerikaanse marine het meeste van de vroege technologieontwikkeling van ROV's in wat toen een "Cable-Controlled Recovery Underwater Vehicle '(Curv) werd genoemd. Hierdoor ontstond de mogelijkheid om diepzee reddingsoperaties uit te voeren en voorwerpen van de oceaanbodem terug te halen.

CURV is ontworpen om testmunitie terug halen rond San Clemente Island op een diepte zo groot als 2000 voet, maar werd beroemd in 1966 door het terughalen van een H-bom uit Spanje op een diepte van 2800 voet. Dit succes was aanleiding voor latere generaties zoals Curv II, Curv II-B, Curv II-C en Curv III. CURV, nu aangeduid als CURV I was een pionier in het concept van onderzeese tele-operators.

Na de Space Shuttle Challenger ramp, werd CURV III overgebracht naar de Navy's Supervisor of Salvage (SUPSAL), die opdroeg dat de operationele diepte van 10.000 voet tot 20.000 voet zou worden gebracht met behulp van technologie die ontwikkeld werd voor de Remote Unmanned Work System (RUWS) en de Advanced Tethered Vehicle (ATV). De herinrichting en upgrade, uitgevoerd door Eastport International produceerde in feite een nieuwe Curv III. Curv III word nog steeds bediend door SUPSAL net zoals de SSC Pacific ontwikkeld door Advanced Unmanned Search System (AUSS).



Figuur 2.7: Curv I

Figuur 2.6: Curv III

2.2.2.1 Opmerkelijke operaties

2.2.2.1.1 1966 terug halen H-bom

Tijdens het Palomares incident van 17 januari 1966 werd een waterstofbom verloren in de Middellandse Zee toen een B-52 bommenwerper in botsing kwam met een KC-135 tanker nabij Palomares, Spanje. De bom werd gevonden op een diepte van 880m, door de United States Navy submersible DSV Alvin na 2½ maand zoeken. Nadat de Alvin er niet slaagde de bom terug te halen gebruikte de marine de Curv-I. Curv-I was succesvol in het bevestigen van dreggen om de bom, maar raakte verstrikt in de parachutelijnen van de bom. De verstrengelde bom, parachute en Curv-I werden succesvol naar het oppervlak gebracht 81 dagen na het oorspronkelijke incident.

Figuur 2.9: teruggevonden waterstofbom

Figuur 2.8: legertop met waterstofbom

2.2.2.1.2 1973 Pisces III redding

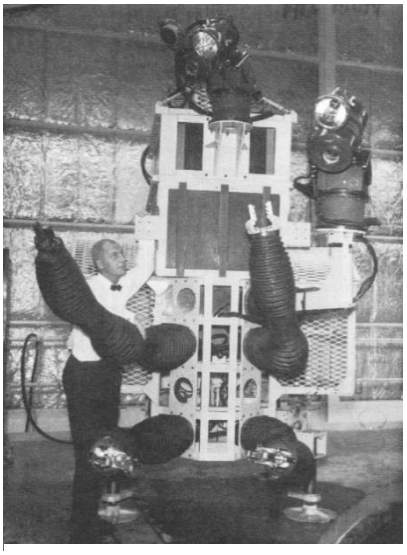
Figuur 2.10: reddingsactie Pisces III

Pisces III was een Canadese commerciële onderzeeër die gebruikt werd om een trans-Atlantische telefoonkabel te leggen op de zeebodem voor de kust van Ierland. Wanneer een drijftank per ongeluk volstroomde, zonk de duikboot naar de bodem van de oceaan met zijn tweekoppige Britse bemanning Roger Mallinson en Roger Chapman. Ze strandden op een diepte van 480m met 72 uur aan beschikbare levensmiddelen, die ze konden uitbreiden tot 76 uur door zorgvuldige conservering. Eerste reddingspogingen door duikboten gelijkaardig aan Pisces III waren niet succesvol. Door middel van een internationale inspanning van de Verenigde Staten, Canada en Engeland, werd Curv-III binnen de 24 uur ingezet op 6000 mijl van zijn thuisbasis. Inzet van Curv-III vanaf de CCGS John Cabot werd gehinderd door de zware weersomstandigheden op zee.

Snelle reparaties werden gemaakt toen de gyroscoop van de Curv-III faalde en elektronica kortgesloten was door zeewater die aan boord van de Cabot kwam. Bijgestaan door de duikboten Pisces II en Pisces V was de Curv-III in staat om kabels te hechten aan het wrak van Pisces III. De Cabot haalde Curv-III op aan 60 tot 100 voet (18 tot 30 m) per minuut totdat hun lijnen verstrikten. De lijnen werden gesneden en de Curv-III werd achtergelaten. Pisces III werd tot 60 voet (18 m) gebracht waar duikers in staat waren om de lijnen die eerder gebruikt werden, te gebruiken om Pisces III naar het oppervlakte te brengen. Curv-III speelde een belangrijke rol in de diepste onderwaterreddingsoperatie in de geschiedenis toen Pisces III met zijn tweekoppige bemanning werd gered na 76 uur met slechts enkele minuten lucht over.

2.3 Commerciële ROV's

2.3.1 MOBOT voorouder van de commerciële ROV



Figuur 2.12: MOBOT

In de late jaren '50 ontwikkeldde Hughes Aircraft Co een Manipulator Operated Robot - MOBOT - voor de Atomic Energy Commission. De MOBOT werkte oorspronkelijk op het land en voerde taken uit in omgevingen die te radioactief waren voor de mens. Hij was uitgerust met hydraulisch aangedreven stalen klauwen en een voor die tijd ultramoderne camera. De MOBOT werd verbonden door een 200-voet-kabel met de stuureenheid. De stuureenheid gebruikt pistool handgrepen en hendels om de MOBOT te controleren.

Figuur 2.11: besturingspaneel MOBOT

De volgende stap in het bevorderen van de technologie werd uitgevoerd door commerciële bedrijven die de toekomst inzagen van ROV-ondersteuning voor offshore olie-operaties. Want de zoektocht naar olie ging steeds dieper en verder de oceaan in. Het traditionele duiken was niet meer geavanceerd genoeg om deze operaties te blijven uitvoeren.

In 1960 nadat een populair magazine over de MOBOT had geschreven erkenden heel wat oliebedrijven het potentieel van de MOBOT als een onderwaterrobot.

Hughes Aircraft Company verhuisde de aan land gebonden MOBOT weg van de laboratoria van de Atomic Energy Commission en ontwikkeldde die samen met Shell Oil Company tot een 'offshore tool'. Beginnend in 1960 nam Shell Oil Co. de leiding in het transformeren van de aan land gebonden Hughes Aircraft's Mobot tot een ROV. Een reeks evoluerende octrooischriften beschrijft "een op afstand bediende robot voor het uitvoeren van werkzaamheden onder water". Shell gebruikte in oktober 1962 met succes een MOBOT bij een boorput voor de kust van Santa Barbara, Californië op een diepte van 250 voet. In de komende 10 jaar werkten MOBOTs aan 24 offshore-putten. Ze opereerden voor langere tijd op een diepte van 1000 voet.

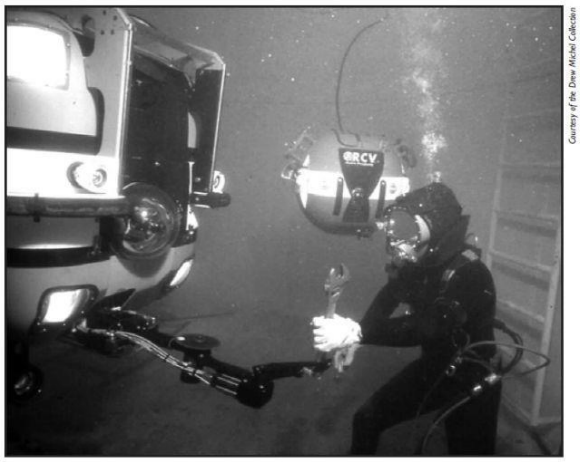
Figuur 2.13: te water laten MOBOT

Deze robot kon al heel wat taken van duikers overnemen, maar hij kon zelf niet vliegen. De MOBOT moest telkens geplaatst worden door een kraan en was beperkt tot de lengte van zijn armen. De MOBOT kon dus geen inspecties uitvoeren en hij moest telkens verplaatst worden bij grote werken.

2.3.2 Vliegende commerciële ROV's

Voortbouwend op de technologie van de US navy creëerde de offshore olie- en gasindustrie de werk klasse ROV's om te helpen bij de ontwikkeling van offshore olievelden. Twee van de eerste vliegende ROV's ontwikkeld voor offshore werk waren de RCV-150 (1978), de RCV-225 (1982) en de HS-150 ontwikkeld door HydroProducts in de VS.

Figuur 2.14: RCV-150 met TMS



Courtesy of the Drew Michel Collection

This 1980 photo of a Diver handing a wrench to an *RCV 150* while an *RCV 225* observes is a perfect illustration of the "passing of the baton" from man to machine.

Figuur 2.15: RCV-150 en RCV-225

De RCV-150 is een ROV met umbelical die een maximale diepte van 914m heeft. De RCV-150 werkt met een tether management system (TMS), dit is een soort garage van waarmee de ROV na beneden wordt gebracht (zie fig.). De TMS wordt naar de gewenste diepte gebracht en dan beschikt de ROV nog over een kabel van 90m om te bewegen. De ROV zelf is uitgerust met een kleurcamera, 1500 Watt aan lichten, een micro CTD, een sonar en grijparm met cirkelzaag.

Figuur 2.16: RCV-225

De RCV-225 was de kleine broer van de RCV-150. Hij was een soort vliegende bol en diende voornamelijk als inspectie voertuig. Hij kon tot op een diepte van 600m werken.

Veel andere bedrijven ontwikkelden een soortgelijke lijn van kleine inspectie voertuigen. Meer dan tien jaar nadat ze voor het eerst waren geïntroduceerd, waren ROV's essentieel geworden. Want in de jaren 1980 en later overtrof het bereik van een groot deel van de nieuwe offshore ontwikkelingen het bereik van de menselijke duikers.

2.4 Verdere carrière van ROV's in de industrie

Tijdens het midden van de jaren 1980 leed de marine ROV-industrie aan ernstige stagnatie in de technologische ontwikkeling mede veroorzaakt door een daling van de prijs van olie en een wereldwijde economische recessie. Sindsdien heeft de technologische ontwikkeling in de ROV-industrie een versnelling gekend en vandaag voeren ROV's tal van taken uit op vele gebieden. Hun taken variëren van eenvoudige inspectie van onderzeese constructies, pijpleidingen en platforms, naar het verbinden van pijpleidingen en het plaatsen van onderwater spruitstukken. Zij worden op grote schaal gebruikt in zowel de initiële constructie van een onderzeese ontwikkeling en daaropvolgende reparatie en onderhoud.

2.5 Verdere carrière niet-commerciële ROV's

Onder niet-commerciële ROV's zien we ROV's die vervaardigd zijn voor defensie, universiteiten en onderzoekscentra. Deze worden meestal in eigen beheer gebouwd en bijna nooit in meer dan één of enkele exemplaren.

2.5.1 Militaire ROV's en politiediensten

Na de CURV's, die in de vorige pagina's besproken werden volgden nog vele andere ROV's. Er zijn wel heel wat taken bijgekomen naast het terughalen van oefentorpedo's. Zo gebruikt defensie ROV's voor het opsporen en uitschakelen van mijnen en onderzeeërs. Voor andere functies, zoals het bergen van gevechtsvliegtuigen, onderzeeërs en helikopters en het redden van onderzeebootbemanningen worden meestal commerciële ROV's gebruikt.

ROV's worden ook gebruikt door politiediensten bij het zoeken naar vermiste personen of bewijsmateriaal. Dit zijn dan natuurlijk kleine observatie ROV's die gebruikt kunnen worden in situaties die te gevaarlijk zijn voor duikers. De douane gebruikt ook ROV's om snelle controle's aan de onderkant van schepen uit te voeren.

ROV's zijn de dag van vandaag onmisbaar geworden voor onze veiligheidsdiensten.

Figuur 2.17: ROV voor mijnjagen

Figuur 2.18: ROV ingezet door politie

2.5.2 Onderzoekcentra

Er zijn verschillende universiteiten en scholen die over een ROV beschikken. Meestal om zelf onderzoeken te doen. Er zijn ook nationale onderzoekscentra zoals het VLIZ die gebruik maken van ROV's. ROV's van onderzoekscentra en overheden worden vaak specifiek gebouwd voor werk op zeer grote diepte. Ze werden en worden ook gebruikt om vele historische scheepswrakken, met inbegrip van de RMS Titanic, de Bismarck, USS Yorktown en SS Centraal-Amerika te vinden. In sommige gevallen, zoals de Titanic en SS Midden-Amerika, zijn ROVs gebruikt om materiaal van de zeebodem en naar het oppervlak te brengen.

3 Ontwerp

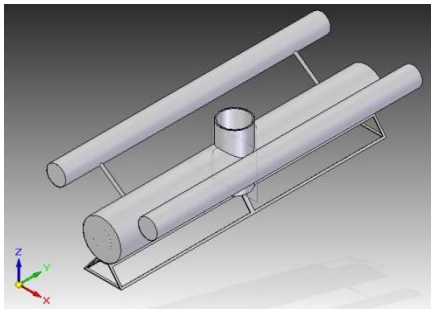
In dit hoofdstuk bespreken we hoe ons ontwerp tot stand is gekomen. We bekeken welke berekeningen we maakten om van daaruit tekeningen te maken en onze keuzes voor ontwerp en materialen te staven.

Eerst gingen we na hoe we onze ROV moeten bouwen om hem stabiel te kunnen houden in het water. We bekeken ook hoe we de thrusters (motors om de ROV aan te drijven) moeten plaatsen om hem eenvoudig te kunnen besturen in het water. Deze resultaten hebben we gebruikt als we onze ROV ontwierpen.

We gingen na welke materialen we best zouden gebruiken. Daarvoor moesten we vooral uitkijken naar materialen die geen schade ondergaan onder water. Dit was nodig omdat het een object is dat onder water moet opereren. Dit beperkte de keuzes van materialen direct tot enkele metalen en vele kunststoffen. Het moest ook licht materiaal zijn zodat de ROV niet meteen als een blok naar de bodem zou zinken. Dus hebben we vooral voor kunststoffen en aluminium gekozen.

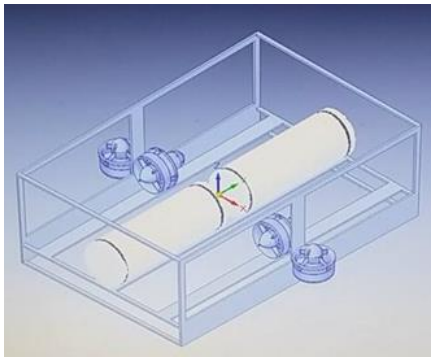
Rekening houdend met deze vereisten ontwierpen we onze eigen ROV. Evenredig met het evolueren van onze berekeningen en materiaalkeuzes heeft ons ontwerp ook een evolutie ondergaan. Tot we uiteindelijk bij het ontwerp van onze eigen ROV kwamen...

3.1 Evolutie



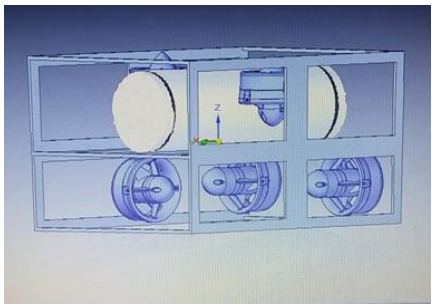
Figuur 3.1: Eerste ontwerp

Ons eerste ontwerp is gebaseerd op het filmpje dat ons getriggerd heeft om een ROV te bouwen/bestuderen. Het is gebaseerd op het model van Ian Leverington en ook snel in elkaar gezet. Na even denken hebben we dit idee ook onmiddellijk terug afgeschreven. Zoals je kunt zien is het ook helemaal niet uitgewerkt. Het was een model dat tijdens het brainstormen aan bod is gekomen en rap eens is uitgetekend om te kijken of dit mogelijk was.



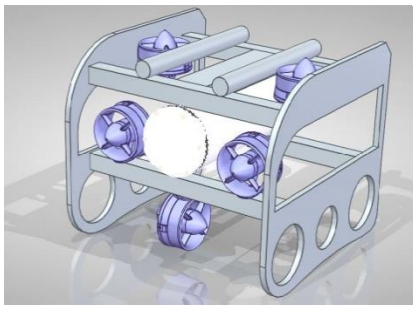
Figuur 3.2: Tweede ontwerp

Bij ons tweede ontwerp hebben we eerst wat onderdelen opgezocht die beschikbaar zijn voor een ROV als die van ons. Daarbij hebben we bluerobotics ontdekt. Dit is een site opgericht door Amerikaanse studenten en je kunt er van alles vinden voor modelbouw van ROV's. De thrusters en de elektronicabehuizing zijn CAD modellen gedownload van hun site. Daarnaast hebben we ook gekozen voor een frame waaraan we alles kunnen bevestigen. De thrusters die aan de buitenkant van het frame hangen hadden de functie om te stijgen of dalen in het water. De thrusters aan de binnenkant van het frame dienen om vooruit of achteruit te gaan. Ze dienen ook om een draaiende beweging te maken door de twee schroeven in tegengestelde zin te laten draaien.



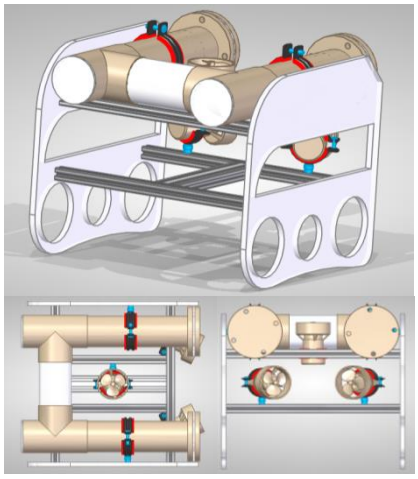
Figuur 3.3: Derde ontwerp

Bij ons derde ontwerp hebben we alles een stuk compacter gemaakt. Zoals je kunt zien is er nu maar voor één zo'n cilinder plaats. Die dient nog steeds als elektronicabehuizing. We hebben ook besloten om alles binnen het frame te plaatsen. Dit is voordelig omdat je niet aan dingen kan haperen zowel onder water als in het vervoeren van de ROV. De thrusters aan de bovenkant van het frame dienen nog steeds om te stijgen of dalen in het water. De twee thrusters die aan de achterkant van het frame geplaatst zijn, zijn bedoeld om vooruit of achteruit te gaan. Het draaien kun je nog steeds doen door hun zin tegengesteld te maken. De extra thruster op de boeg is om het draaien te bevorderen.



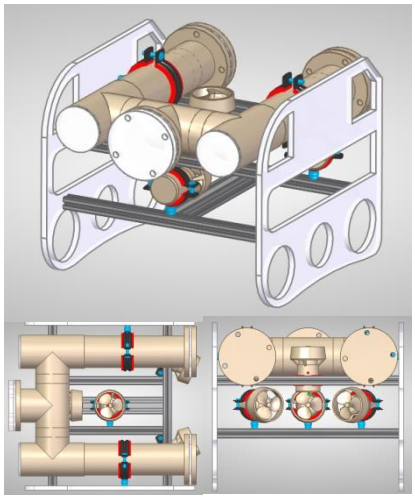
Figuur 3.4: Vierde ontwerp

In dit ontwerp hebben we vanboven op het frame extra buizen toegevoegd. Deze dienen om lucht op te slaan zodat we meer drijfvermogen hebben. Dit is nodig omdat onze ROV anders te snel zinkt. Het is ook nodig dat ze op de bovenkant van het frame liggen voor de stabiliteit onder water. Deze studie is nader verklaart onder het puntje stabiliteit. Het frame is ook weer helemaal verandert omdat dit model makkelijker samen te stellen is en makkelijker is om er de thrusters aan te bevestigen.



Figuur 3.5: Vijfde ontwerp

In dit model is er heel wat verandert in vergelijking met het vorige model. Ten eerste hebben we gekozen om Rexroth profielen te gebruiken. Dit is zeer gemakkelijk om beugels op te plaatsen om de thrusters te bevestigen. Er is ook gekozen om andere thrusters en elektronicabehuizing te gebruiken. Dit komt voornamelijk omdat de site Bluerobotics Amerikaans is en dat maakt het te gecompliceerd om deze stukken te kunnen bestellen. Ergens in Europa is dit niet te verkrijgen. De thrusters zijn nu eigenlijk omgebouwde dompelpompen waar een schroef op geplaatst is. Dit is ook met DC-motors dus de sturing is quasi hetzelfde. De elektronicabehuizing is ook een heel ander model. In dit model is er plaats voorzien voor de camera (de plexiglazen buis vooraan), de lichten (de twee plexiglazen rondjes vooraan) en hij is een stuk groter gemaakt waardoor je geen aparte luchtopslag hoeft te voorzien. De flenzen aan de achterkant dienen om gemakkelijk bij de elektronische spullen te kunnen. Er zijn ook beugels geplaatst om alles te kunnen bevestigen. De thrusters om voorwaarts/achterwaarts te gaan en te draaien zijn onder hoek geplaatst om vlotter te kunnen draaien. We hebben ook de optimale hoek berekend waaronder de thrusters moeten staan om een het zo vlot mogelijk te draaien en toch vlot vooruit te kunnen gaan. De boegschroef is weggelaten omdat we proefondervindelijk ontdekt hebben dat deze vooral zorgt voor een zijwaartse beweging en niet voor een draaiende beweging

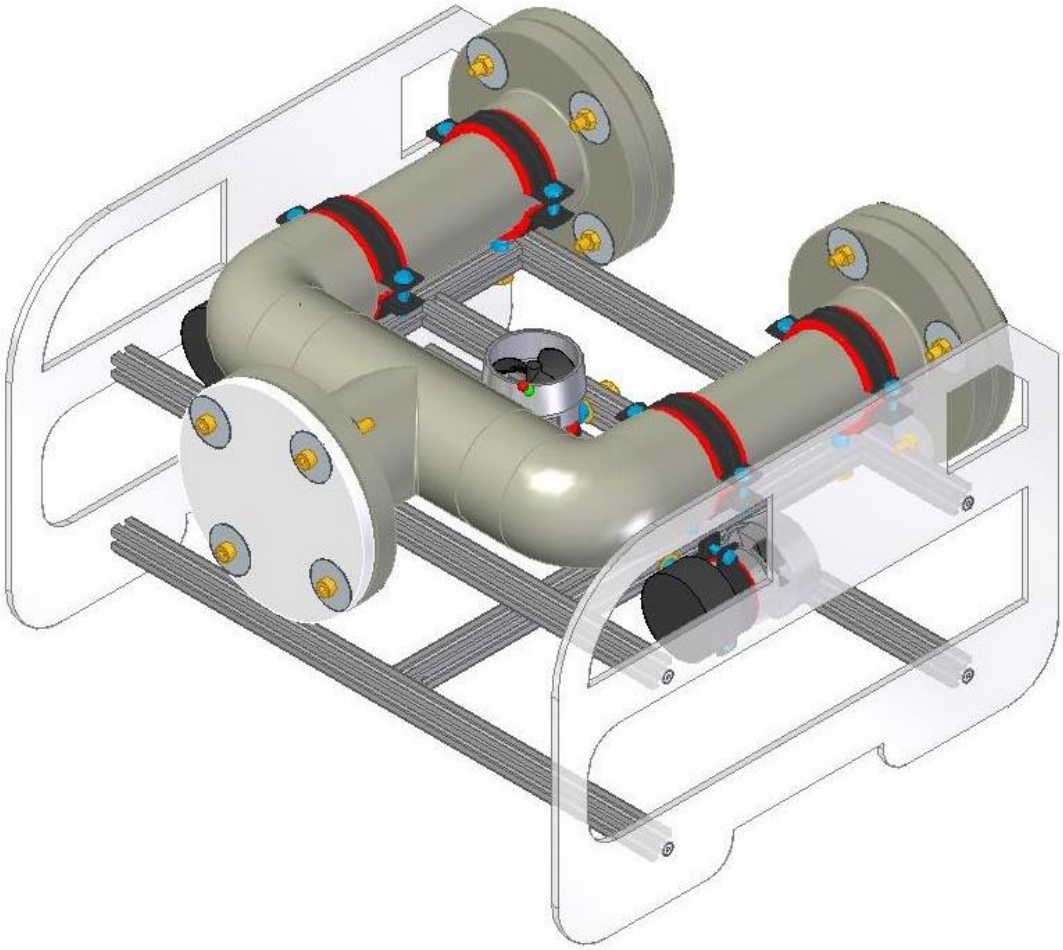


Figuur 3.6: Zesde ontwerp

Het was een probleem om aan onze camera te kunnen achteraf omdat die plexi-buis vast gelijmd ging zitten. Het was ook lastig met dat rond vlak om door te kijken. Dus we hebben besloten om nog een derde T-stuk te plaatsen aan de voorkant. Op dat T-stuk plaatsen we dan een lijmflens. De plexi-bindflens zouden we zelf uit een plexi-plaat frezen, volgens het model van zo'n PVC bindflens die we toch bestellen. We hebben ook een extra thruster geplaatst om vlotter voorwaarts/achterwaarts te kunnen gaan. In de zijwanden zijn de uitsnijdingen een beetje veranderd omdat de profielen wat gezakt zijn.

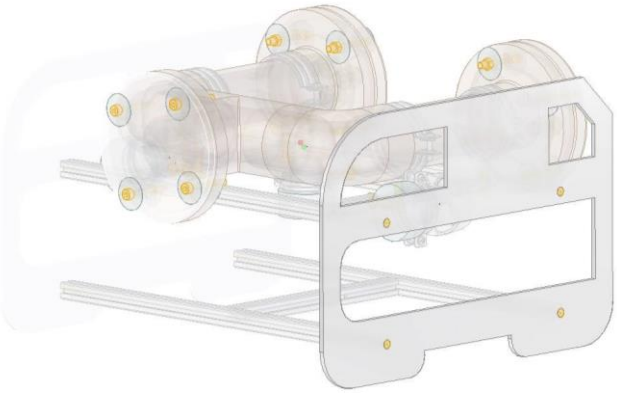
3.2 Laatste ontwerp

Na de hele evolutie door te maken, hebben we nu een definitief ontwerp. Dit is zodanig ontworpen om aan onze eisen te voldoen en toch optimaal te werken. Om aan dit ontwerp te komen hebben we verschillende keuzes moeten maken. Deze keuzes zijn niet zomaar gemaakt. Om deze beslissingen te verantwoorden hebben we vele studies en berekeningen gemaakt. We zijn tot volgende besluiten gekomen.



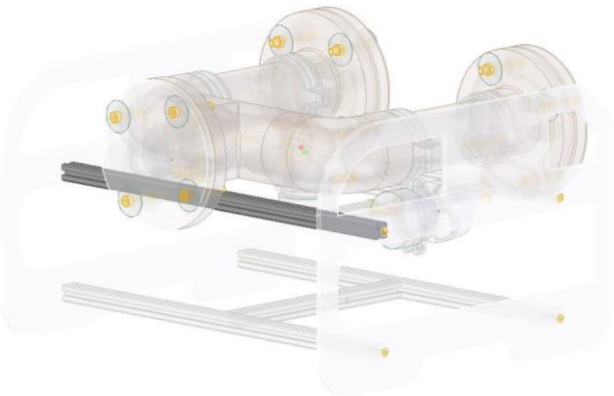
3.2.1 Zijwanden

De zijwanden zijn ontworpen om zo weinig mogelijk weerstand te bieden in het water, maar toch moeten ze voldoende stevig zijn om onze profielen aan te bevestigen. We hebben ondervonden dat een plaat met een dikte van 6 mm volstaat mits de uitsnijdingen niet te groot werden. Daarom zijn er bovenaan twee kleinere vlakken uitgefreesd. Deze gaten in de zijwanden zijn bedoeld om zo weinig mogelijk weerstand te bieden aan het water als de ROV een draaiende beweging maakt.



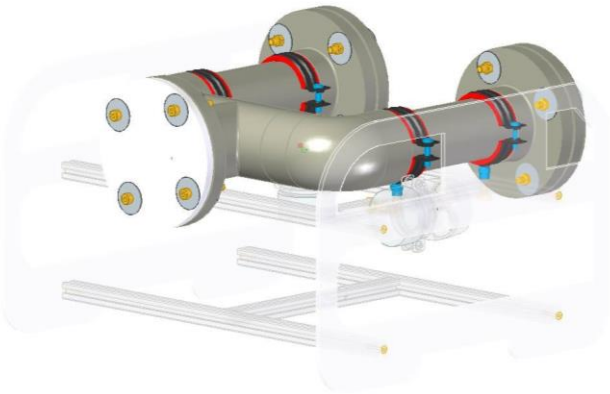
3.2.2 Profielen

Aan de profielen worden alle onderdelen bevestigd. De keuze voor deze profielen was snel gemaakt want onze school heeft dit in voorraad. Ze zijn licht en corrosiebestendig want ze zijn vervaardigd uit aluminium. Door de vorm van de profielen heb je aan elke zijde als het ware een rail. In die rail kun je een glijmoer schuiven en zo kun je alles makkelijk bevestigen aan deze profielen.



3.2.3 Elektronicabehuizing

Dit onderdeel heeft veel voeten in de aarde gehad. Eerst hebben we met het idee gespeeld om een standaard elektronicabehuizing voor dit type ROVs aan te schaffen. Dit kon enkel in Amerika. We hebben nagevraagd of dit binnen de mogelijkheden van de school lag. Dit bleek niet zo te zijn. We hebben de koppen bij elkaar moeten steken en wat gebrainstormd. Vele discussies en ontwerpen later kwamen we bij het idee om de elektronicabehuizing in een U-vorm te maken, liefst zo groot en licht mogelijk. Zo groot mogelijk omdat we dan meer lucht kunnen opslaan en zo meer drijfvermogen ontwikkelen. Zo licht mogelijk omdat de ROV dan minder massa bevat en dit ook zorgt voor meer drijfvermogen. De kabels moeten binnenkomen via de twee flenzen aan de achterkant. De flens aan de voorkant met het plexiglazen plaatje dient voor de camera. Het bedrijf “SPIE” heeft deze behuizing gelijmd om hem waterdicht te maken. De beugels om hem te bevestigen werden ook besteld bij SPIE.



3.2.4 Thrusters

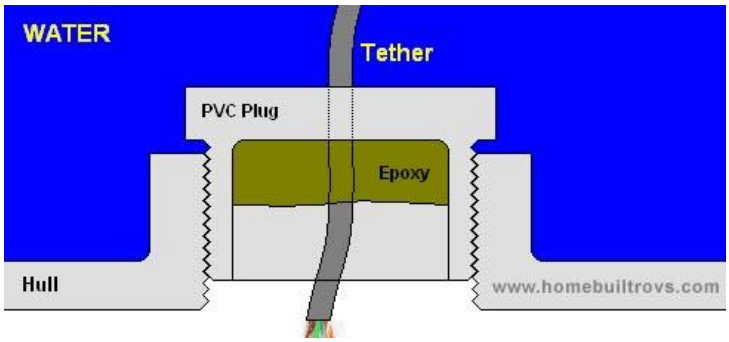
Bij dit onderdeel is het een beetje hetzelfde verhaal als bij de elektronicabehuizing. We hadden wat op het internet gezocht en kwamen uit bij thrusters die speciaal gemaakt zijn voor ons type ROV. Maar deze moesten besteld worden bij dezelfde firma als de elektronicabehuizing die we eerst in gedachten hadden. Dit was dan ook onmogelijk. We hebben alternatieven gezocht en kwamen uit bij het idee om dompelpompen om te bouwen. Dit is dus ook onze keuze geworden. Het is niet enkel makkelijker te verkrijgen maar ook een stuk goedkoper. Maar om deze dompelpompen om te bouwen moesten we ook een koppelstuk en een beschermkap aankopen. We hebben besloten om dit zelf te ontwerpen en onmiddellijk te laten vervaardigen in school. Dit kon zo onmiddellijk op maat gemaakt worden en was ook veel goedkoper. Schroefjes hebben we wel besteld. Om onze thrusters te bevestigen hadden we ook beugels nodig. Ook deze komen van het bedrijf “SPIE”.

3.3 Waterdichte doorvoering

Onze ROV moeten we kunnen sturen terwijl die onder water zit. Dat doen we aan de hand van een Arduino Leonardo. Maar de Arduino moet gevoed worden. Dit gebeurt aan de hand van een elektrische kabel. Om onze ROV te kunnen besturen moeten we dus met een kabel naar onze elektrische sturing in een behuizing die bevestigd is op onze ROV. Deze behuizing moet dus wel waterdicht zijn omdat we spreken over elektrische componenten. We moeten dus een manier zien te vinden om kabels door die behuizing te krijgen zonder dat er water in de behuizing lekt.

Hieronder zijn enkele methodes opgesomd die we kunnen gebruiken als een waterdichte doorvoering voor onze kabels.

3.3.1 Methode 1



Figuur 3.7: Waterdichte doorvoering met behulp van epoxy en draaidop.

Onderstaande figuur toont een typische manier om gaten waterdicht te maken waar een kabel doorgetrokken is. Je boort een gat in de plug die in de behuizing kan worden gedraaid. Je trekt de kabel door het geboorde gat en spuit aan de binnenkant van de plug epoxy. Zo kan er geen water binnen lopen via het gat in de plug. Maar eenmaal de epoxy gespoten is zit deze kabel vast. Als er dan een defect optreedt in verband met de kabel kun je deze niet eenvoudig vervangen. Daarom zijn we op zoek gegaan naar een alternatief.

3.3.2 Methode 2

Hiervoor zouden we speciale bouten moeten kopen. Deze bouten zijn hol en hebben de mogelijkheid om een kabel door te trekken. Door een rubberring wordt de schroefdraad van de bout in de behuizing waterdicht gemaakt. Als de kabel door de bout getrokken is spuiten we de bout vol met epoxy.

Hier hebben we hetzelfde probleem met de epoxy. Eenmaal de kabel door de bout getrokken is en die volgespoten is met epoxy kun je niets meer aan de kabel veranderen. Deze bouten zijn ook behoorlijk duur dus deze methode is ook afgekeurd.

Figuur 3.8: Waterdichte doorvoering met behulp van holle bout.

3.3.3 Methode 3

Een derde mogelijkheid is het werken met een kabelwartel. Hier tappen we ook draad in de flens en draaien we het tussenstuk in de flens. Tussen de flens en het tussenstuk zit een rubberring zodat er geen water via de schroefdraad kan lekken. Daarna trekken we de kabel door dat tussenstuk, de klemlamellen, inzetstuk en drukmoer. Je schuift alles in elkaar en dan kun je de drukmoer aandraaien op de schroefdraad van het tussenstuk. Zoals je ziet zijn er klemlamellen die zorgen dat het inzetstuk rond de kabel wordt geklemd en zo de dichting dus waterdicht maakt. Dit is een zeer goedkope optie en ze hebben deze wartels op school liggen. Deze zijn genormeerd. (model IP 68)

Figuur 3.9: Opbouw wartel

3.4 Stabiliteit van de ROV onder water

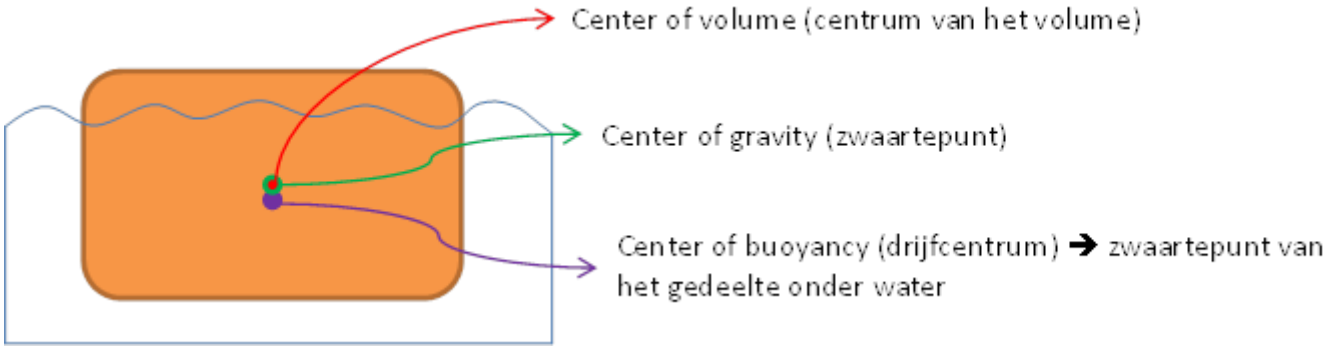
We moeten zorgen dat onze ROV in evenwicht is onder water. Als dit niet zo is, zal onze ROV tollen/kantelen als er onder water een stroming ontstaat. Als we een bocht nemen zou onze ROV ook uit evenwicht raken. Dit zal als effect hebben dat de ROV stuurloos wordt en we er niets meer mee kunnen aanvangen.

Dat evenwicht kan je beïnvloeden door enkele factoren aan te passen. Er zijn drie belangrijke factoren: het zwaartepunt, het drijfcenter en het centrum van het volume. Het evenwicht wordt bepaald door de onderlinge ligging van deze drie punten.

- Het zwaartepunt –in vaktermen the center of gravity– is het punt waar de massa van het object in evenwicht is. In dit geval is dat object een ROV.
- Het drijfcenter –in vaktermen the center of buoyancy– is het zwaartepunt van het gedeelte van het object(ROV) dat zich onder de waterlinie bevindt als het voorwerp drijft.
- Het centrum van het volume –in vaktermen the center of volume– is het punt waar het volume van het object(ROV) in evenwicht is.

3.4.1 Stabiliteit in rust

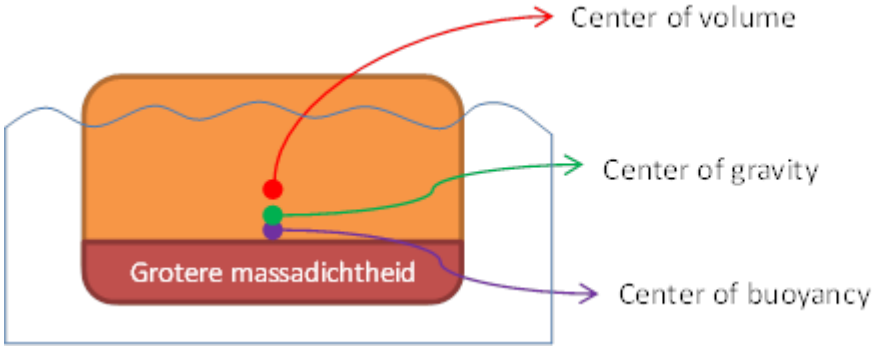
Als we een gewone blok kunststof waarvan de massadichtheid net iets minder dan die van water in het water leggen is verkrijg je een situatie zoals in onderstaande figuur.



Figuur 3.10: drijvend voorwerp met gelijke massadichtheid

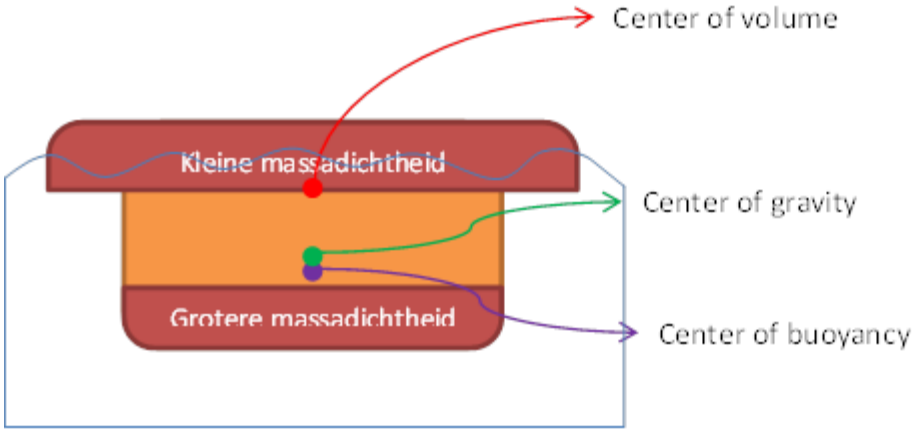
Dit object is niet zo stabiel in het water omdat het centrum van het volume bijna hetzelfde is als het drijfcenter. Van zodra het voorwerp zich geheel onder water bevindt valt het zwaartepunt samen met het drijfcentrum.

Als we nu onderaan een deel maken waarvan de massadichtheid groter is dan die van de rest van de blok zakt het zwaartepunt en dus bijgevolg ook het drijfcenter. Maar er komt geen volume bij dus het centrum van het volume blijft op dezelfde plaats.



Figuur 3.11: drijvend voorwerp met zware onderkant

Nu liggen het centrum van het volume en het drijfcentrum inderdaad een stukje verder uit elkaar. Maar om het blokje uit evenwicht te brengen heb je nog steeds een kleine kracht nodig om het moment (kracht x afstand) te overwinnen. Hoe groter het moment tussen die twee punten is, hoe stabieler het blokje in het water zal liggen. Het centrum van het volume en het drijfcentrum liggen dus beter nog verder uit elkaar. Dit kun je nu doen door bovenaan een stuk met een groot volume maar een kleinere massadichtheid dan water te plaatsen. Het centrum van het volume stijgt want er is bovenaan een bepaald volume bijgekomen. Het drijfcentrum en zwaartepunt zullen niet veel stijgen, want de massadichtheid van het groter volume materie is kleiner dus dat compenseert.



Figuur 3.12: drijvend voorwerp met zware onderkant en lichte bovenkant

Als je de materialen met de grootste massadichtheid aan de onderkant en de materialen met de kleinste massadichtheid (liefst ook een groot volume) aan de bovenkant bevestigt, verbetert de stabiliteit van een voorwerp onder water.

Dit geldt niet enkel voor een blokje kunststof. Dit geldt ook voor onze ROV. Als we onze ROV ontwerpen moeten we proberen de materie met de grootste massadichtheid langs onder op ons frame te plaatsen en die met de kleinste massadichtheid langs boven. Zo zal onze ROV niet snel kantelen en makkelijker bestuurbaar blijven.

Hierdoor hebben we beslist om de elektronicabehuizing groter te maken dan nodig zodat er veel lucht aanwezig is. De materiaalkeuze van de behuizing is ook gemaakt aan de hand van de massadichtheid. We hebben gekozen voor polyvinylchloride (PVC) want de massadichtheid van deze stof is klein (zie materiaalkeuze). De elektronicabehuizing op zich zal dus drijven door dit licht materiaal en de hoeveelheid lucht die aanwezig is. Daarbij heeft het ook een groot volume. Daarom moeten we de elektronicabehuizing aan de bovenkant van onze ROV bevestigen om onze stabiliteit te verbeteren. De extra ballast moeten we dus aan de onderkant bevestigen zodat de ROV stabiel in het water zal liggen.

3.4.2 Stabiliteit in beweging

Bij een ROV is het uiteraard de bedoeling dat die zo wendbaar mogelijk is onder water. Dit betekent dat de ROV snel maar ook nauwkeurig te besturen moet zijn. De factoren die de wendbaarheid bepalen zijn: het massatraagheidsmoment, het gewicht onder water, de stuwkracht van de motoren, hoe en hoeveel motoren we plaatsen. Maar vooral moet de beweging ook stabiel zijn. Dit hangt o.a. af van waar de thrusters geplaatst zijn.

3.4.2.1 Vergelijkbare ROV's

We hebben eerst gekeken naar andere ROV's bij het VLIZ en op sites van maritieme bedrijven hoe de kleine ROV's in de gewichtklasse van onze ROV zijn opgebouwd. Zo zijn we te weten gekomen dat bij ROV Genesis de achterste thrusters onder een hoek staan zodat de ROV sneller kan draaien. Maar ook dat de nauwkeurigheid van de thrusters veel belangrijker is dan de snelheid.

Bij een ROV heb je minimaal drie thrusters nodig:

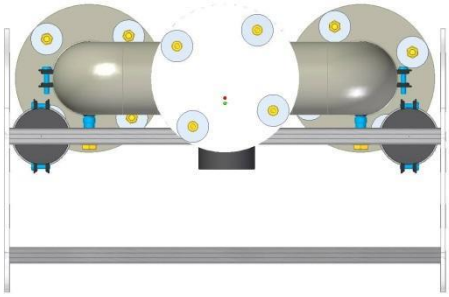
- Eén thruster voor de verticale beweging, de as van deze thruster moet door het zwaartepunt gaan zodat de ROV stabiel zo zijn;
- Twee thrusters voor de horizontale beweging en het draaien. Dit kun je op twee mogelijkheden doen:
    - De thrusters staan naast elkaar voor de horizontale beweging en de rotatie;
    - Eén thruster voor de voorwaartse beweging zorgt en één thruster voor de zijwaartse beweging (geen rotatie).

Wij zullen de thrusters voor de horizontale beweging en het draaien naast elkaar plaatsen. We gaan ook na of de ROV wendbaarder wordt door de thrusters onder een hoek te plaatsen.

3.4.2.2 Thrusters t.o.v. het zwaartepunt

In het x;y-vlak volgens de y-coördinaten:

- De twee thrusters voor de horizontale beweging:



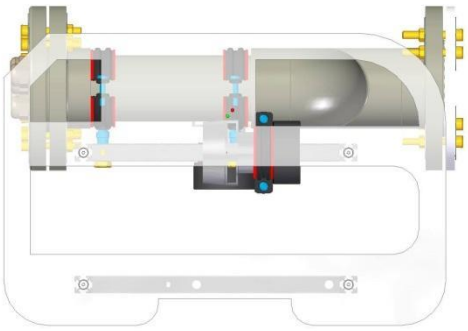
De afstand tussen de twee thrusters is recht evenredig met het moment dus vanuit dit feit kun je besluiten dat het moment groter wordt als de afstand tussen de thrusters groter wordt. De thrusters moeten zich dus zo ver mogelijk van het zwaartepunt bevinden om een groter moment te verkrijgen en als rechtstreeks gevolg de draaisnelheid te laten stijgen.

- De thruster voor de verticale beweging:

De centrale as van de schroef moet door het zwaartepunt lopen. Als dit niet het geval is creëer je een moment tussen de thruster en het zwaartepunt en dan zal de ROV uit evenwicht geraken zodra we willen dalen of stijgen en zo zal onze ROV niet de beoogde beweging maken.

In het y;z-vlak volgens de z-coördinaten:

- De twee thrusters voor de horizontale beweging:



De centrale as van de schroef moet zo dicht mogelijk bij de hoogte van het zwaartepunt liggen. Als dit niet het geval is zal de ROV een kantelende beweging maken terwijl hij

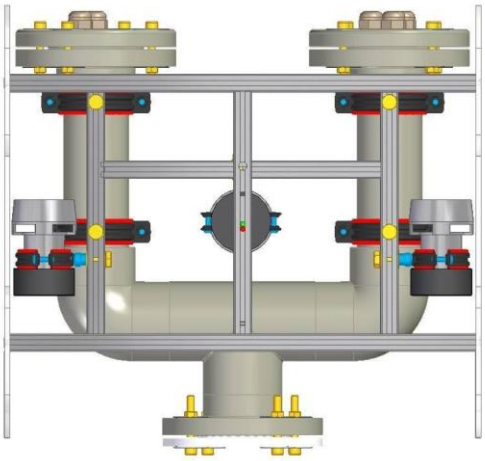
enkel een lineaire beweging moet maken. Als de thrusters zich lager dan het zwaartepunt bevinden zal hij stijgen, als ze zich hoger dan het zwaartepunt bevinden zal hij dalen. Als afstand tussen de thrusters en het zwaartepunt te groot is zal hij zelfs niet vooruitgaan maar gewoon beginnen tollen/salto's maken.

- De thruster voor de verticale beweging:

  De thruster moet zich boven het zwaartepunt bevinden. Dit moet omdat de stijgende beweging dan veel stabieler zal verlopen, de dalende zal dus als logisch vervolg iets onstabieler verlopen. Als de thruster zich namelijk aan de onderkant van de ROV bevindt dan moet hij de ROV omhoog duwen en dit is een beweging die niet zo stabiel zal verlopen omdat de thruster dan de volledige massa voor zich heeft. Als er dan een stroming is zal die de ROV veel sneller uit evenwicht kunnen brengen dan wanneer de thruster zich aan de bovenkant van de ROV bevindt en als het ware de massa omhoog trekt.

In het x;z vlak volgens de x-coördinaten:

- De twee thrusters voor de horizontale beweging:



Zoveel mogelijk voor het zwaartepunt omdat de beweging een stabieler is als de ROV voortgetrokken wordt in plaats van geduwd. Dit met dezelfde reden als eerder uitgelegd in verband met de massa en de stroming die erop inwerkt.

- De thruster voor de verticale beweging:

  De centrale as moet hier ook opnieuw door het zwaartepunt lopen. Als dit niet het geval is creëer je een moment tussen de thruster en het zwaartepunt en dan zal de ROV uit evenwicht geraken zodra we willen dalen of stijgen en zo zal onze ROV niet de beoogde beweging maken.

3.4.2.3 Hoek van de horizontale thrusters

De hoek waaronder de thrusters moeten staan hangt af van 2 factoren: de rotatiesnelheid van de ROV en de snelheid van de ROV. Daarom bekijken we hoe de krachten van de thrusters zich verhouden onder verschillende hoeken. Hoe groter de kracht, hoe sneller hij die beweging zal maken. Afgaande op die berekeningen zullen we besluiten onder welke hoeken we onze thrusters best plaatsen om vlot te kunnen draaien en toch de nodige snelheid te kunnen maken onder water.

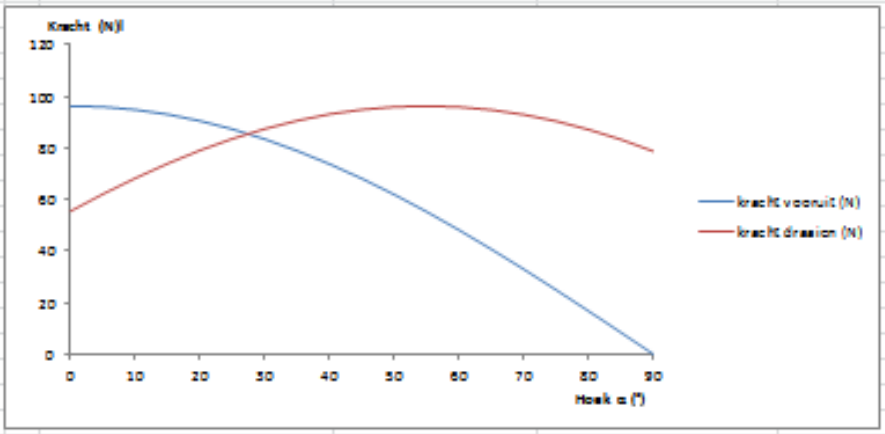
Uit onderstaande berekeningen kunnen we besluiten dat de snelheid het grootst is als beide thrusters recht vooruit staan, maar de ROV zal het snelst roteren als de thrusters 55° naar buiten gedraaid staan en tegengesteld stuwen. Het beste compromis tussen snelheid en wendbaarheid zal dus ca. 25°-30° zijn. Dit kun je afleiden door het snijpunt van de twee curves op de grafiek.

	coordinaten zwaartepunt(mm)	coordinaten motor(mm)	coordinaten zwaartepunt(m)	coordinaten motor(m)
X	-6,03	-113,36	-0,01	-0,11
Y	243,06	90,93	0,24	0,09

kracht motoren (N)	kracht 2 motoren (N)	hoek tov zwaartepunt (α)(°)	90°-α
48,15	96,30	144,80	-54,80

|r|(afstand motoren, zwaartepunt)	0,19
α(graden)	0,00
F(draaien)(N)	55,52
Mb(draaien)(Nm)	10,34
F(vooruit)(N)	96,30

α	kracht vooruit (N)	kracht draaien (N)	moment draaien (Nm)
0	96,30	55,52	10,34
5	95,93	62,16	11,57
10	94,84	68,34	12,72
15	93,02	73,99	13,78
20	90,49	79,08	14,72
25	87,28	83,57	15,56
30	83,40	87,42	16,28
35	78,88	90,61	16,87
40	73,77	93,11	17,33
45	68,09	94,90	17,67
50	61,90	95,96	17,87
55	55,24	96,30	17,93
60	48,15	95,90	17,86
65	40,70	94,78	17,65
70	32,94	92,93	17,30
75	24,92	90,37	16,83
80	16,72	87,13	16,22
85	8,39	83,23	15,50
90	0,00	78,69	14,65



3.4.2.4 Kantelhoek bij voorwaartse beweging

We hebben ons ontwerp bestudeerd om te bekijken hoe en waar we de thrusters kunnen plaatsen zodat we maximale stabiliteit bekomen.

We berekenen de hoek waaronder de ROV zal stijgen/dalen doordat de thrusters niet precies op de hoogte van het zwaartepunt zullen staan. Dit is te vinden bij het onnodig moment door motoren op het Excel blad.
We berekenen ook hoe groot het moment is dat de ROV beoefent als de ROV onder een bepaalde hoek ligt onder water. Dit moment wordt veroorzaakt omdat het centrum van het volume hoger ligt dan het zwaartepunt. Dit zorgt ervoor dat de ROV weer recht komt te liggen in het water. De grootte van het moment dat hiervoor zorgt, kun je vinden in de kolom van het corrigerend moment. De kolom van het moment door motoren toont met hoeveel Nm de ROV zal kantelen als de center-as van de thrusters niet precies op de hoogte van het zwaartepunt loopt.

Aan de linkerkant wordt berekend hoe de ROV zich zal gedragen in water als de twee horizontale thrusters zich onder het zwaartepunt bevinden maar wel onder een hoek van 25° staan. Hier kun je zien dat de ROV zal stijgen met een moment van 5,11 Nm onder een hoek van 28,60°. Op de grafiek zie je dat de curve van het moment door motoren de curve van het corrigerend moment niet snijdt en dit wil zeggen dat het corrigerend moment de stijging niet genoeg kan compenseren waardoor de ROV geen lineaire beweging zal maken maar gewoon zal draaien onder water. Deze optie is dus afgekeurd.

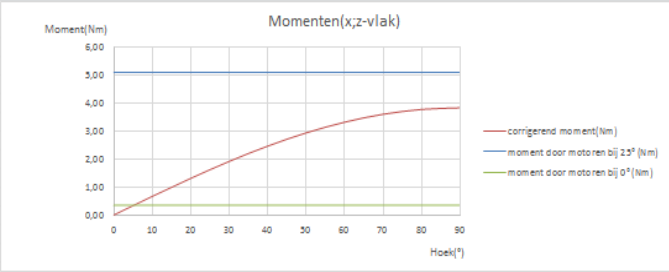
Aan de rechterkant wordt berekend hoe de ROV zich zal gedragen in water als de twee horizontale thrusters voldoen aan de voorwaarden van de plaatsing ten opzichte van het zwaartepunt maar niet onder een hoek van 25° staan. Hier kun je zien dat de ROV zal dalen met een moment van 0,34 Nm onder een hoek van 4,94°. Dit is acceptabel. Op de grafiek kun je zien dat de curves nu wel snijden. Dit wil zeggen dat de ROV voorwaarts zal kantelen.

Op ons ontwerp kunnen we niet tegelijk de voorwaarden van de plaatsing ten opzichte van het zwaartepunt en de thrusters onder een hoek van 25° graden plaatsen. We hebben beslist om de optie te gebruiken waarin de thrusters voldoen aan de voorwaarden van de plaatsing ten opzichte van het zwaartepunt maar niet onder een hoek van 25° staan. Dit omdat we niets kunnen aanvangen met een ROV die niet vooruit of achteruit wil gaan en enkel wat tolt onder water. De iets mindere draaisnelheid is daartegenover een kleine opoffering.

	Zwaartepunt	Center van volume	Motoren
	-6,04	-17,20	-113,36
	243,06	243,03	90,93
	-109,59	-75,36	-168,10
	106,53	109,68	48,15
	-0,01	-0,02	-0,11
	0,24	0,24	0,09
	-0,11	-0,08	-0,17
	0,11	0,11	0,05

ment		Het onnodig moment door motoren		
zwaartepunt en center van volume		Afstand motoren en zwaartepunt op z-as(m	hoek motor t.o.v. zwaartepunt(rad)	hoek(°)
0,04		0,12	0,50	28,60

V(°)	corrigerend moment(Nm)	moment door motoren bij 25° (Nm)
0	0,00	5,11
10	0,67	5,11
20	1,31	5,11
30	1,92	5,11
40	2,47	5,11
50	2,94	5,11
60	3,32	5,11
70	3,60	5,11
80	3,78	5,11
90	3,84	5,11



Coordinaten			
	Zwaartepunt	Center van volume	Motoren
in mm			
X	-12,73	-13,68	28,60
Y	243,06	246,03	362,00
Z	-105,53	-73,77	-109,10
F(N)	106,53	109,68	48,15
in m			
X	-0,01	-0,01	0,03
Y	0,24	0,25	0,36
Z	-0,11	-0,07	-0,11
F(N)	0,11	0,11	0,05

corrigerend moment		Het onnodig moment door motoren		
Afstand tussen zwaartepunt en center van volume		Afstand motoren en zwaartepunt op z-as(m)	hoek motor t.o.v. zwaartepunt(rad)	hoek(°)
0,03		0,04	-0,09	-4,94

hoek van de ROV(°)	corrigerend moment(Nm)	moment door motoren bij 0° (Nm)
0	0,00	-0,34
10	0,67	-0,34
20	1,31	-0,34
30	1,92	-0,34
40	2,47	-0,34
50	2,94	-0,34
60	3,32	-0,34
70	3,60	-0,34
80	3,78	-0,34
90	3,84	-0,34

3.5 Materiaalkeuze

3.5.1 Elektronicabehuizing

De elektronicabehuizing heeft eigenlijk twee functies. De ene functie bestaat erin de sturing van de ROV niet in aanraking te laten komen met water. We moeten dus een materiaal kiezen dat water afstoot, dus niet absorbeert of doorlaat. Bij bevestiging moet de koppeling waterdicht gemaakt worden zodat er geen water in de behuizing kan komen.

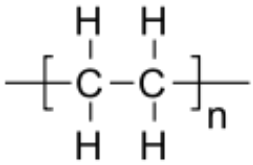
De andere functie van deze behuizing is de ROV van het nodige drijfvermogen te laten voorzien, dit wil zeggen dat de massadichtheid zo klein mogelijk moet zijn.

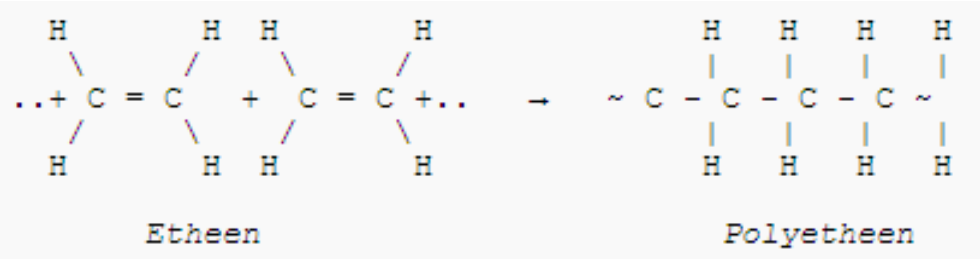
We hebben gelezen dat spiegellassen een zeer goede manier is om iets waterdicht aan elkaar te koppelen. Dat brengt de keuze terug op drie veel voorkomende stoffen: PVC (Poly Vinyl Chloride), PE (Polyetheen) of PP (Polypropeen). Het zijn alle drie thermoplasten, maar er is wel een groot verschil tussen enerzijds PE of PP en anderzijds PVC bij spiegellassen. In PVC zit er chloride en dit is giftig wanneer je dit verbrandt. Je kunt PVC ook lassen maar de teflonlaag die op de spiegellasmachine zit brandt er bij PVC minstens tien keer zo snel af als bij PE of PP.

Het lijmen van PVC is ook een optie om deze behuizing waterdicht te maken. Omdat dit ook een zeer goede optie is hebben we eens raad gevraagd aan een bedrijf dat zich daarin specialiseert. Namelijk het bedrijf SPIE. Tom Deleu, een vertegenwoordiger van dat bedrijf, is langs geweest op school en we hebben met hem de functies en de verschillende opties voor onze elektronicabehuizing overlopen. Hij heeft ons aangeraden om de behuizing te maken uit PVC en dit te lijmen. Hij heeft ons ook meegedeeld dat zij dat willen uitvoeren in hun bedrijf en daarom hebben we beslist om dit ook zo te doen.

<u>PE:</u>

- Hoge elektrische weerstand
- Bestand tegen chemicaliën
- Geringe wateropname
- Hittebestendig
- Thermoplast
- Lage massadichtheid, blijft drijven op water (0,96 g/cm³)

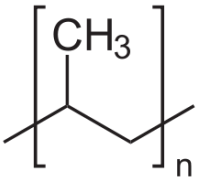


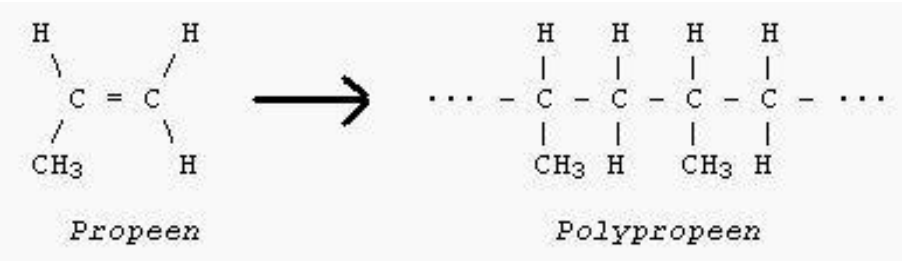


Polymerisatie van etheen tot polyetheen

PP:

- Hoge elektrische weerstand
- Bestand tegen chemicaliën
- Geringe wateropname
- Hittebestendig
- Thermoplast
- Lage massadichtheid, blijft drijven op water (0,913 g/cm³)
- Taai en buigzaam

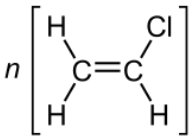


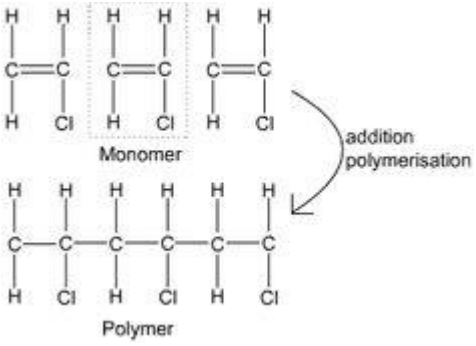


Polymerisatie van propeen tot polypropeen

PVC:

De mechanische eigenschappen van hard PVC (PVC) zijn zeer goed, de elasticiteitsmodulus kan 1500-3000 MPa bereiken. Zachte PVC (flexibele PVC) kan 1,5-15 MPa bereiken.





Vynilchloride

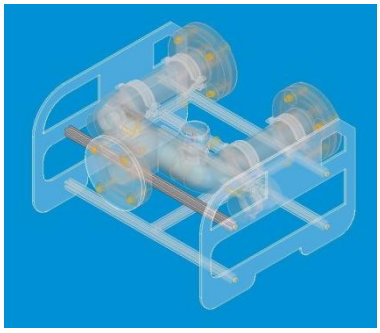
Polyvinylchloride

Polymerisatie van vynilchloride naar polyvinylchloride

De smelttemperatuur van PVC bedraagt 160 °C, maar PVC begint al te ontleden op 140°C.

PVC is een polymeer met goede isolerende eigenschappen, het heeft ook een hoge elektrische weerstand.

3.5.2 Profielen



We zoeken profielen om onze zijwanden stevig, maar eenvoudig aan elkaar te kunnen bevestigen. We moeten er ook gemakkelijk onze thrusters en onze elektronicabehuizing op kunnen bevestigen. Ze moeten vervaardigd zijn uit een materiaal zijn dat corrosiebestendig en een zo gering mogelijke wateropname heeft. Om het gewicht van onze ROV te beperken moet het materiaal een kleine massadichtheid hebben. Aluminium montage profielen hebben deze vereiste eigenschappen. Nu blijkt dat onze school veel met rexroth profielen werkt, zo was de keuze snel gemaakt. Alleen de massadichtheid kan lager als je kunststof gebruikt. Maar deze factor valt te compenseren.

Het materiaal waaruit rexroth profielen bestaan is Al Mg Si 6060, dit is een legering in de gesmede aluminium-magnesium-silicium familie.

Chemische samenstelling

De samenstelling van de legering van 6060 aluminium:

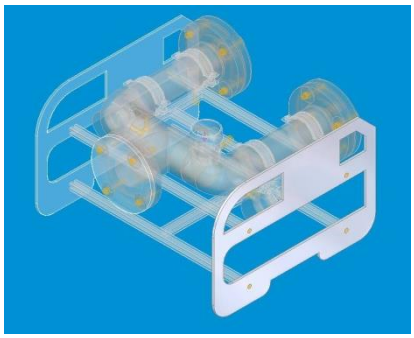
- Aluminium : 97,9-99,3%
- Chroom : 0,05% max
- Koper : 0,1% max
- Ijzer : 0,1 tot 0,3%
- Magnesium : 0,35-0,6%
- Mangaan : 0,10%
- Silicium : 0,3 tot 0,6%
- Titanium : 0,1% max
- Zink : 0,15% max
- Residuen: 0,15% max

Eigenschappen

Typische materiaaleigenschappen voor 6060 aluminiumlegering zijn:

- Dichtheid : 2,70 g / cm ^{3}
- Ultieme treksterkte : 140-230 MPa
- Vloeigrens : 70-180 MPa
- Thermische uitzettingscoëfficiënt : 23,4 µm / mK.
- Smelttemperatuur : 610° C

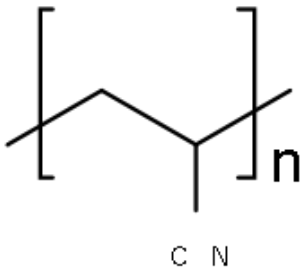
3.5.3 Zijwanden



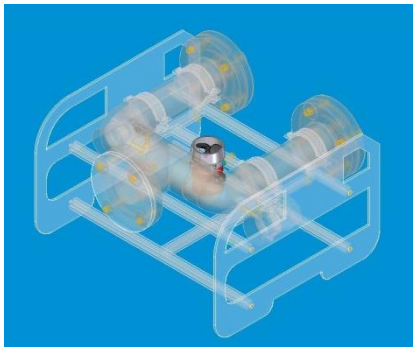
Het gekozen materiaal voor onze zijwanden is acryl (plexiglas). Dit is op school te verkrijgen en ze kunnen dit ook bewerken bij ons op school. Er moeten 2 bewerkingen op deze acrylplaten uitgevoerd worden nl. zagen en frezen. Hiervoor zijn de geschikte machines aanwezig op school. We hebben ook voor acryl gekozen omdat het esthetischer is dan een gewone kunststof. Acryl is helder waardoor je alles binnen het kader steeds kan zien. Het is ook stevig genoeg voor onze zijwanden, en neemt zeer weinig vocht op, wat wel een prioriteit is aangezien we met onze ROV onder water moeten opereren. Verdunde zuren zullen ook geen effect hebben op dit materiaal.

3.5.3.1 Kenmerken en eigenschappen

- Acryl smelt voordat het brandt. Het materiaal brandt fel met een licht roetende gele vlam. De draden branden verder, ook als de vlam weggehaald wordt. Er ontstaat een hard bolletje. De reuk bij het branden is zoet.
- De vezel is hittebestendig tot 150°C.
- Het warmte-isolerend vermogen is hoog, zelfs hoger dan dat van wol.
- De elasticiteitsmodulus is lager dan van polyamide en polyester.
- De vochtopname is gering; in normaal klimaat neemt het 1 - 1½% vocht op.
- Polyacryl is goed bestand tegen verdunde zuren, oxidatiemiddelen en verdunde loog. Het is minder goed bestand tegen sterke logen en lost op in geconcentreerd zwavelzuur en salpeterzuur.
- De vezel is zeer goed bestand tegen zonlicht. Het is bovendien zeer weerbestendig. Bacteriën en schimmels hebben geen invloed op acryl.
- De treksterkte is lager dan die van de andere synthetische materialen en ongeveer zo hoog als die van katoen.
- De breukrek is 30-50%.
- De slijtweerstand is lager dan die van andere synthetische materialen, maar wel groter dan die van wol en ongeveer gelijk aan die van katoen.



3.5.4 Keuze Thrusters



Bij onze zoektocht naar de ideale aandrijving onder de vorm van thrusters voor onze ROV botsten we plots op een Amerikaans bedrijf ‘bluerobotics’. Dit bedrijf is opgericht door studenten die ook een miniatuur-ROV gebouwd hebben en hetzelfde probleem ondervonden voor de aandrijving van hun ROV. De thrusters die aangeboden worden op de markt zijn heel erg duur en kunnen veel meer dan eigenlijk nodig is. Een dompelpomp ombouwen en deze als thruster is het enige alternatief op de markt binnen ons budget voor ROV’s zoals wij één willen maken. Deze studenten hebben een thruster ontworpen speciaal voor dergelijke ROV’s en die ook op de markt gebracht. Dit bieden ze aan op hun site voor een veel lagere prijs dan de alternatieven op de markt.

3.5.4.1 Thrusters bluerobotics

Je hebt twee modellen van thrusters. Enerzijds de T100-thruster en anderzijds de T200-thruster. Het verschil is dat de T200-thruster meer vermogen levert en dus ook meer stroom trekt. Hij levert 350 Watt en trekt daarbij 25 Ampère. Dit vermogen is vrij groot en hebben we niet nodig. Dus kozen wij om de T100-thruster te gebruiken die 135 Watt levert en maar 12,5 Ampère aan stroom trekt. Dit is ook verkrijgbaar met een ingebouwde snelheidsregelaar. Voor één T100-thruster met ingebouwde snelheidsregelaar komt dit neer op 179,30 euro. Dit is een behoorlijk bedrag als je er mee rekening houdt dat we drie exemplaren nodig hebben.

Wij hebben dit voorgelegd maar de aankoop van deze thrusters op school bleek onmogelijk voor de boekhouding. De opdracht bestaat erin om al onze bestellingen te plaatsen bij Belgische bedrijven, liefst bij vaste leveranciers. Ook de kostprijs (vooral voor transport, taxen,…) was hierbij beslissend.

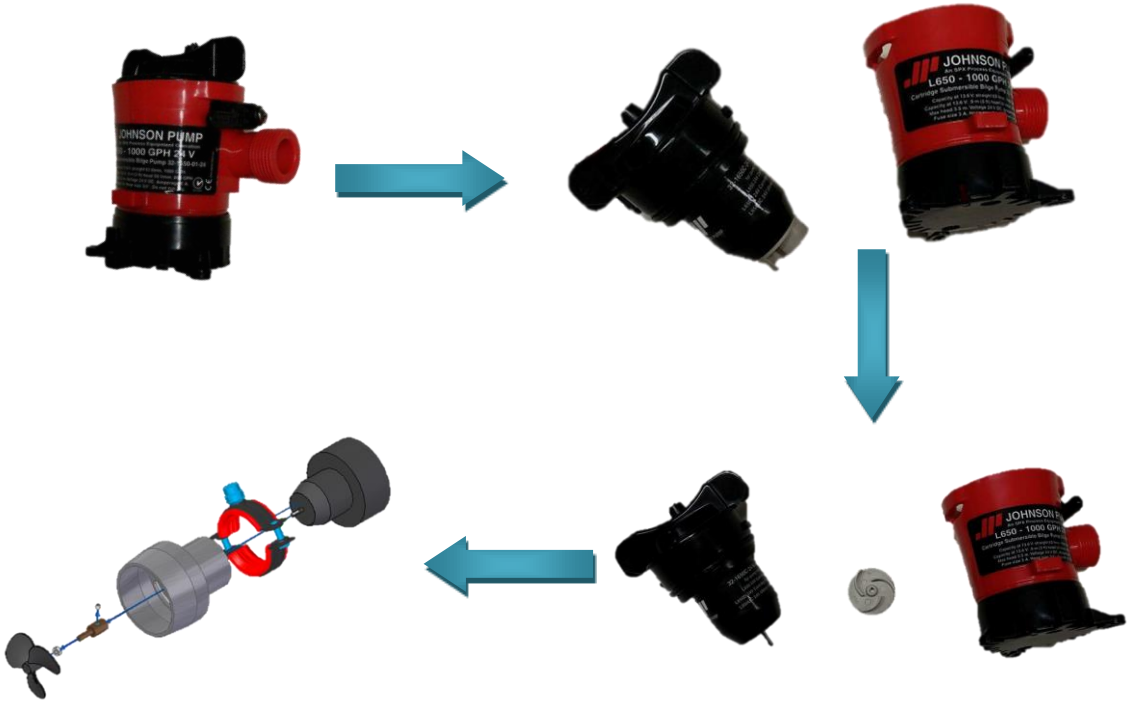
We hebben het dan maar over een andere boeg gegooid en toch gekozen om dompelpompen om te bouwen tot thrusters wegens ons beperkt budget. Achteraf gezien was dit zeker geen slechte beslissing want het prijskaartje van onze ROV is toch een heel stuk gezakt.

3.5.4.2 Dompelpompen

We hebben wat opzoekwerk gedaan i.v.m. dompelpompen die op 24 Volt werken. We hebben besloten om met 24 Volt te werken om de stroom te beperken. Zo kwamen we uit bij dompelpompen van het merk Johnson type L650 24 V. De pompen hebben een debiet van 61 l/min en trekt maximaal 2 Ampère. We hebben voor deze pompen gekozen omdat ze gemakkelijk om te bouwen zijn.

3.5.4.3 Ombouwen van de dompelpompen

Deze pompen zijn zo ontwikkeld zodat je met een kliksysteem het pomphuis van rond de pomp kunt wegnemen. Als dit gebeurd is zie je het zuigsysteem. Dit bestaat uit een impeller die op de as van de pomp geschoven is. Deze impeller moet je van de as schuiven. Dan hebben we een koppelstuk ontworpen dat ervoor zorgt dat je de schroef op de pomp kunt monteren. Dit koppelstuk monteer je door het over de as te schuiven van de pomp. Je kunt dan de as in het koppelstuk klemmen door de stelschroef aan te draaien. De andere kant van het koppelstuk bestaat uit een as met buitenschroefdraad. Daar kun je dan een moer en een schroef met binnenschroefdraad opdraaien. De contramoer moet je dan aanspannen tegen de schroef om ervoor te zorgen dat de schroef niet van de as draait als de motor in tegengestelde zin draait. We hebben ook een beschermkap ontworpen. Dit heeft de functie om zowel de schroef te beschermen zodat deze niet kan afbreken, maar ook voor de veiligheid van de gebruiker van de ROV. Er is ook een beugel voorzien om de thruster vast te maken aan ons frame.



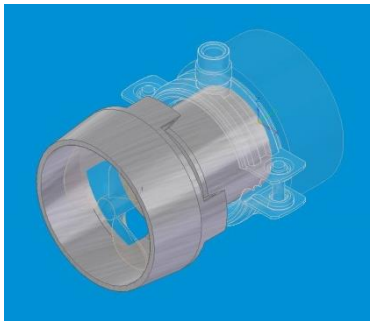
3.5.4.4 Beschermkap van de schroef

We hebben gekozen voor een legering van aluminium, koper, magnesium en lood. We hebben voor dit materiaal gekozen omdat dit een standaard materiaal is dat op school te verkrijgen is (AlCuMgPb F34). Er moet ook veel aan gedraaid en gefreesd worden en dit materiaal is een goed verspaanbaar materiaal.

Chemische samenstelling

Al Cu Mg Pb:

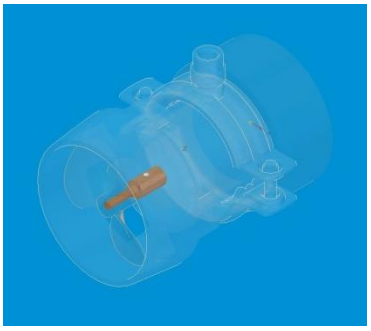
- Si 0,8%
- Fe 0,8%
- Cu 3,3-4,6%
- Mn 0,5-1,0%
- Mg 0,4-1,8%
- Zn 0,8%
- De rest bestaat uit Al



Eigenschappen

Mechanische eigenschappen	Trek in N/mm²	Strek in N/mm²	Rek %	Hardheid
Al Cu Mg Pb F34	min. 340	min. 220	min. 7	ca. 90 HB

3.5.4.5 Koppelstuk tussen schroef en bilgepomp



Dit is een heel klein stuk dat gemakkelijk te verspanen moet zijn, vooral de verspaanbewerkingen boren en draaien moeten vlot verlopen. Het moet ook corrosiebestendig zijn. De massadichtheid speelt hier een minder belangrijke rol door het geringe volume. Daarom hebben we gekozen voor een legering van koper, zink en lood. Deze legering wordt nogal vaak messing genoemd. Op school gebruiken ze CuZn39Pb3 vandaar de keuze voor dit soort messing.

Chemische samenstelling

CuZn39Pb3:

- Cu: 57,0 - 59,0%
- Pb: 2,5 - 3,5%
- Zn: rest
-

Eigenschappen

Zeer goede verspaanbaarheid. Goed warm vervormbaar. Goede boor- en draaikwaliteit.

Massadichtheid: 8,5 kg/dm³

3.6 Berekeningen

3.6.1 Krachten

Als we willen weten hoe de ROV zich gaat gedragen in het water, zullen we moeten berekenen welke krachten en momenten er op de ROV staan. Zo kunnen we de snelheid van de ROV en of de ROV zal drijven berekenen. Onder water staan op de ROV de volgende krachten:

- De zwaartekracht
- De Archimedeskracht
- kracht door de motoren
- De waterweerstand

De **zwaartekracht** is de aantrekkingskracht van de aarde op een massa, deze kracht is gelijk aan de formule:

$F_g = \sum m_i * g$ met $\sum m_{i,}$ de som van alle massa's van de ROV;

g, de zwaartekrachtconstante, 9,81 m²/s*kg;

$F_g = 10{,}859 * 9{,}81 = 106{,}53N$

De **Archimedeskracht** is de kracht die ontstaat bij onderdompeling van een object in een vloeistof of gas en deze gelijk aan het gewicht van het verplaatste volume:

$F_a = \sum V_i * g * \rho$ met -$\sum V_i$, de som van alle volumes van de ROV;

-g, de zwaartekrachtconstante, 9,81 m²/s*kg;

-ρ, de massadichtheid van water, 1000kg/m³

$F_g = 0{,}01118 * 9{,}81 * 1000 = 109{,}68N$

$\Delta F_r = F_g - F_a$

Als de resulterende kracht negatief is betekent dit de archimedeskracht groter is dan de zwaartekracht, dus zal hij drijven zonder invloed van de motoren.

Dit betekent ook dat de totale massadichtheid van de ROV kleiner moet zijn dan die van water, namelijk 1000 kg/m³.

$$\rho = \frac{\mathrm{m_t}}{\mathrm{V_t}} < 1000\ kg/m^3$$

De **kracht door de motoren** is gelijk aan:

$F_m = p_h * A$ met -A, Doorsnede Schroef.

-p_h, hydrostatische druk die gelijk is aan:

$p_h = h * g * \rho$ met -h, de pomphoogte;

-g, de zwaartekrachtconstante;

-ρ, de massadichtheid van water.

$F_m = 2{,}5 * 9{,}81 * 1000 * 0.025^2 * \pi = 48{,}15\mathrm{N}$

De weerstandkracht door het water voor grotere snelheden is gelijk aan:

$F_w = 0{,}5 * \rho * A * C_w * V^2$ met

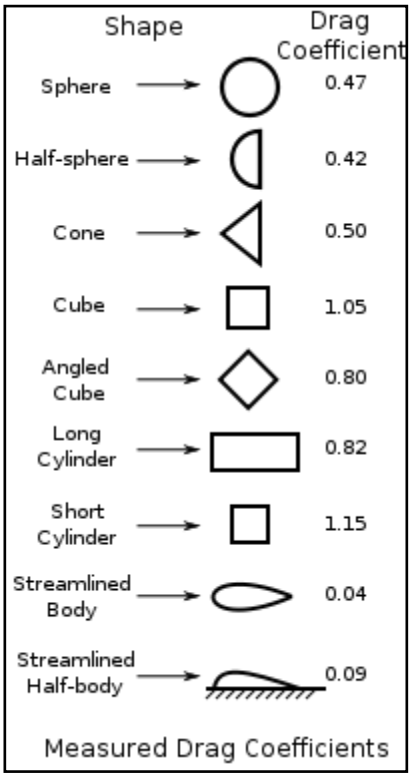
-F_w, kracht door waterweerstand;

-ρ , massadichtheid van water;

-v , relatieve snelheid;

-A , de geprojecteerde oppervlakte van het voorwerp loodrecht op de bewegingsrichting;

-C_w, de weerstandcoëfficiënt, afhankelijk van de vorm van het voorwerp.



Figuur 3.13
weerstandcoëfficienten van basisvoorwerpen

3.6.1.1 Maximum snelheid

De ROV heeft zijn maximum snelheid bereikt als de kracht van de weerstand gelijk is aan de kracht geleverd door de motoren.

$$V_{max} = \sqrt{\frac{F_m}{0.5 * \rho * C_w * A}}$$

De kracht door waterweerstand bij lagere snelheden moet je gebruik maken van de Wet van Stokes.

$F_w = 3\pi * \mu * v * d_v * K$ met -F_w, kracht door waterweerstand;

- μ, de dynamische viscositeit van water bij 10°C, 1,307 * 10^{-3} Pa*s

-v , relatieve snelheid;

-d_v, diameter of een bol met het zelfde volume als het object;

K, de dynamische vorm factor;.

Zo is de max snelheid bij lage snelheid.

$$V_{max} = \frac{F_w}{3\pi * \mu * d_v * K}$$

3.6.2 Momenten

Door de krachten op de ROV ontstaan er momenten, de belangrijkste momenten zijn:

-Corrigerend moment door zwaartekracht en Archimedes kracht;

-Moment door de motoren nodig om te roteren;

-Onnodig moment door de motoren.

Het **corrigerend moment door zwaartekracht en Archimedes kracht**, is het moment dat zorgt dat de ROV rechtop blijft varen in het water. Dit moment is afhankelijk door de afstand tussen de aangrijpingspunten van de zwaartekracht en de Archimedes kracht en de grootte van die krachten.

$M = F_g * \|AG\| * sin\alpha$ met -F_g, de zwaartekracht van de ROV;

-$\|AG\|$, de afstand tussen het zwaartepunt en het drijfcenter;

- $sin\alpha$, de hoek waaronder de ROV staat.

$M = 106{,}53 * 0{,}038 * sin\alpha$

Het **moment om te roteren**, dit is het moment die de twee motoren creëren om de ROV te roteren.

$M = \#_m * F_m * \|MG\| * sin\alpha$ met -$\#_m$, het aantal motoren;

-F_m, de kracht van de motoren;

-$\|MG\|$, de afstand tussen de motor en het zwaartepunt(in het xy-vlak);

- $sin\beta$, de hoek waaronder de motor staat op het zwaartepunt.

$M = 2 * 48 * 0{,}126 * sin70° = 3{,}98Nm$

Het **onnodig moment door motoren**, dit is het moment gecreëerd door de motor omdat de as van de motoren niet op de zelfde hoogte staan als de zwaartepunt.

$M = \#_m * F_m * \|MG\| * sin\alpha$ met -$\#_m$, het aantal motoren;

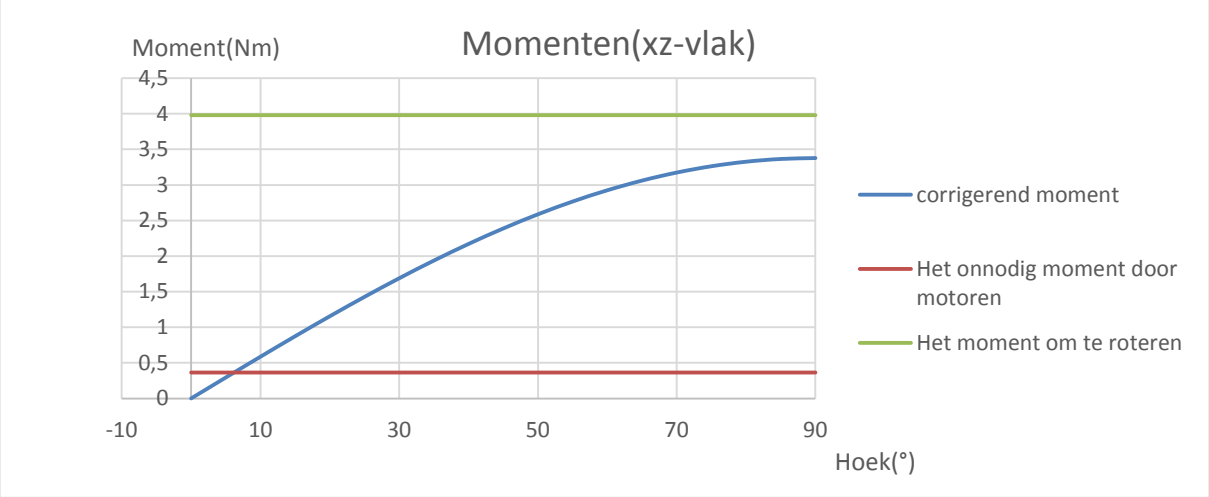
-F_m, de kracht van de motoren;

-$\|MG\|$, de afstand tussen de motor en het zwaartepunt(in het xz-vlak);

- $sin\gamma$, de hoek waaronder de motor staat op het zwaartepunt.

$$M = 2 * 48 * 0{,}0453 * \sin(4{,}82°) = 0{,}364Nm$$

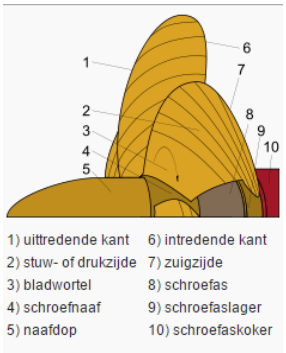
Er ontstaan geen onnodige momenten door de verticale thruster, omdat de as van de thruster door het zwaarte punt gaat.



Figuur 3.14: Rotatiemoment i.f.v.

3.7 Schroeven

Een schroef is een middel om een voorwerp op of in het water voort te bewegen. Er bestaat ook een variant in de lucht, de propeller, die berust op hetzelfde principe. Een schroefsysteem werkt tot wat vele mensen denken niet hoofdzakelijk als een schroef-moer systeem. Met andere woorden een schip beweegt niet voort omdat de schroef zich een baan snijdt door het water. Wel zorgt een schroef voor een bovendruk aan de stuwzijde van de bladen en een onderdruk aan de zuigzijde. De bovendruk zal de schroef willen vooruitduwen en de onderdruk zal de schroef willen aanzuigen, wat resulteert in een voorwaartse beweging.



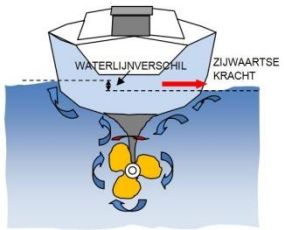
Figuur 3.15: onderdelen schroef

Schroeven zijn opgebouwd uit een naaf en de hierop onder een hoek gemonteerde bladen, die een schroefoppervlak beschrijven.

3.7.1 Effecten

3.7.1.1 Schroefeffect

Door het feit dat het onderste blad van een schroef onderhevig is aan een grotere hydrostatische druk dan het onderste blad zal deze als het ware harder tegen het water duwen dan de bovenste. Hierdoor zal de schroef niet enkel een voorwaartse kracht uitoefenen, maar ook een zijwaartse. Dit wordt het schroefeffect genoemd. Het schroefeffect wordt versterkt door het feit dat er ook constant een hoeveelheid water tegen de zijkant van de boeg wordt 'gesmeten'. Ook bevindt het bovenste blad zich meestal dichter bij de romp en krijgt dus in kleine mate minder water toegevoerd. In figuur 3.13 wordt nog een belangrijke factor getoond die berust op een door de schroef veroorzaakt relatief niveauverschil.



Figuur 3.16: bijkomend schroefeffect

Stel een linksom, vooruitdraaiende schroef. Hierbij zal de achterkant van het schip naar bakboord (links) bewegen, waardoor het schip op zijn geheel naar stuurboord (rechts) zal afvaren.

3.7.1.2 Cavitatie

Cavitatie is een verschijnsel dat optreedt bij schroeven die op een hoog toerental draaien. Door de traagheid van het water ontstaat er soms een tekort aan water rond het schroefblad. Hierdoor ontstaan kleine "belletjes" vacuüm. Bij het terug inklappen van deze bolletjes, het imploderen, ontstaan grote krachten die stukjes

Figuur 3.17: tipwervelcavitatie

materiaal lostrekken van de schroef. Cavitatie zorgt voor veel lawaai.

Om cavitatie tegen te gaan, kan men meerdere maatregelen nemen:

1. Het dieper plaatsen van de schroef, waardoor de hydrostatische druk stijgt.
2. Het bladoppervlak vergroten, daardoor wordt de te leveren stuwkracht per oppervlak kleiner.
3. De profielvorm aanpassen, waarbij vooral aan de in- en uittredende kanten aandacht moet worden besteed.
4. Aanpassen van de spoed.
5. Voor een meer uniforme aanzuiging in het achterschip zorgen. Dit kan door het lijnenplan aan te passen of door hulpstukken voor de schroef te plaatsen (vinnen e.d.).

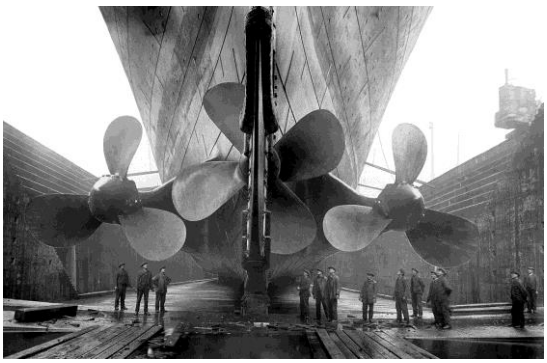
Figuur 3.18 schade door cavitatie

3.7.2 Opbouw

3.7.2.1 Diameter

Hoe groter de schroef, hoe meer van de door de romp veroorzaakte volgstroom gebruikt wordt. Bij een grotere diameter kan hetzelfde vermogen bij een lager toerental overgebracht worden, wat een groter rendement tot gevolg heeft. Met een grotere schroef neemt het stopvermogen ook toe. Een te grote diameter kan zorgen voor cavitatie en aanzuiging van lucht.

Er kan om verschillende redenen – zoals de scheepsvorm, het vermogen en toerental van de gekozen voortstuwingsmotoren, wendbaarheid, dieptebeperking en budget - ook gekozen worden voor een kleinere schroefdiameter. Over het algemeen neemt de reactiesnelheid van het schip af naarmate de schroef kleiner wordt.



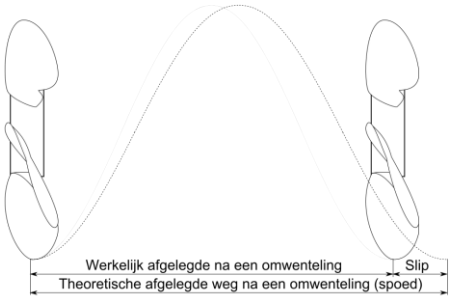
Figuur 3.19: Schip met twee driebladsschroeven en één vierbladsschroef met grotere diameter

3.7.2.2 Aantal bladen

Het bepalen van het aantal bladen is een moeilijk gegeven, vaak wordt dit nog proefondervindelijk bevonden. Twee schroeven worden niet zo heel vaak gebruikt omdat deze over het algemeen een kleiner rendement zullen hebben. Meestal zal er gekozen worden voor drie bladen, en vier bladen enkel wanneer er geen ruimte is voor een drie-blads want je hebt een grotere diameter bij drie bladen nodig om hetzelfde rendement als een, in diameter, kleinere vier bladige schroef te verkrijgen.

3.7.2.3 Spoed

De spoed van een schroef is de afstand die deze afgelegd zou hebben indien deze in een vaste stof zou ronddraaien, vergelijkbaar met schroefdraad. De spoed wordt bepaald door de hoek die de bladen maken met de schroefnaaf. Dit heeft invloed op de stroomsnelheid waarmee het water de schroef verlaat. In vloeistof legt de schroef een minder grote afstand af. Het verschil wordt slip genoemd.



Figuur 3.20: spoed/slip

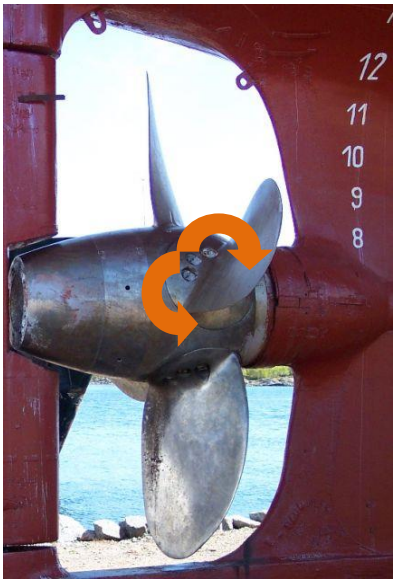
3.7.3 Systemen

3.7.3.1 Straalbuizen

Om een schroef extra rendement te geven, kan er een kortstraalbuis gebruikt worden. Bij een kortstraalbuis wordt de aanstroomsnelheid verhoogd en daarmee de druk verlaagd. Hierdoor neemt de stuwdruk en het koppel van de schroef af. De wrijvingsweerstand van de straalbuis neemt toe bij toenemende snelheid en wordt uiteindelijk groter dan de extra stuwkracht. Daarom zijn vooral zee- en havenslepers, die een zwaarbelaste schroef hebben en een relatief lage snelheid, uitgerust met straalbuizen. Bij vertragende straalbuizen is de circulatie tegengesteld en daarmee is er een achterwaartse kracht. Hierbij heeft de straalbuis dus een negatieve stuwdruk. Omdat bij dit type minder cavitatie optreedt, wordt deze wel gebruikt bij hoge snelheden of bij als er minder geluid geproduceerd moet worden, zoals bij oorlogsschepen.

Figuur 3.21: kortstraalbuis

3.7.3.2 Verstelbare schroeven



Figuur 3.22: verstelbare schroef

Een verstelbare schroef heeft bladen die rond hun as kunnen draaien. De snelheid van het schip kan hier dan geregeld worden zonder dat de motor en de schroef in toerental moeten afnemen of stijgen. Een verstelbare schroef is vooral handig voor schepen die onder een wisselende belasting moeten werken en veel moeten manoeuvreren.

Waarom niet altijd een verstelbare schroef gebruiken?

Een vaste schroef wordt ontworpen om bij een bepaald toerental met maximum efficiënte te draaien. De bladhoek wordt zo gekozen dat de aanstroomsnelheid en toerental optimaal zijn, maar als bij deze schroeven de berekende belasting plots stijgt zal die bepaalde bladhoek niet meer ideaal zijn voor de situatie. Door nu de bladhoek aan te passen kan een grotere efficiëntie worden bereikt

3.7.3.3 Klapschroef & vaanstandschroef

Zeiljachten zullen vaak gebruik maken van een klapschroef of een vaanstandschroef. Dit zijn schroeven die ontworpen zijn om niet altijd te werken, en wanneer ze niet gebruikt worden moeten ze een zo klein mogelijke weerstand hebben.

Figuur 3.23: klapschroef

Figuur 3.24: vaanstandschroef

3.7.3.4 Contraroterende schroeven

Contraroterende schroeven zij twee schroeven die coaxiaal liggen en een tegengestelde draairichting hebben. Het grootste voordeel van dit systeem is dat er geen schroefeffect optreed dus dit is ideaal

Figuur 3.25 torpedo

voor toepassingen die mooi rechtdoor moeten vliegen, zoals torpedo's. Dit zou op zich een goed systeem zijn voor onze ROV, maar is duur en niet echt nodig.

3.7.4 Wat voor de ROV?

Voor onze ROV zullen we schroeven kiezen met drie bladen en met aluminium kortstraalbuizen errond om een hoger rendement te hebben maar ook voor bescherming. Onze schroefdiameter ligt om en bij de 50 mm.

3.8 Risicoanalyse

3.8.1 Gebruikslimieten

Diepte:

- Wartels IP68: max druk 5bar →max diepte 40m
- Electronicabehuizing: max druk 10bar → max diepte 90m

De maximale diepte met een veiligheidsmarge is 10m.

Capaciteiten:

- Maximale snelheid: - Vooruit: 7km/h
  - Stijgen en dalen: 3km/h
- Maximale extra massa: 300 gram
- Maximum 1 waterstaal per duik

Werkmedium:

- Kabellengte: 20m
- Geen stroming
- Geen troebel water
- Niet ’s nachts vliegen
- Helder weer

3.8.2 Identificeren, grootte bepalen en evalueren van de risico's

3.8.2.1 Volgens Kinney

Risico = Ernst x Kans = Ernst x Waarschijnlijkheid x Blootstelling

Ernst

gering, letsel zonder verzuim	1
belangrijk, letsel en verzuim	2
ernstig, blijvende invaliditeit/chronische aandoeningen met (gedeeltelijke) arbeidsongeschiktheid	7
zeer ernstig, 1 dode (acuut op termijn)	15
ramp, meerdere doden	40

Waarschijnlijkheid

bijna niet denkbaar	0,1
praktisch onmogelijk	0,2
denkbaar, maar onwaarschijnlijk	0,5
onwaarschijnlijk, grensgeval	1
ongewoon, maar mogelijk	3
goed mogelijk	6
te verwachten	10

Blootstelling

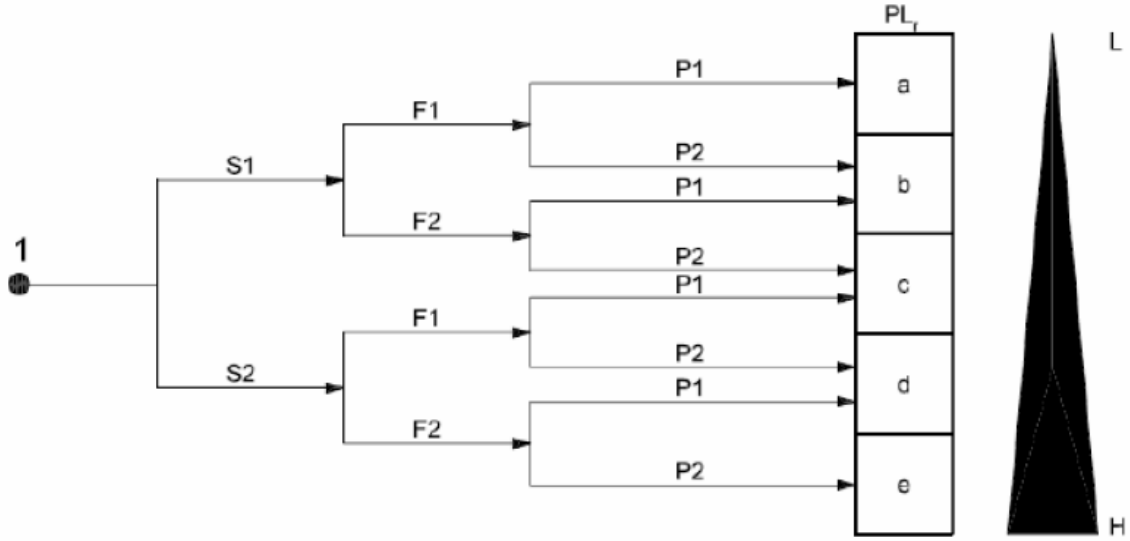
zeer zelden (1x per jaar)	0,5
zelden (jaarlijks)	1
soms (maandelijks)	2
af en toe (wekelijks)	3
regelmatig (dagelijks)	6
voortdurend	10

Risicoscore en acties

	code 1	geen
> 20	code 2	aandacht vereist
> 70	code 3	maatregelen vereist, kan gepland worden
> 200	code 4	directe verbetering
> 400	code 5	werken stoppen

Risico	Ernst	Waarschijn-lijkheid	Blootstelling	Grootte van de risico's	Oplossing
Elektrocutie	Dood	Denkbaar, maar onwaarschijnlijk	Af en toe (wekelijks)	R = 15 x 0,5 x 3 = 22,5	Op veiligheidspanning werken en spanning afsluiten bij onderhoud
Kortsluiting	Verbranden en stilvallen ROV Brandwonden	Ongewoon, maar mogelijk	Af en toe (wekelijks)	R = 3 x 0,5 x 3 = 4,5	Goed isoleren
Contact met draaiende schroeven	Snijwonden en/of verliezen van ledematen	Goed mogelijk	Af en toe (wekelijks)	R = 7 x 3 x 3 = 63	Veiligheid kapjes Handleiding lezen
Oververhitting in de buis met elektronica	Verbranden en stilvallen ROV. Brandwonden	Praktisch onmogelijk	Soms (maandelijks)	R = 2 x 0,2 x 2 = 0,8	Temperatuursensor plaatsen in de behuizing
Fout in programmeren	ROV is oncontroleerbaar	Te verwachten	Af en toe (wekelijks)	R = 1 x 10 x 3 = 30	Controle voor start→handleiding
Montagefout	ROV werkt niet naar behoren	Onwaarschijnlijk, grensgeval	Af en toe (wekelijks)	R = 1 x 1 x 3 = 3	Controle voor start→handleiding
Plotselinge stroom-versnelling	ROV wordt onbestuurbaar en kans op knappen van kabel	Denkbaar, maar onwaarschijnlijk	Zelden (jaarlijks)	R = 1 x 0,5 x 1 = 0,5	Niet in wildwater vliegen→zie werkmedium
Onbekwaamheid bestuurder	Schade aan de rov en boot	Goed mogelijk	Af en toe (wekelijks)	R = 0 x 6 x 3 = 0	Handleiding, sociale controle
Knappen kabel	Verliezen ROV en snijwonden	Bijna niet denkbaar	Af en toe (wekelijks)	R = 2 x 0,1 x 3 = 0,6	Kabels tijdig controleren en niet te zwaar belasten → handleiding
Struikelgevaar	ROV beschadigd , lichamelijke letsels	Goed mogelijk	Af en toe (wekelijks)	R = 2 x 6 x 3 = 32	Onbevoegde personen weg houden bij de ROV → handleiding

3.8.2.2 Volgens EN ISO 13849



Ernst van de gevolgen

S1 Reversibel, licht

S2 Irreversibel, zwaar of dood

Mogelijkheid voorkomen of beperken van schade

P1 Mogelijk onder bepaalde voorwaarden

P2 Nauwelijks mogelijk

Frequentie en/of blootstelling aan gevaar

F1 Zelden tot minder vaak en/of blootstellingtijd is kort

F2 Frequent tot continu en/of blootstellingtijd is lang

Risico	Ernst gevolgen	Frequentie	Mogelijkheid tot afwenden	Eisen gevaar-reductie	oplossing
Elektrocutie	Dood	Weinig	Mogelijk onder meeste omstandigheden	$S_2 \rightarrow F_1 \rightarrow P_1$ c	Op veiligheidspanning werken en spanning afsluiten bij onderhoud
Kortsluiting	Verbranden en stilvallen ROV Brandwonden	Matig	Geen	$S_1 \rightarrow F_2 \rightarrow P_1$ b	Goed isoleren
Contact met draaiende schroeven	Snijwonden en/of verliezen van ledematen	Groot	Groot	$S_2 \rightarrow F_2 \rightarrow P_1$ d	Veiligheidkapjes Handleiding lezen
Oververhitting in de buis met elektronica	Verbranden en stilvallen ROV. Brandwonden	Weinig	Klein	$S_1 \rightarrow F_2 \rightarrow P_2$ c	Temperatuursensor plaatsen
Fout in programmeren	ROV is oncontroleerbaar	Groot	Groot	$S_1 \rightarrow F_2 \rightarrow P_1$ b	Controle voor start→handleiding
Montagefout	ROV werkt niet naar behoren	Klein	Groot	$S_1 \rightarrow F_1 \rightarrow P_1$ a	Controle voor start→handleiding
Plotselinge stroom-versnelling	ROV wordt onbestuurbaar en kans op knappen van kabel	Klein	Groot	$S_1 \rightarrow F_1 \rightarrow P_1$ a	Niet in wildwater vliegen→zie werkmedium Alertheid en bekwaamheid bestuurder
Onbekwaamheid bestuurder	Schade aan de rov en boot	Matig	Groot	$S_1 \rightarrow F_1 \rightarrow P_1$ a	Handleiding
Knappen kabel	Verliezen ROV en snijwonden	Zeer klein	Klein	$S_2 \rightarrow F_2 \rightarrow P_1$ d	Kabels tijdig controleren en niet te zwaar belasten → handleiding
Struikelgevaar	ROV beschadigd , lichamelijke letsels	Klein	Groot	$S_1 \rightarrow F_2 \rightarrow P_1$ b	Handleiding lezen
Verstikking in USB kabel	Verstikkingsgevaar	Klein	Groot	$S_2 \rightarrow F_2 \rightarrow P_1$ d	Niet in het operatiegebied van de ROV zwemmen

4 Elektronica

In dit hoofdstuk zullen we het elektrisch deel van onze GIP bespreken.

Eerst zijn er enkele algemene zaken die we moeten aanhalen.

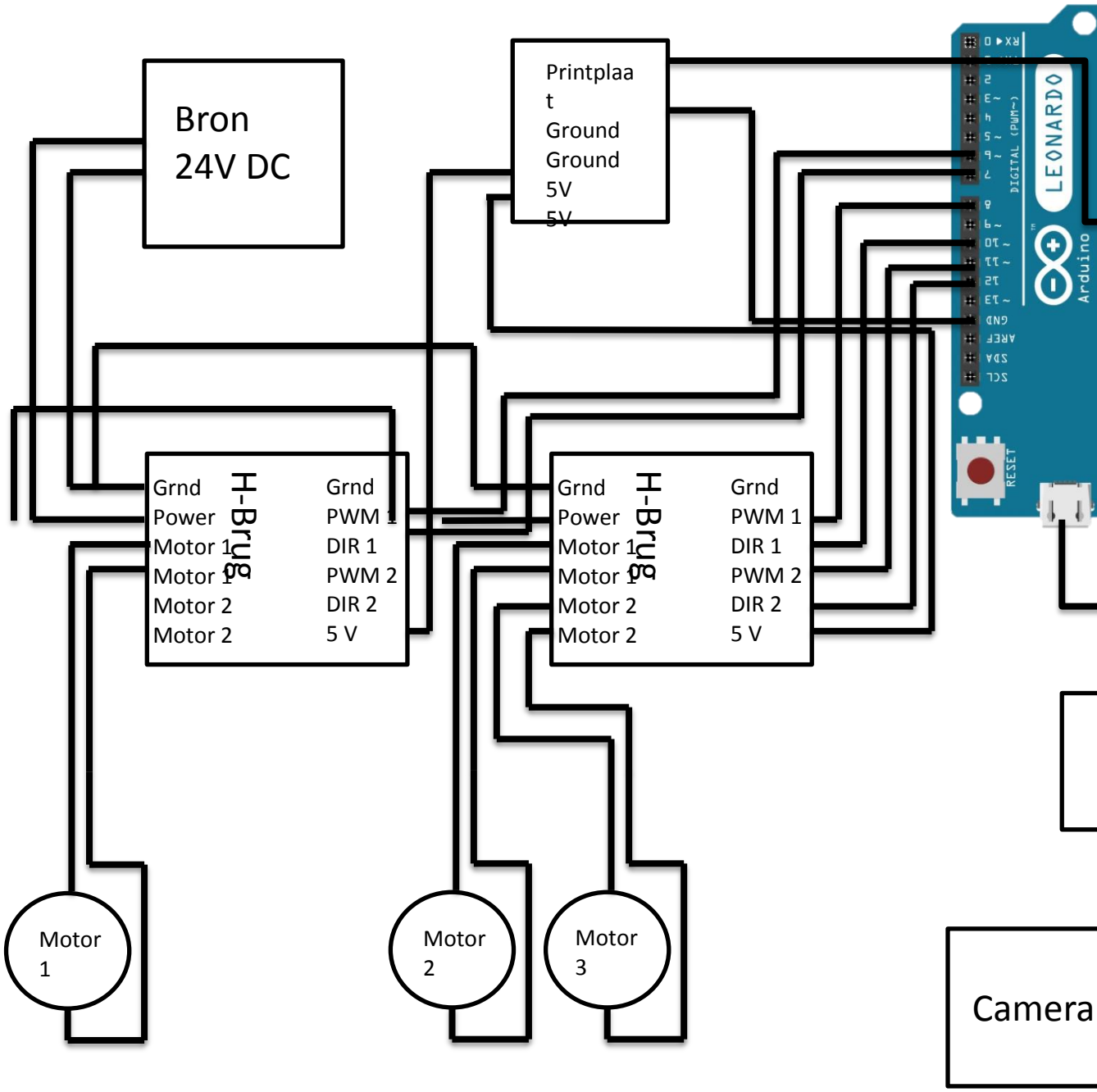
Een ROV wordt dus gevoed en gestuurd aan de hand van signalen aan het wateroppervlak, en "verzonden" via kabels. Voor de voeding gebruiken we een 20m lange kabel met twee aders van elk 2,5mm². Aan de hand van onze leidingverliezen stellen we de bron in op een bepaalde spanning. De webcam en Arduino worden door twee UTP-kabels verbonden. De ene wordt gebruikt voor de webcam, deze sluiten we aan op een computer. De ander sluiten we ook aan op een computer en verbinden we met de Arduino.

De webcam werkt via USB, en USB moet worden versterkt wanneer er meer dan 5m overbrugd wordt. Dit lossen we op aan de hand van USB-extenders (kunnen tot 60 meter verlengen). Dit bestaat uit twee delen, het eerste heeft een female-USB poort en een ingang (female) voor een UTP kabel. Het tweede deel bevat een male-USB kabel en een ingang (female) voor een UTP kabel. Voor de verbinding van de Arduino met de computer passen we hetzelfde systeem toe.

De besturing van de Arduino verloopt via een laptop. Hiermee zullen we de ROV kunnen besturen en bovendien ook temperatuur en druk op een simpele manier monitoren op een enkel scherm. Ook zullen we op datzelfde scherm de beelden die onze webcam doorstuurt bekijken.

De bedoeling is om de drie motoren van de ROV afzonderlijk aan te sturen. Dit doen we met drie toetsen van het toetsenbord per motor. Een knop om onze motor in toeren te laten stijgen, een om de motor in toeren te laten dalen en een toetst om de motor volledig te stoppen. Op het scherm kunnen we permanent de druk meten, en de temperatuur zal elke tien seconden uitgelezen worden.

4.1 Schema


Bron
24V DC
Printplaa
t
Ground
Ground
5V
5V
H-Brug
Grnd
Power
Motor 1
Motor 1
Motor 2
Motor 2
Grnd
PWM 1
DIR 1
PWM 2
DIR 2
5 V
H-Brug
Grnd
Power
Motor 1
Motor 1
Motor 2
Motor 2
Grnd
PWM 1
DIR 1
PWM 2
DIR 2
5 V
LEONARDO
Arduino
RESET
Motor
1
Motor
2
Motor
3
Camera

4.2 Motoren

Om de ROV te laten bewegen in het water zullen wij gebruik maken van motoren. Voor onze ROV zullen wij gebruik maken van omgebouwde dompelpompjes (zie Ontwerp). Wij gebruiken de Johnson L650 Bilgepump, dit is een gelijkstroom elektromotor.

4.2.1 Gelijkstroommotor

Een gelijkstroommotor is een roterende machine waarin elektrische gelijkstroomenergie omgezet wordt in mechanische energie.

4.2.1.1 Toepassingen

Gelijkstroommotoren worden veel gebruikt bij kranen en liften voor hun soepele snelheidsregeling.

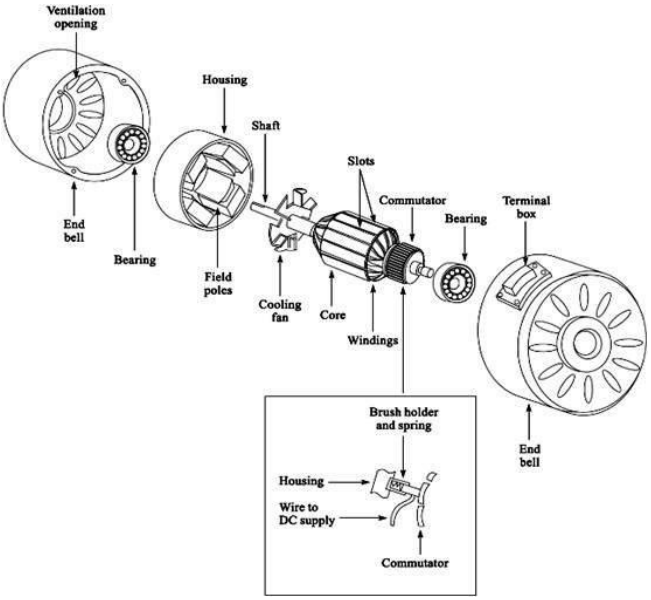
Dankzij hun constant toerental bij veranderlijke belasting worden gelijkstroommotoren ook

toegepast bij pompen, werktuigmachines, ventilatoren, papierwalsen, kabelbanen.

Tot slot worden gelijkstroommotoren toegepast omwille van het groot aanzetkoppel en de automatische aanpassing van de snelheid aan de belasting dit voor tractiedoeleinden (trein, tram) en als startmotor in autovoertuigen.

4.2.1.2 Samenstelling

Een gelijkstroommotor bestaat uit een rotor en een stator. De stator is het stilstaande deel en is een holle ijzeren cilinder die aan de binnenkant voorzien is van een even aantal magneetpolen. Deze wekken het bekrachtigingsveld op tussen luchtspleet en rotor. De rotor of het anker is het bewegende deel en is opgebouwd uit een ijzeren cilinder. De collector of commutator zorgt ervoor dat de stroomzin in de ankergeleiders omkeert wanneer die geleiders een ander poolgebied binnentreden. Hierdoor blijft de zin van de lorentzkrachten behouden waardoor het motorkoppel steeds dezelfde zin heeft en



waardoor het anker blijft draaien.

4.2.2 Labo motoren

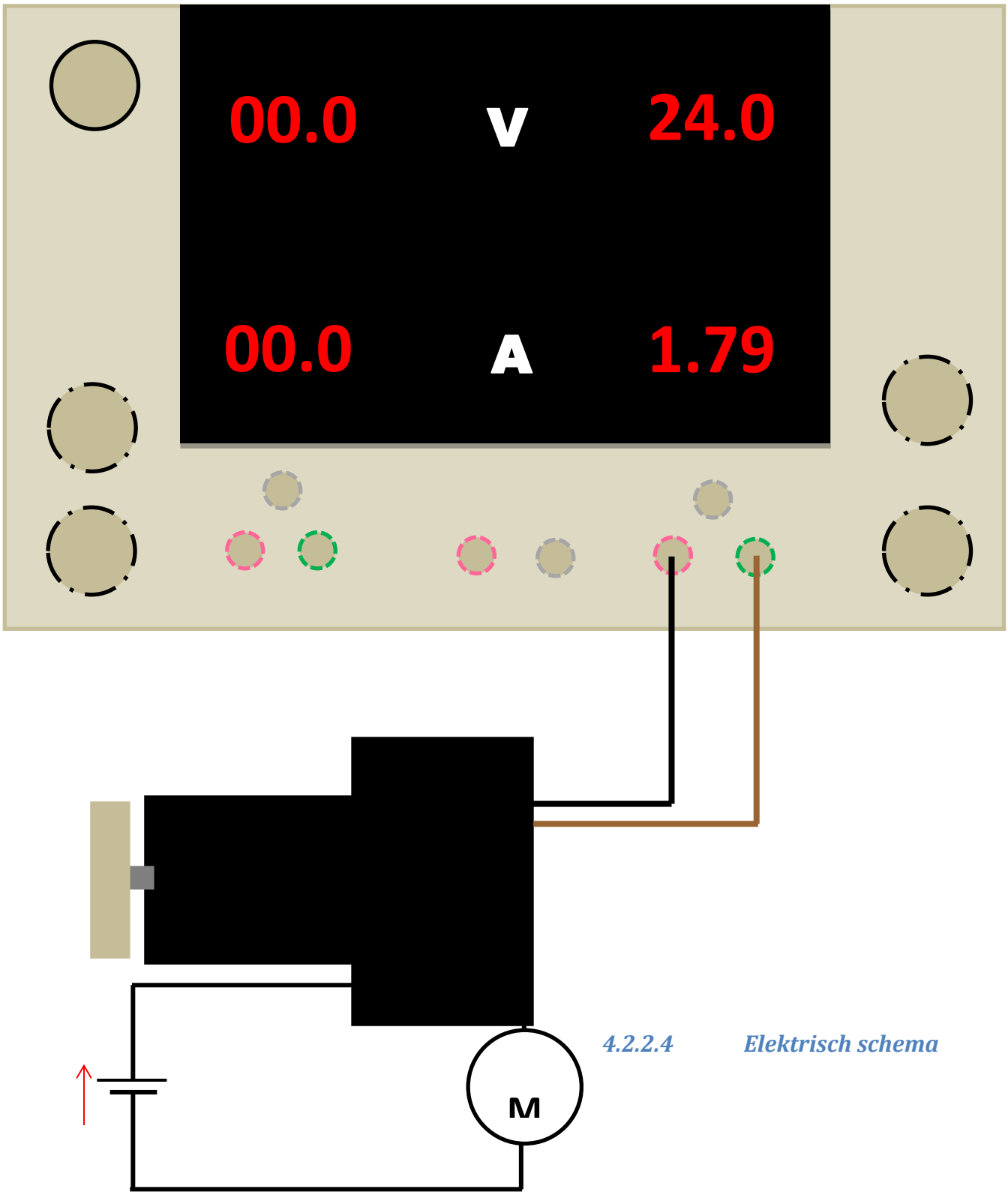
4.2.2.1 Doel

Voor onze gip maken wij gebruik van omgebouwde bilgepompjes. Er zijn twee redenen waarom wij een labo uitvoeren op deze motoren. De eerste is om te kijken welke het nominaal stroomverbruik is, in niet omgebouwde toestand. Deze waarde hebben we nodig om te vergelijken met het stroomverbruik in omgebouwde toestand. Door deze twee te vergelijken weten we als de motor al dan niet als worden overbelast in omgebouwde toestand. De tweede reden is om te kijken welk vermogen er naar beneden zal worden gevoerd, via de umbellical. Deze laatste proef is in omgebouwde toestand.

4.2.2.2 Benodigdheden

- 2 bananenstekkens
- Regelbare voedingsbron
- Pomp (L650 Johnson)
- Emmer water
- Afschermkapjes
- Koppelstukjes
- Miniatuur scheepsschroeven

4.2.2.3 Meetopstelling



4.2.2.4 Elektrisch schema

4.2.2.5 Metingen

4.2.2.5.1 Niet omgebouwd – in water – met rood omhulsel

We nemen de motor zoals die geleverd werd, niet omgebouwd (zie fig.). We plaatsen deze in het water en schakelen de voeding in. Deze test zien we als referentie. Het is nodig om een referentie te hebben, want we doen aanpassingen aan dit popje. Deze aanpassingen kunnen er voor zorgen dat deze zwaarder belast wordt en dus meer stroom vraagt. Dit kan zorgen dat de motor verbrand als de stroom te hoog oploopt.

Figuur 4.1: bilgepomp Johnson L650

We verbinden de bruine draad met de plusklem en de zwarte met de min. We weten dat dit de juiste aansluiting door onze motor ook omgekeerd te hebben aangesloten. We stelden vast dat we de grootste waterverplaatsing hebben wanneer de bruine draad verbonden wordt met de plus. En bij gevolg de zwarte met de min.

We schakelen de bron in en kunnen de spanning en stroom aflezen.

GROOTHEID	*WAARDE*	*EENHEID*
stroom	1,80	A
spanning	24,0	V

De gemeten stroom beschouwen we als referentie. De bedoeling is deze stroom te vergelijken met de stroom bij de omgebouwde pomp in water.

4.2.2.5.2 Niet omgebouwd – in water – zonder rood omhulsel

We verwijderen nu het rode omhulsel van rond het pompje. En sluiten het pompje aan zoals werd beschreven in het vorige puntje.

Figuur 4.2: pomp zonder omhulsel

GROOTHEID	WAARDE	EENHEID
stroom	1,45	A
spanning	24,0	V

4.2.2.5.3 Niet omgebouwd – in lucht – zonder rood omhulsel

We halen het pompje uit het water en laten het draaien in de lucht.

GROOTHEID	WAARDE	EENHEID
stroom	0,52	A
spanning	24,0	V

De waarde van de stroom ligt hier zeer laag, dit komt omdat we bijna geen belasting hebben van de motor. De impellor ondervindt enkel weerstand van de lucht.

4.2.2.5.4 Niet omgebouwd – in water – met rood omhulsel – omgekeerde draai zin

GROOTHEID	WAARDE	EENHEID
stroom	2,37	A
spanning	23,9	V

De reden waarom we nu opeens een veel grotere stroomsterkte hebben ligt bij de impellor.

Wanneer we de motor correct aansluiten draait hij in de zin van de oranje pijl. De schoepen duwen als het ware het water naar de buitenkant.

Keren de polen nu om dan draait de impellor in de andere richting. Het water wordt nu naar binnen getrokken. Alleen kan het water daar niet weg dus ondervindt de motor een grotere weerstand om rond te draaien. Dit zorgt ervoor dat er meer stroom gevraagd wordt.

Figuur 4.4: impellor foute draai zin

4.2.2.5.5 Niet omgebouwd – in water – zonder rood omhulsel – omgekeerde draai zin

GROOTHEID	*WAARDE*	*EENHEID*

stroom	1,67	A
spanning	23,9	V

De reden dat de stroom hier groter is, dan bij dezelfde opstelling maar dan met de juiste aansluiting is te verklaren aan de hand van de impellor.

De stroomsterkte ligt wel lager dan bij het bovenstaande, dit komt omdat het rode omhulsel verwijderd is en het water dus meer vrijheid heeft om overal weg te vloeien. Dit was niet het geval wanneer het rode omhulsel nog steeds aanwezig was, het rode omhulsel bood extra weerstand aan het water.

4.2.2.5.6 Omgebouwd – in water –zonder afschermkap

GROOTHEID	*WAARDE*	*EENHEID*
stroom	2,97	A
spanning	24	V

De stroom die vloeit door de omgebouwde motor is 2,97A . We weten dat de motor een nominale stroom heeft van 2A. dit wil zeggen dat de motor overbelast is, wanneer we hem plaatsen in het water. De oplossing hiervoor is de aangelegde spanning verlagen.

We verlagen de spanning geleidelijk tot de stroom die door de motor vloeit niet boven 2A komt. We bekomen een aangelegde spanning hebben van 18,7V. Bij deze spanning lopen we geen risico meer dat de motor verbrand.

4.2.2.5.7 Omgebouwd – in water –met afschermkap

GROOTHEID	*WAARDE*	*EENHEID*

stroom	3,10	A
spanning	24	V

We verlagen de aangelegde spanning weer tot er 2A vloeit door de motor. Dit doen we met dezelfde reden als hierboven beschreven.

We bekomen een spanning van 18,1V. Dit wil zeggen dat de aangelegde spanning bij het gebruik van de ROV 18,1V is.

4.2.2.5.8 Omgebouwd – in lucht – zonder afschermkap

GROOTHEID	*WAARDE*	*EENHEID*
stroom	0,35	A
spanning	24	V

4.2.2.5.9 Omgebouwd – in lucht – met afschermkap

GROOTHEID	*WAARDE*	*EENHEID*
stroom	0,32	A
spanning	24	V

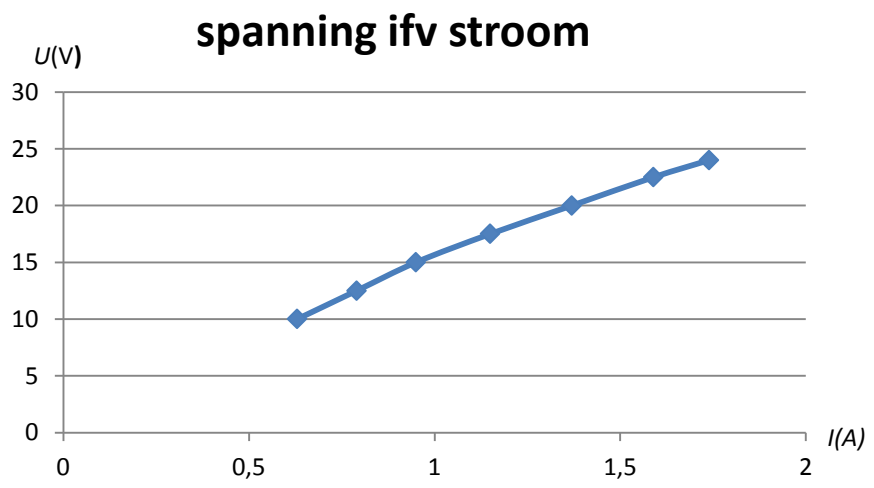
4.2.2.5.10 Bepaling welk type motor

We willen bepalen welk type motor er in onze bilgepomp zit.

Dit doen we door de karakteristiek op te nemen die de stroom in functie van de spanning. We meten ook het debiet. Dit doen we door de ene emmer volledig over te pompen naar de andere. Dit kunnen we koppelen aan het vermogen van de motor. We verhogen steeds de spanning met 2,5V. We nemen 10V als startwaarde, omdat we bij een lagere spanning geen water kunnen verplaatsen.

ingestelde voeding (V)	stroom (A)	tijd (s)	debiet l/s
10	0,63	70	0,124286
12,5	0,79	44	0,197727
15	0,95	33	0,263636
17,5	1,15	26	0,334615
20	1,37	23	0,378261
22,5	1,59	20	0,435
24	1,74	18	0,483333

Wanneer we de spanningen en stromen in een grafiek plaatsen, dan kunnen we vaststellen dat het verloop hiervan lineair is.



We hebben besloten dat dit een permanentmagneet motor is. Dit hebben we kunnen besluiten uit het verloop van de karakteristiek. Ook konden we de draai zin omkeren door de

polariteit te om te keren. De beschrijving van de motor vind je bij de beschrijving van de motoren.

4.2.2.5.11 Bepaling stuwkracht

Dit hebben wij niet gedaan. Dit zou makkelijk gedaan kunnen worden, door de ROV in het water te plaatsen en er dan een newtonmeter aan te hangen wanneer deze vooruit vliegt.

De reden dat deze test niet is gelukt is omdat de enige dag dat de ROV heeft kunnen vliegen, op de opendeurdag was. Het was nog niet zeker als deze waterdicht ging zijn dus was het waterdicht maken op dat moment onze eerste prioriteit.

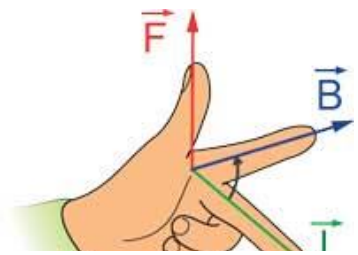
4.3 Werkingsprincipe

Basisprincipe:

Op iedere stroomvoerende ankerdraad ontstaat door de invloed van het elektromagnetisch veld van de polen een lorentzkracht. De zin van die lorentzkrachten kun je bepalen met de linkerhandregel. Die lorentzkrachten vormen twee aan twee een koppel. Al die koppels vormen samen een resulterend koppel (het motorkoppel) dat, indien het voldoende sterk is, het anker doet draaien in de zin van de lorentzkrachten.

De lorentzkrachten berekenen we met deze formule:

$$F = B * l * I$$



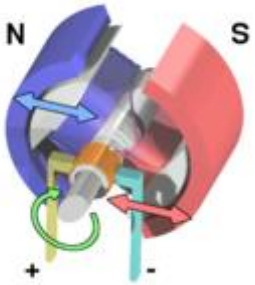
Om de zin van de Lorentzkracht te bepalen in een geleider gebruiken we de linkerhandregel:

Figuur 4.5: linkerhandregel

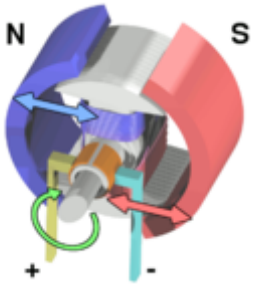
- de handpalm houden we zodanig dat de zin van het magnetisch veld er binnentredend is;

- de vingers houden we in de zin van de stroom in de geleider;

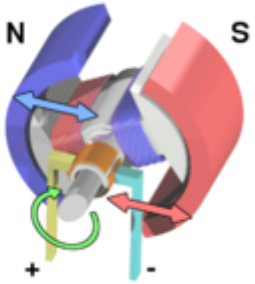
- de duim duidt vervolgens de zin aan van de Lorentz-kracht op de betreffende geleider.



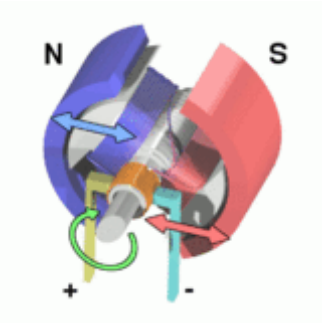
Wanneer er een gelijkstroom loopt door de draaiende wikkeling of ankerwikkeling, wordt er in het anker (rotor) een magneetveld opgewekt. De linkerzijde van de rotor wordt weggedrukt van de vaste linkermagneet en aangetrokken door de vaste rechtermagneet, waardoor de rotor begint te draaien.



De rotor begint 180° te draaien.



Wanneer de rotor horizontaal aangekomen is bij de juiste polen zal de beweging stoppen. De enige manier om de rotor verder door te doen draaien is het omkeren van de polen op het draaibaar anker. Dit gebeurt door de commutator. De linkerzijde van de rotor wordt weggedrukt van de vaste linkermagneet en aangetrokken door de vaste rechtermagneet, waardoor de rotor verder gaat draaien.



Dit proces herhaalt zich steeds opnieuw.

Figuur 4.6: verschillende fases gelijkstroommotor

4.3.1.1 Draaizin van de motor

Zoals opgemerkt bepaalt de zin van de lorentzkracht de draaizin van de motor. De draaizin omkeren, houdt in dat de zin van de lorentzkracht (F = B . I . L) wordt omgekeerd. Daartoe volstaat het om:

-ofwel alleen de stroomzin in het anker om te keren;

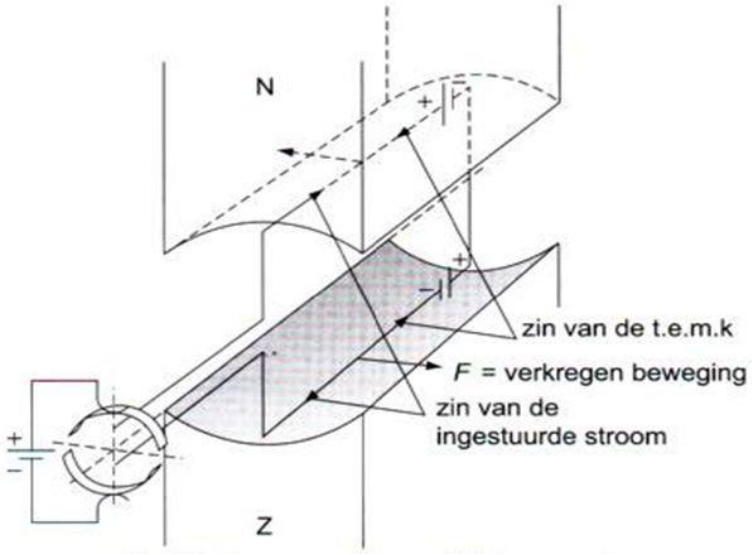
-ofwel alleen de magneetstroom om te keren.

Wordt de stroomzin in ankerdraden en magneetwikkeling gelijktijdig omgekeerd, bijvoorbeeld door netompoling, dan blijft de motor in dezelfde zin draaien.

4.3.1.2 Tegenelektromotorische kracht bij een motor

Wanneer de motor draait, dan snijden de ankerdraden krachtlijnen waardoor in de ankerwikkeling van de motor een elektromotorische kracht (emk) wordt geïnduceerd. Deze

inductiespanning is zodanig van zin dat ze haar ontstaansoorzaak tegenwerkt (wet van Lenz).



4.3.1.3 Beperken van de aanloopstroom

Bij het starten van de motor, dus bij het aanschakelen van de netspanning, staat de motor nog stil zodat de ankerdraden geen krachtlijnen snijden en de tegen-emk nul is. Als we het anker rechtstreeks aanschakelen op de netspanning, dan is de ankerstroom bij het aanzetten:

$$I_{a_{aan}} \frac{U}{R_i}$$

Door de kleine waarde van R_i en de hoge waarde van de klemspanning U zou de ankerstroom bij het aanzetten een ontoelaatbare hoge waarde aannemen, waardoor de beveiliging aan de toevoerdraden zou uitschakelen of de motor beschadigd zou worden. Om dit te voorkomen verlaagd men de ankerspanning van de motor tijdens het aanlopen. Hier zijn twee manieren voor:

- door een elektronische schakeling

- beperken van de aanloopstroom met een aanloopweerstand.

4.3.1.4 Rotatiefrequentie

$$n = \frac{E}{k * \Phi} = \frac{U - I_a * R_i}{k * \Phi} = \frac{U - U_{vi}}{k * \Phi}$$

Aangezien het inwendig spanningsverlies te verwaarlozen is ten opzichte van de ankerspanning:

$$n \approx \frac{U}{k * \Phi}$$

4.3.1.5 Vermogens in een gelijkstroommotor

Het nuttig vermogen Pn van de motor is het mechanisch vermogen dat op de as van de motor

vrijkomt en wordt berekend met:

$$P_n = T * \omega = \mathrm{T} * \frac{2\pi n}{60}$$

Het toegevoerd vermogen is het elektrisch vermogen dat aan de ankerketen wordt toegevoerd:

$$P_t = U * I$$

4.3.1.6 Rendement van een gelijkstroommotor

Het totaal rendement van een gelijkstroommotor is de verhouding van het nuttig

vermogen tot het toegevoegd vermogen:

$$\eta = \frac{P_n}{P_t}$$

4.3.2 Soorten gelijkstroommotoren

4.3.2.1 Onafhankelijk bekrachtigde motor

Bij de onafhankelijk bekrachtigde motor worden de spanningen die aangesloten zijn aan het anker en aan de bekrachtigingsketen, geleverd door twee afzonderlijke en onafhankelijke gelijkspanningsvoedingen. De voornaamste eigenschappen van deze motor zijn:

- een groot aanloopkoppel
- De rotatiefrequentie blijft constant bij een variërende belasting of motorkoppel.

Een nadeel door de kleine weerstand van het anker is dat de aanzetstroom van het anker beperkt moet worden. Dit kan door een aanzetweerstand of een andere stroombegrenzer in serie met het anker te plaatsen.

4.3.2.2 Shunt motor

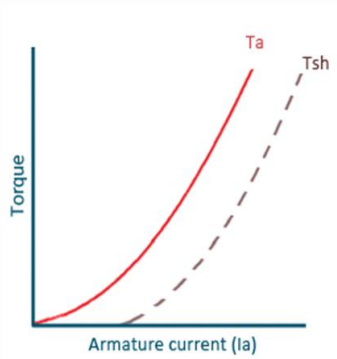
Bij de shuntmotor is de magneetwikkeling (shuntwikkeling) parallel op het anker aangesloten. De shuntmotor heeft ook een aanzetweerstand nodig bij het starten en heeft bijna dezelfde eigenschappen als de onafhankelijk bekrachtigde motor.

4.3.2.3 Motor met permanente magneetbekrachtiging

De karakteristieken van de shunt- en onafhankelijke bekrachtigde motor zijn bijna hetzelfde als die van de motor bekrachtigd met permanente magneten. Het grootste verschil in samenstelling is dat er in de stator geen bekrachtigingswikkelingen maar permanente magneten geplaatst zijn. Hierdoor is de bekrachtigingsflux niet regelbaar, maar de permanente magneten nemen minder plaats in dan de gewikkelde polen waardoor het volume van de motor kleiner is. Het grootste gevaar voor de motor met permanente magneten is het demagnetiseren van de permanente magneten. Bij deze motoren is dus geen collector en koolstofborstels nodig, dit is een groot voordeel aangezien deze onderdelen het snelst verslijten.

Aan de hand van een labo hebben wij de soort gelijkstroommotor kunnen bepalen van onze bilgepumps. Wanneer we kijken naar het debiet in functie van de stroom zien we dat dit een lineaire curve is. Dit is typisch voor motoren met onafhankelijke bekrachtiging, shunt geschakeld of een motor met permanente magneetbekrachtiging. (Zie metingen/labo's.)

4.3.2.4 Seriemotor



Bij de seriemotor is de magneetwikkeling (seriewikkeling) in serie aangesloten met het anker op het net. De seriemotor wordt gestart met behulp van een aanzetweerstand. Als we naar de koppelkarakteristiek van de seriemotor kijken zien we dat dit een gebogen, stijgende lijn is en niet overeenkomt met de karakteristieken van onze motor. De sterke aanzetkoppel is kenmerkend voor de seriemotor omdat dit zo groot is. De

rotatiefrequentie is sterk afhankelijk van de belasting en het motorkoppel. Het grote gevaar van de seriemotor is het op hol slaan van de motor wanneer hij niet belast is en hierdoor kan stukspringen.

4.3.2.5 Compoundmotor

De eigenschappen van de compoundmotor zijn een samen voering van die van serie- en shuntmotor. Afhankelijk van de constructie van de magneetwikkeling kun je de serie- of shunteigenschappen laten overheersen. De compoundmotor kan je op twee manieren gebruiken: de gewone compoundmotor en de anticompoundmotor. Bij de gewone is de seriewikkeling zo geschakeld dat de twee velden dezelfde zin hebben en dus het shuntveld door het serieveld versterkt wordt. Hierdoor is het aanloopkoppel groter dan die van een shuntmotor (nog altijd kleiner dan een seriemotor). De rotatiefrequentie is meer afhankelijk van de belasting dan een shuntmotor. De anticompoudmotor is zo geschakeld dat het serieveld het shuntveld tegenwerkt waardoor deze een klein aanloopkoppel heeft maar de rotatiefrequentie blijft constant bij vergroting van de belasting. Het is mogelijk de voordelen van beide motoren te gebruiken door de motor te laten aanlopen als gewone compoundmotor. Na de aanloop wordt de seriewikkeling omgeschakeld waardoor de motor als anticompound werkt.

4.3.3 Snelheidsregeling

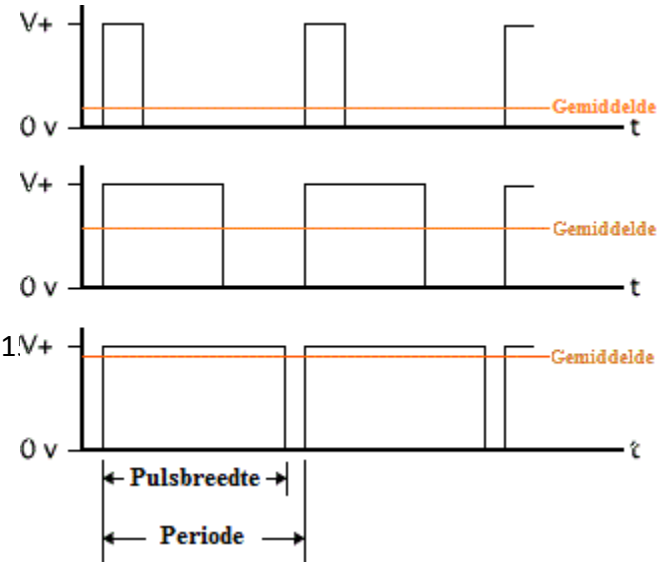
Het grote voordeel van een gelijkstroommotor is dat het toerental eenvoudig te regelen is. De voornaamste manieren zijn:

- Variatie van bekrachtigingsstroom
- Variatie van ankerketenweerstand
- Variatie van motorspanning (meest gebruikte)

Wij zullen het toerental regelen aan de hand van de laatst genoemde mogelijkheid door middel van halfgeleiders.

4.3.4 Pulsbreedtesturing

Pulsbreedtesturing (Engels: pulse-width modulation, PWM) of faseaansnijding is een veelgebruikte techniek die gebruikt wordt als vorm van elektrische voeding of

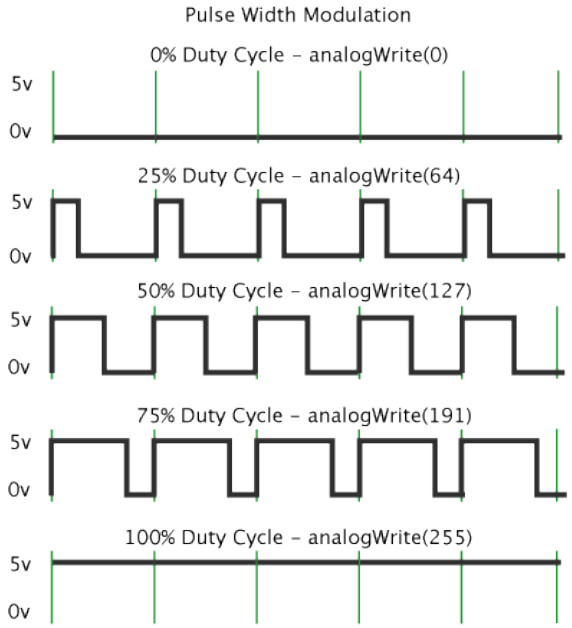


als manier van digitale informatieoverdracht.

Men stuurt een elektrisch signaal in de vorm van een blokgolf met een vaste frequentie. De spanning is dus volledig ingeschakeld (1) of volledig uitgeschakeld (0). Bij PWM wordt de arbeidscyclus (Engels: duty cycle) van het signaal aangepast. De arbeidscyclus is de verhouding van de tijd dat het signaal hoog (1) is tot de periode van het signaal. Men beïnvloedt zo de gemiddelde waarde van het signaal, zoals te zien is in figuur 1.

PWM kent vele toepassingen, een eenvoudig voorbeeld is de aansturing van een led. Wanneer we de led aansturen met een PWM-signaal dan zal de led op hoge snelheid aan- en uitschakelen. Wanneer de gebruikte frequentie hoog genoeg is dan zal de traagheid van het oog ervoor zorgen dat het lijkt dat de led minder fel brandt.

Voorgaande voorbeeld haalt al aan dat de gebruikte frequentie van belang is. De schakelfrequentie moet snel genoeg zijn zodat het schakelen geen merkbare invloed heeft op de belasting. Deze schakelfrequentie kan variëren van enkele keren schakelen per minuut bij een elektrisch fornuis, tot 100 Hz in een dimmer voor gloeilampen, enkele kilohertz (kHz) bij motorsturingen en tien tot honderden kHz in schakelende voedingen voor televisies en computersystemen.



Het grote voordeel van PWM als vermogensregeling is dat het vermogensverlies over de schakelapparaten zeer klein is tegenover de schakelweerstand.

Bij de ROV maken wij gebruik van PWM om de snelheid aan te passen (en dus ook de richting te veranderen). Stel dat we op maximum snelheid willen vooruitgaan geven wij aan via de seriele monitor de waarde 255 en zal de Arduino een PWM signaal met de maximum spanning sturen.

4.3.5 Toepassing op de ROV

De werkspanning van onze motoren bedraagt 24v maar zullen we verlagen omdat we niet willen dat er te veel stroom verbruikt wordt

4.3.6 Specificaties Johnson JPL650

JPL650

- 65 Liters per minuut

- Breedte 19mm
- Ampères 3.6A
- Compact, geen gereedschap nodig voor onderhoud
- Water gekoeld
- Heeft internationale standard, ISO 8849 marine

As: Roestvrij staal (SS2343)

4.4 H-brug

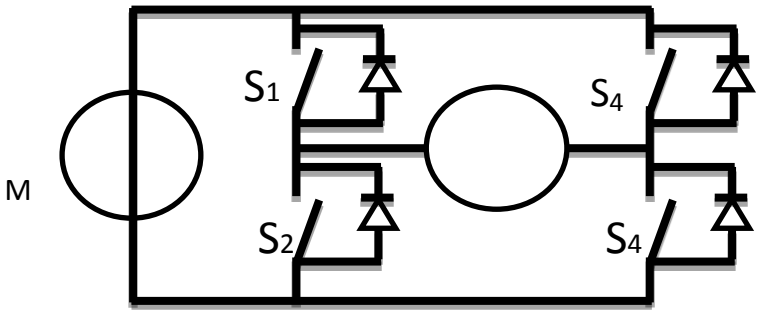
Als we met de ROV de mogelijkheid willen hebben om vooruit en achteruit te varen zonder telkens de lijnen te wisselen hebben we een component nodig dat de polariteit van de motoren kan wisselen.

Wij hebben gekozen om de H-brug te gebruiken, dit heeft als voordeel dat we maar een pin per motor nodig hebben om de polariteit te bepalen. Het aantal PWM pinnen nodig voor een motor blijft hetzelfde.

4.4.1 Opbouw

Een H-Brug is een elektrische schakeling die in IC vorm te verkrijgen is maar ook zelf gemaakt kan worden. Wij hebben ze gekocht omdat dit relatief goedkope stukken zijn. De basisschakeling is opgebouwd uit vier schakelaars (bv: transistoren, FET's, MOSFET's…) waarvan er twee paar in serie staan en die paren zijn dan parallel geschakeld . Men schakelt de motor zodanig dat hij tussen de twee paren staat.

Om de H-brug te beveiligen tegen opgewekte inductiestromen en spanningen en andere mogelijke fouten zijn er dioden ingebouwd. We gaan hier dieper op in bij het stuk principe.



4.4.2 Principe

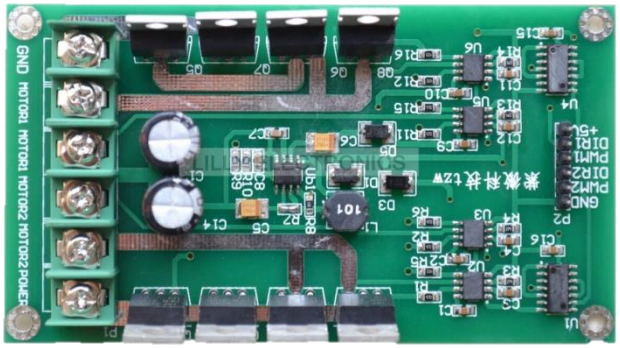
Wanneer we bijvoorbeeld de contacten S1 en S4 sluiten, zal er van links naar rechts een stroom door de motor vloeien waardoor hij begint te draaien in een bepaalde zin. Als we nu de motor van zin willen laten omkeren volstaat het om via de direction pin een signaal te sturen waardoor S_1 en S_4 opengaan. De contacten S_2 en S_3 sluiten waardoor er nu een tegengestelde stroom door de motor vloeit en zo de draaizin omkeert . Wanneer er geen spanning (PWM signaal met duty cycle gelijk aan 0%) staat over de ingangen zal de motor niet werken, als hij al in bedrijf was zal de motor uitlopen en uiteindelijk tot stilstand komen. Wanneer er geschakeld wordt tussen de ingangen is het onmogelijk om beide precies op het zelfde moment te schakelen. Ofwel is de ene later en de ander wat vroeger of omgekeerd (dit geldt voor een heel korte tijd). Tijdens deze situaties kan het zijn dat bijvoorbeeld S_1 en S_2 geleiden waardoor je (heel even) kortsluiting maakt. Om dit te voorkomen plaatst men IC's die er voor zorgen dat het juiste contact op het juiste moment opent of sluit.

Het kan zijn dat beiden gesloten zijn wat ook slecht is omdat de stroom van de motor nergens naartoe kan vloeien en de spanning zodanig groot zal worden dat ze mogelijks een doorgang forceert en dus een contact zal beschadigen. De dioden (vrijloopdiode) maken een weg tijdens deze momenten zodanig dat de spanning niet zo groot hoeft te worden. De dioden werken rond de 0,7 V waardoor de spanning dus maximaal 24,7 V kan worden.

Wanneer we geen signaal meer geven naar de motor en hij dus moet stoppen blijft hij wel nog even draaien en hij werkt dan als een generator. Nu wekt de motor spanningen (EMK's) op die de rest van de elektronica zou kunnen beschadigen. De dioden zijn zodanig geschakeld dat ze de opgewekte spanningen en hierdoor mogelijke stromen afvoeren. (Zie schema)

4.4.3 In de ROV

Wij maken gebruik van een Dual Motor Driver Module Board H-bridge die gebruik maakt van vier Irf3205 mosfets



Specificaties:

- Spanning: 3-36V.
- Stroom: 10A.
- Piekstroom: 30A.
- Dual: we kunnen 2 motoren sturen met 1 module.

Op de H-brug staan zes ingangen:

- Een voor de 5 volt.
- Een voor de ground.
- Twee PWM pinnen.
- Twee direction pinnen.

Dan ziijn er nog de aansluitklemmen:

- Een klem voor de plus van de 24 V DC voeding.
- Een klem voor de ground van de 24 V DC voeding.
- Twee maal twee aansluitklemmen voor twee motoren.

4.4.4 H-bruggen aansluiten op Arduino

Op de Arduino zullen we drie PWM uitgangen gebruiken om de snelheid te regelen en drie digitale uitgangen om de draairichtingen van de motoren te bepalen. De spanning die over deze uitgangen staat zal afhankelijk zijn van de code en de input die de Arduino krijgt.

4.4.4.1 Code

De code zorgt dat de Arduino een bepaalde input omzet in een bruikbare output voor de H-brug.

De Arduino zal een waarde lezen en opslaan in een integer. Int A= serial.Read();

Als die waarde groter is dan 0, If(A > 0) {

dan krijgt output 1 een logische 1, digitalWrite(Output_1,HIGH);

Als de waarde kleiner dan 0 is, Else {

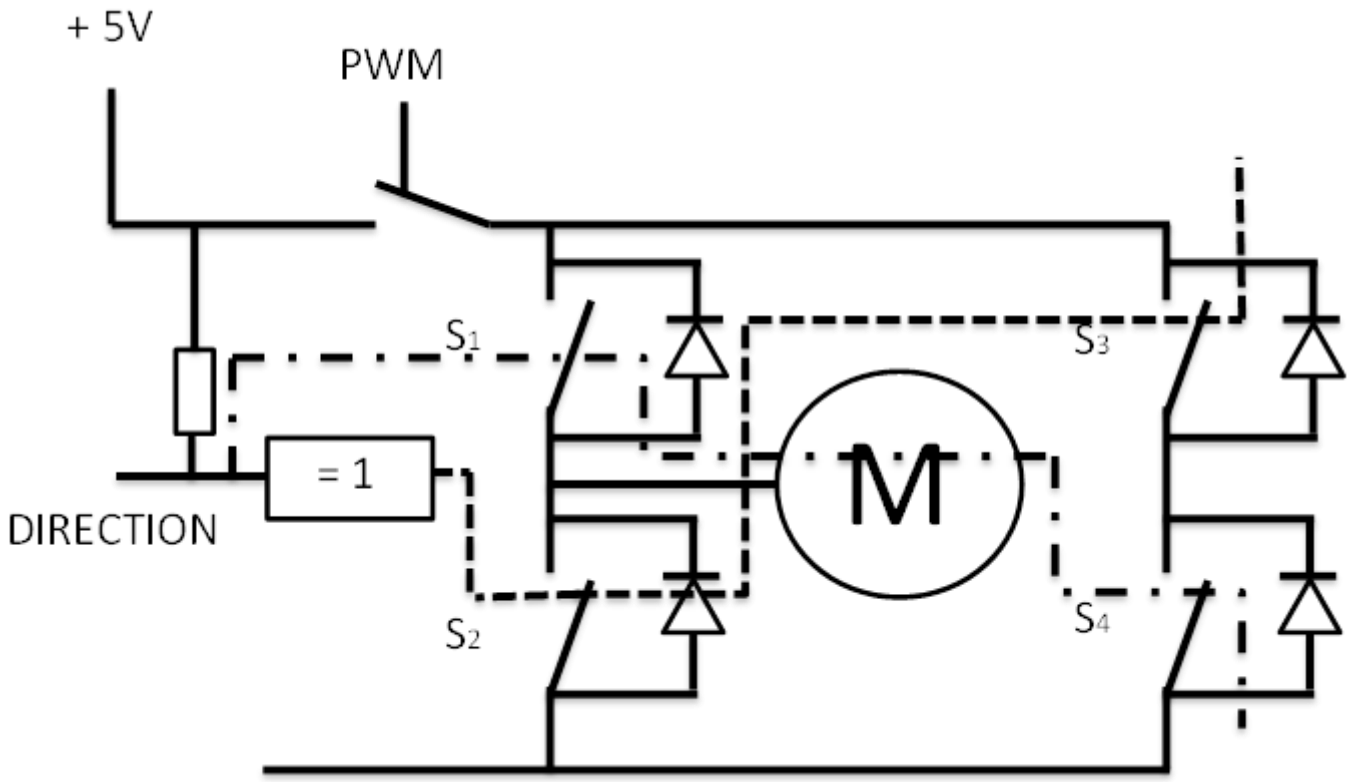
Dan krijgt output 1 logische nul, digitalWrite(Output_1,LOW);

Als laatste zet je de waarde om in een PWM-signaal. analogwrite(output_3,abs(A));

4.4.4.2 Mogelijke standen van de H-brug

S1	S2	S3	S4	Resultaat
0	0	0	0	Geen spanning over motor.
1	0	0	1	Stroom van links nr. rechts
0	1	1	0	Stroom van rechts nr. links
1	0	1	0	Motor wordt geremd.
1	1	0	0	Kortsluiting
1	0	0	0	Geen spanning over de motor, dit geldt ook als enkel S_2 of S_3 of S_4 gesloten zijn.
1	1	1	1	Kortsluiting.

4.4.5 Schema



4.5 Arduino

4.5.1 Waarom microcontroller?

Wanneer de ROV zich in het water bevindt willen wij de mogelijkheid hebben om er verschillende taken mee uit te voeren, maar ook de ROV zelf besturen. Omdat er verschillende elektronische componenten gebruikt worden hebben we iets nodig om deze componenten te sturen en de data van de sensoren te verwerken en naar het oppervlak te sturen. Hiervoor zouden wij een microcontroller gebruiken. Met dit voorbeeld leggen we uit waarom: stel we willen 2 motoren gebruiken voor de sturing en vooruit-/achteruitstuwing van de ROV, dan is de makkelijkste manier om dit te verwezenlijken over elke motor een potentiometer plaatsen waardoor we het toerental van de motoren afzonderlijk kunnen veranderen en zo sturen. Het probleem van een weerstand (hier de potentiometer) tussen de bron en de motor is dat we een hebben waardoor de motoren niet maximaal kunnen draaien. Een andere mogelijkheid is dat we met een potentiometer een triac aansturen die dan de motor aanstuurt en zo het toerental van de motor regelt. Een nadeel hiervan is dat je meerdere schakelingen nodig hebt om de verschillende componenten te sturen en dat we veel verlies van nuttige energie door warmte-ontwikkeling (dissipatie) hebben. De manier die wij toepassen zou met een microcontroller zijn zodat we alle componenten kunnen sturen zonder veel extra elektronica toe te voegen en bijna geen verlies van vermogen hebben.

4.5.2 Waarom Arduino

Er zijn verschillende commerciële microcontrollers op de markt zoals Raspberry Pi, Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard… Wij hebben voor het Arduino-bord gekozen. Raspberry Pi 2B was ook even een mogelijkheid, ondanks dat het een geavanceerder en krachtiger bord is hebben wij voor Arduino gekozen omdat het goedkoop is (alle Arduino-borden kosten onder de 50 euro). Bovendien kan de Arduino op verschillende besturingssystemen werken: Mac OSX, Windows en Linux. Maar we kozen hem vooral ook omdat het simpel en gebruiksvriendelijk is.

4.5.3 Wat is Arduino

Arduino werd in het Ivrea Interaction Design Institute ontwikkeld als een gemakkelijk hulpmiddel om prototypes te bouwen voor studenten zonder kennis van programmeren en elektriciteit. Het werd vlug populair waardoor het werd aangepast aan verschillende benodigdheden. Alle Arduino-borden zijn open-source en de software ook. Het is opgebouwd rond de ATmega168-microcontroller (zie datasheet) van Atmel en het softwareontwikkelplatform Processing.

4.5.4 Wat moet de Arduino kunnen?

Het toerental (met behulp van H-bruggen) van de motoren regelen zodat voortstuwing, besturing en het veranderen van diepte mogelijk wordt.

Aan boord van de ROV moet de Arduino de data van de verschillende sensoren kunnen verwerken zodanig dat we dit kunnen aflezen van een display.

4.5.5 Soorten

4.5.5.1 Arduino UNO

Arduino UNO is de nieuwste versie van het ontwikkelbord en de opvolger van Arduino Duemilanove. De UNO heeft een andere USB-to-Serialchip in zich dan de vorige versies, namelijk de ATmega8U2 USB-naar-TTL. Het heeft net als zijn voorgangers een USB-B-connectie en heeft verder een bootloader die slechts 0,5 kB van het totale geheugen gebruikt.

4.5.5.2 Arduino Duemilanove

Dit is de opvolger van de Diecimila en wordt opgevolgd door de UNO. Verschil met de Diecimila is dat de Duemilanove automatisch omschakelt tussen USB-voeding en een losse adapter. De Duemilanove is de meest eenvoudig te gebruiken versie van Arduino omdat deze direct op de computer kan worden aangesloten en makkelijk te gebruiken aansluitcontacten heeft. Er is een mogelijkheid om zogenaamde shields op het Arduino-bord te plaatsen waardoor de mogelijkheden worden uitgebreid. Voorbeelden zijn shields waarmee communicatie mogelijk is tussen twee Arduino's, een shield voor het besturen van servomotoren, een shield voor het aansturen van RGB-leds of een ethernetadapter om de Arduino aan te sluiten op het internet. Het is mogelijk om meerdere shields op elkaar te zetten, waardoor een soort flat ontstaat. De geprogrammeerde code wordt geüpload via USB-B. De Atmega-chip is geplaatst in een DIP-socket, en is makkelijk te vervangen, bijvoorbeeld als de chip overbelast is geraakt door aangesloten randapparatuur.

4.5.5.3 Arduino Mega

Er zijn momenteel twee versies van de Arduino Mega. De eerste versie, met de Atmega 1280-chip, is wat software betreft gelijkaardig aan de Duemilanove. Wel heeft deze 128 KiB programmeerbaar geheugen in plaats van 16 / 32 KiB bij de Duemilanove. Ook heeft de Arduino Mega 70 programmeerbare aansluitingen (54 digitaal + 16 analoog), tegenover 20 (14 digitaal + 6 analoog) bij de Duemilanove.

De Arduino Mega 2560, met de Atmega 2560-chip, is dan weer gelijklopend met de Arduino UNO. Dit met weer als verschil meer programmeerbaar geheugen (256 KiB in plaats van 32 KiB), en meer programmeerbare aansluitingen (70 in plaats van 20).

4.5.5.4 Arduino Nano

Dit is een kleine versie met precies dezelfde mogelijkheden als de Duemilanove, maar hij mist een 6V-adapter-plug en is op een breadboard te plaatsen. De afmeting is zo klein doordat gebruik wordt gemaakt van een vastgesoldeerde Atmega-chip in een SMT TQFP-behuizing. De communicatie met de pc gaat met USB mini-B. Door de breadboardpinnen is het minder eenvoudig om shields te gebruiken. Er is een adapterboard of een bandkabel als verbinding nodig.

4.5.5.5 Arduino BT

Dit Arduinoboard is uitgevoerd met een bluetooth-chip, waardoor deze via software kan communiceren via bluetooth. De BT-versie is een board met vergelijkbare afmetingen en aansluitingen als de Duemilanove, maar zonder verwisselbare controllerchip van Atmega.

4.5.5.6 Arduino mini

Ongeveer hetzelfde als de nano, maar dan nog kleiner, omdat een USB-controller en bijbehorende connector ontbreken. Voor communicatie met een pc is een optionele USB-B- of RS-232-adapter nodig.

4.5.6 Wat voor ROV?

Wij hebben voor het type Leonardo geopteerd omdat het aantal programmeerbare pinnen (20 digitale input/output waarvan 7 gebruikt kunnen worden voor PWM en 12 als analoge input) ongeveer overeenkomt met het benodigd aantal pinnen van de ROV. Deze bevat:

- On-board power supply
- USB-poort voor communicatie met pc
- Atmel microcontroller chip
- Flash (ramgeheugen): 16 Kbytes
- Cpu: 8bit avr
- Max. Operating Freq. (MHz): 20
- Poorten: kunnen als in- of output geprogrammeerd worden
    - Digitaal/ binair: deze kun je een waarde geven van 0 of 1, 0 is laag en 1 is hoog.
    - Analoog: deze kunnen elke waarde aannemen tussen de maximum en minimum waarde.
- DC-voeding: 5v
- Max uitgangstroom: 40 mA

4.5.7 Codering

Arduino stelt zelf een gratis programmeeromgeving ter beschikking voor gebruikers. Arduino wordt meestal geprogrammeerd in C++.

4.5.7.1 Voorbeeld: sturen van een LED

```
#define LED_PIN 13



void setup() {
   pinMode(LED_PIN, OUTPUT);        // Enable pin 13 for digital output
}



void loop() {
   digitalWrite(LED_PIN, HIGH);     // Turn on the LED
   delay(1000);                     // Wait one second (1000 milliseconds)
   digitalWrite(LED_PIN, LOW);      // Turn off the LED
   delay(1000);                     // Wait one second
}
```

4.6 Lampen

Bij zowat alle ROV's maakt men gebruik van lampen, om de zichtbaarheid van de camera te verbeteren, wanneer de ROV zich onder water bevindt.

Oorspronkelijk was het ook onze bedoeling om lampen te verwerken in ons project. Dit idee werd dan om meerdere redenen niet uitgevoerd.

De eerste reden is: Onder water moet de verlichting relatief sterk zijn (2000 lumen). Wij hadden ledverlichting gevonden die voldeed, het bleek te gaan om twee maal 40W (één voor links en één voor rechts). Wanneer dit in werking zou worden gesteld zou onze stroom zodanig hoog oplopen, dat het niet nuttig zou zijn om nog met 24V te werken.

We zouden onze spanning moeten verhogen en aangezien 24V DC de veiligheidsspanning is bij gebruik in water, zou dat ook geen optie zijn.

De tweede reden is: Wij hebben onze elektronicabehuizing laten maken door een bedrijf nl. Spie. Zoals bij het onderdeel ontwerp werd uitgelegd wordt onze elektronicabehuizing gedicht met ronde flenzen. Aan de voorkant van de ROV is er minstens één doorzichtige flens nodig, om er voor te zorgen dat we met onze camera kunnen kijken. Deze flenzen zijn nogal zwaar. Met twee extra flenzen waarachter wij onze lampen zouden plaatsen, hebben wij niet genoeg drijfvermogen meer over om onze ROV neutraal te maken in het water.

De derde reden is: Het is eigenlijk totaal niet nodig. We zullen onze ROV enkel in klaar water testen (een zwembad) en enkel overdag. Wat dus wil zeggen dat er in feite geen nood is aan verlichting onder water.

Mocht het toch blijken dat onze zichtbaarheid minimaal is, dan kunnen we aan onze profielen nog steeds zaklampen bevestigen die bestand zijn tegen een onderdompeling tot 10m.

4.7 Sensoren

Met onze ROV is het de bedoeling om bepaalde parameters te meten onder water. Deze parameters zijn de druk en temperatuur. Hierbij zullen wij dus gebruik maken van sensoren die dit voor ons zullen meten en op elk ogenblik de druk weergeven en elke tien seconden de temperatuur weergeeft.

4.7.1 Temperatuur

Temperatuur is één van de zeven SI-grootheden (lengte, massa, tijd, stroom, temperatuur, stofhoeveelheid en lichtsterkte). De temperatuur wordt uitgedrukt in Kelvin (*K*). De temperatuur zal bij ons weergegeven worden in graden Celsius (*°C*) op het laptopscherm. Als de temperatuur stijgt met één graad Celsius, zal ze ook één Kelvin stijgen. Het enige verschil is dat nul graden Celsius overeenkomt met 273 Kelvin. Waar de temperatuur in graden Celsius negatief kan zijn, kan Kelvin dat niet. Dit wil zeggen dat de minimale temperatuur in Kelvin niet lager kan zijn dan 0*K.* Wat overeenkomt met een temperatuur van -273*°C.*

$$T_{graden} = T_{kelvin} - 273$$

Een andere veelgebruikte eenheid is de graden Fahrenheit. Dit wordt weliswaar niet gebruikt in Europa, maar wel frequent in Amerika.

$$T_{graden} = \frac{5}{9}(T_{Fahrenheit} - 32)$$

Er zijn heel wat manieren om de temperatuur te meten.

4.7.1.1 Alcoholthermometer

Dit is wellicht een van de meest bekende manieren om de temperatuur te meten.

Het principe berust op de uitzetting van de stof die zich in het glazen buisje bevindt. Deze thermometers hebben een bereik tussen -40°C en 300°C.

Figuur 4.7: kwik of alcoholthermometer

Dit is een zeer traag systeem. Dit komt door de grote traagheid van het systeem. Het is tevens ook moeilijk om deze waarden om te zetten naar een analoog of digitaal signaal. De kwikthermometers worden niet meer gebruikt, omdat het kwik giftig is.

Daarom is het niet geschikt voor in de automatisatie en dus ook niet voor in onze ROV.

4.7.1.2 Bimetaalthermometer

Dit zijn 2 verschillende stroken metaal op elkaar gewalst. Ze hebben elk een andere uitzettingscoëfficiënt, waardoor de twee stroken kunnen scheef trekken als gevolg van een temperatuursverandering. Deze vervorming is een maat voor de temperatuur.

Figuur 4.8: bimetaalthermometer

Dit systeem vindt vooral een toepassing in ovens, lokalen, koelkasten.

Dit systeem heeft hetzelfde probleem als de kwikthermometer. Het systeem is te traag en ook moeilijk om te zetten naar een elektronisch signaal. Dit maakt het ook geen optie voor onze ROV.

4.7.1.3 Stralingstemperatuurmeting

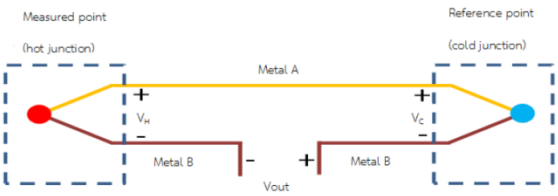
Alle stoffen die een temperatuur hebben boven het absolute nulpunt (0K), stralen een bepaalde hoeveelheid infraroodenergie uit. Dit stemt overeen met een bepaald deel van het kleurenspectrum. Het toestel kan deze kleine variaties waarnemen en linken aan een bepaalde temperatuur.

Figuur 4.9: stralingspyrometer

Het grote voordeel is dat je de temperatuur kan meten vanop een afstand. Ook is het mogelijk heel hoge temperaturen te meten tot 2500°C. De mogelijkheid om de temperatuur van bewegende voorwerpen te monitoren, maakt het zeer geschikt voor de metaalverwerkende industrie, waar de temperaturen van bijvoorbeeld de walsen of andere machineonderdelen moet worden gemeten.

Een nadeel is dat er een slechte nauwkeurigheid is van de meting op een glanzend oppervlak. Een factor die zorgt dat ook deze manier niet geschikt is om in onze ROV te gebruiken, is het feit dat deze methode enkel geschikt is om oppervlaktetemperaturen te meten. Het is dus onmogelijk om onder water een temperatuur vast te leggen.

4.7.1.4 Thermokoppel



Figuur 4.10: principe thermokoppel

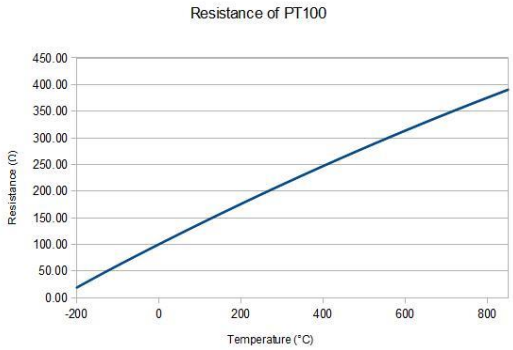
Dit is een manier om de temperatuur te meten aan de hand van een potentiaalverschil dat ontstaat. Het potentiaalverschil is in verhouding met de temperatuur.

Er zijn 2 verschillende zijden, een warme zijde en een koude zijde (referentiepunt). In de warme zijde bewegen de elektronen veel sneller dan in de koude zijde. De kans dat de elektronen vanuit de warme zone naar de koude bewegen is daarom groot. We zien dan dat er een groter aantal elektronen is aan de koude kant, dan aan de warme kant. Dit creëert een potentiaalverschil. Dit potentiaalverschil is meetbaar met een voltmeter. Ook zal dit potentiaalverschil toenemen als de temperatuur in de warme zijde stijgt.

Dit is niet bruikbaar voor onze ROV, want de nauwkeurigheid van dit systeem laat de wensen over. Een nauwkeurigheid slechter dan 1°C is niet ongewoon.

4.7.1.5 Weerstand temperatuur meting

Een vaak gebruikte methode in de elektronica voor het meten van temperatuur, is gebruik maken van temperatuurgevoelige weerstanden. Deze kunnen een weerstandswaarde hebben die toeneemt met de temperatuur (PTC) of juist daalt wanneer de temperatuur toeneemt (NTC).



Figuur 4.11: karakteristiek Pt100

De meest gebruikte component hiervoor is de Pt100.
Dit is een metaalweerstand gemaakt uit platina (Pt). Dit is een PTC- weerstand (positieve temperatuur coëfficiënt). Dit wil zeggen dat de weerstand stijgt in verhouding met de temperatuur. Bij deze welbepaalde is dat 0,38Ω/°C. Het getal 100 wijst op het feit dat de weerstandswaarde bij 0°C gelijk is aan 100Ω. De tijdsconstante van een Pt100 ligt tussen 0,1s en 1s. Deze waarde hangt af van de grootte van de component. Dit wil zeggen hoe snel de component reageert op temperatuurverschillen. Het weerstandsgebied is natuurlijk niet volledig lineair. Het zal een afwijking hebben van 3% tussen de 0°C en 400°C. Wat minder courante modellen zijn Pt50, Pt 200, Pt 500, Pt 1000.

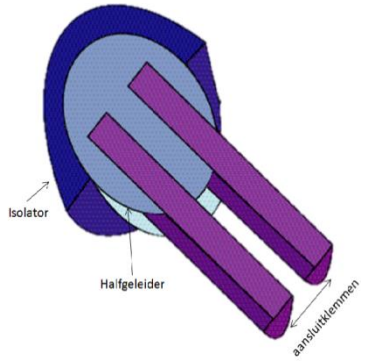
Figuur 4.12: Symbool

Er bestaat nog een Nikkel variant, Ni100. Deze is in vergelijking met de Pt100 een pak onbetrouwbaarder.

Het is een zeer goedkope component en eenvoudig aanpasbaar naargelang de situatie. Deze methode geeft ons snel genoeg na elkaar data, en werkt zeer nauwkeurig. Ook is het signaal elektrisch en dus zeer geschikt voor gebruik met een microcontroller.

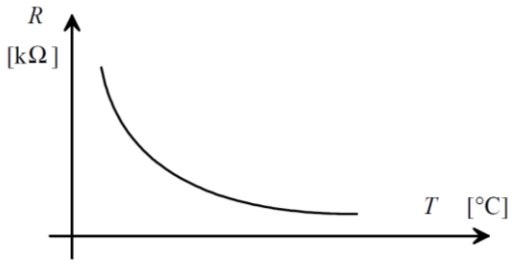
4.7.1.6 Thermistor

Een thermistor werkt gelijkaardig aan een temperatuursafhankelijke weerstand. Er zijn NTC –en PTC-thermistor. De weerstand neemt af of toe, naarmate de temperatuur stijgt of daalt, afhankelijk of het een PTC of NTC is.



Figuur 4.13: opbouw thermistor

De NTC-thermistor is opgebouwd uit een halfgeleider, met twee aansluitklemmen. Dit alles is gegoten in een isolator (kunststof,glas,…).De halfgeleider van een NTC-thermistor bestaat meestal uit metaaloxiden, niet uit silicium of andere frequent gebruikte halfgeleiders.



Figuur 4.14: karakteristiek NTC-weerstand

Deze halfgeleider heeft de eigenschap om bij een stijgende temperatuur meer ladingen vrij te maken, en zo beter ladingen door te laten. Dit gebeurt weliswaar niet lineair met de stijging van de temperatuur.

Het verloop van de functie gebeurt namelijk als volgt:

$$R = A.e^{\frac{B}{T}}$$

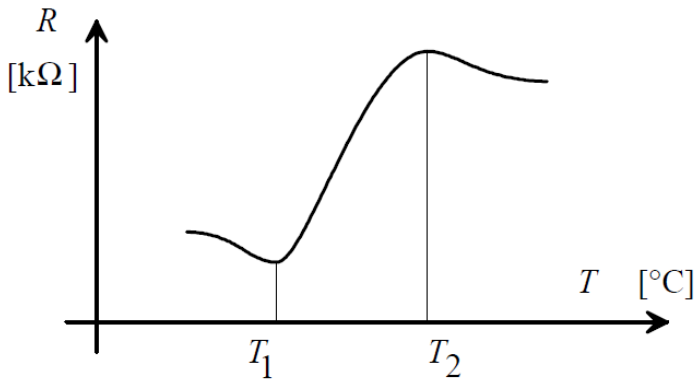
In deze formule zijn:

- R: de weerstand in Ω
- A: een constante in Ω
- e: de wiskundige constante e
- B: een constante in K
- T: de absolute temperatuur in K

De constanten variëren aan de hand van de gekozen thermistor.

De NTC-thermistor heeft een meetbereik van -25°C tot +125°C. Dit type wordt zeer vaak gebruikt voor het meten van temperaturen. Men gebruikt deze manier zeer vaak in de elektronica wat dus zeer interessant is voor onze gip.

Een PTC-thermistor is op dezelfde manier opgebouwd als een NTC, maar werkt omgekeerd. De weerstand verhoogt nu in functie van de temperatuur. De halfgeleider bestaat nu niet meer uit een metaaloxide maar uit –meestal toch- silicium (Si).



Figuur 4.15: karakteristiek PTC-weerstand

De karakteristiek toont ons dat er in een klein interval een zeer grote stijging is van de weerstand, en slechts een geringe stijging van de temperatuur. Dit maakt de PTC niet echt geschikt voor temperatuurmetingen, omdat juist de eigenschap van de positieve temperatuur coëfficiënt enkel geldt in een klein interval namelijk tussen T_1 en T_2. Daarentegen is het kleine interval goed voor thermische beveiliging. Ook worden deze gewikkeld in een motor om deze te beschermen tegen oververhitting.

Het is dus niet nuttig om zo een systeem te gebruiken als systeem om de temperatuur te meten van het water. Aangezien deze enkel gebruikt wordt voor beveiliging veeleer dan effectieve metingen.

4.7.1.7 Overzicht

Type temperatuursensor	**Voordeel**	**Nadeel**
Alcohol	Dit is niet elektronisch.	
Bimetaal	Dit is niet elektronisch.	
Straling	Hoge temperaturen	Werkt niet onder water
Thermokoppel	Robuust	Onnauwkeurig
Weerstand	goedkoop	Onnauwkeuriger

Thermistor	Nauwkeurig/ veelgebruikt	

4.7.2 Onze temperatuursensor (ds18b20)

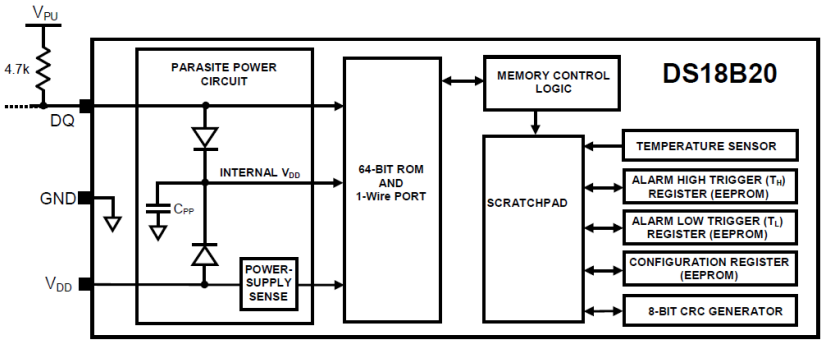
Wij hebben gekozen voor de temperatuursensor ds18b20, deze is gebaseerd op het principe van een thermistor. Deze sensor zal de temperatuur meten van het water. Op die manier weten we welke temperatuur het water heeft op dat moment. De druk zal worden uitgedrukt in graden Celsius. De keuze van de sensor werd bepaald door het feit dat deze sensor een waterbestendige uitvoering heeft. Ook een bepalende factor was dat de ds18b20 een zeer courant gebruikte temperatuursensor is in combinatie met de Arduino. Dit maakte het eenvoudig een voorbeeld programma te vinden hiervoor.

4.7.2.1 Pinconfiguratie:

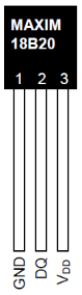
De pin configuratie van het IC, ziet er als volgt uit.

PIN	NAAM PIN	FUNCTIE	KLEUR KABEL
1,2,6,7,8	N.C.	Niet verbonden	/
3	V_{DD}	Voedingsspanning 3,0V →5,5V	Rood
4	DQ	Data-pin, in -en output	Geel
5	GND	Ground	Zwart

Het zijn enkel de pinnen 3,4 en 5 die naar buiten worden gebracht.



Figuur 4.17: Blokschema temperatuursensor



Figuur 4.16: thermistor ds18b20

4.7.2.2 Eigenschappen:

Het meetbereik van de sensor ligt tussen -55°C en +125°C, dit is ruim voldoende aangezien we met onze ROV niet in ijs of kokend water gaan vliegen.

Eigenschap	Symbool	Min	Nominaal	Max	Eenheid
Temperatuurbereik		-55		+125	°C
Voedingsspanning	V_{DD}	3,3		5,5	V
Stroomverbruik	I_{DD}		1	1,5	mA
Meetfout	-10°C/85°C			±0,5	°C
	-55°C/125°C			±2	°C
Reageertijd			750		ms

We kunnen de sensor voeden met 5V of 3,3V vanuit de Arduino.

4.7.2.3 One Wire

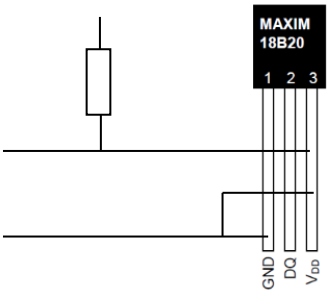
One wire is eigenlijk een manier waar men meerdere sensoren kan aansluiten op één enkele bus van de Arduino. Elke sensor heeft een identificatienummer. Dit nummer is een 64-bit lang nummer en wordt het ROM-nummer genoemd. Dit nummer wordt dan door de Arduino gebruikt om te herkennen van welke sensor welke data komt. Er kunnen dus zeer veel sensoren aangesloten worden op die ene bus, zolang we maar de ROM-nummers hebben van de sensoren. Er is echter wel een beperking, die zal later verklaard worden.

4.7.2.4 Hoe aansluiten

Er bestaan twee manieren om de sensor aan te sluiten aan onze Arduino.

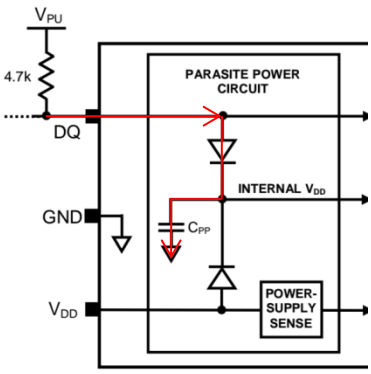
4.7.2.4.1 Parasite power

Deze manier maakt het mogelijk voeding en data via één enkele pin te laten verlopen. De pin voorzien voor voeding wordt uitwendig verbonden met de ground. De datapin gaat naar een digitale bus van de Arduino. Tussen de 5V en de datalijn staat een pull-up weerstand. De reden en waarde van deze weerstand worden later verklaard.

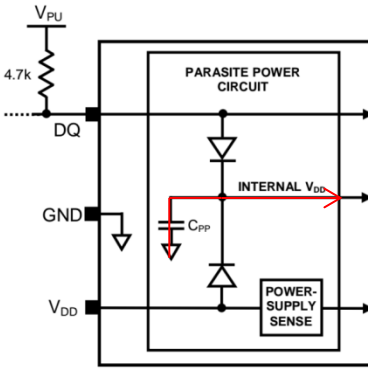


Figuur 4.18: parasite power aansluiting

Het is opmerkelijk dat data en voeding via één en dezelfde pin verlopen. Dit werkt aan de hand van een condensator die in de sensor zit. We kunnen twee periodes onderscheiden. Een moment waar er geen data verzonden wordt, en een moment waar er wel data verzonden wordt naar de Arduino. Als er geen data verzonden wordt dan vloeit er een stoom via de data pin (DQ) naar de component (temperatuursensor). Inwendig zit er een condensator die tijdens dat moment wordt opgeladen (fig. 4.14). Op het moment dat er data verzonden wordt, ontlaad de condensator en voorziet het meetinstrument van stroom (fig. 12).



Figuur 4.20: laden condensator

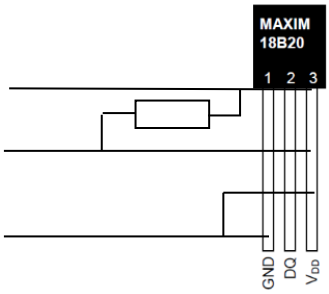


Figuur 4.19: ontladen condensator

We gebruiken dit principe niet, omdat dit ons programma veel omslachtiger maakt. Wat het voor ons weer erg moeilijk maakt om eventuele fouten te vinden in het programma.

4.7.2.4.2 Klassieke manier

Hier sluiten we alle pinnen aan op de klassieke manier. Wat inhoudt dat data en voeding niet via één en dezelfde lijn gaan. We sluiten de voeding aan op de pin hiervoor voorzien, hetzelfde doen we met de data en ground. Tussen de +5V en de datalijn plaatsen we een pull-up weerstand, met doelen in onderstaande beschreven. De waarde van de weerstand is gelijk aan 5kΩ. Hoe we hieraan komen wordt later beschreven.

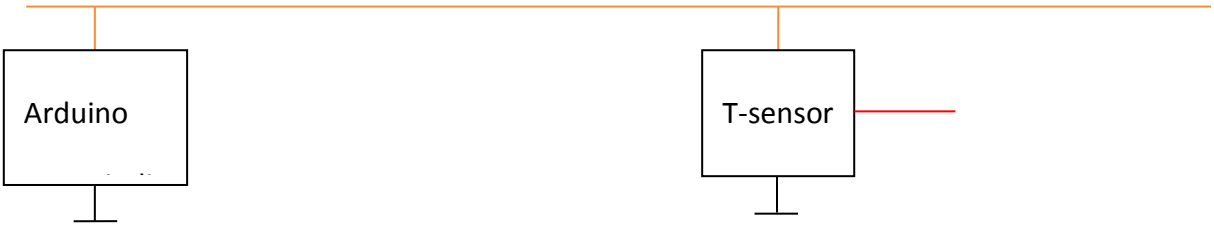


Figuur 4.21: klassieke aansluiting

Dit is de manier die wij zullen gebruiken. Het programma halen wij af van internet en plaatsen we bij de rest van ons programma.

4.7.2.5 Werking

We kunnen onze opstelling zoals hieronder weergegeven.



Figuur 4.22: one wire bus zonder pull-up

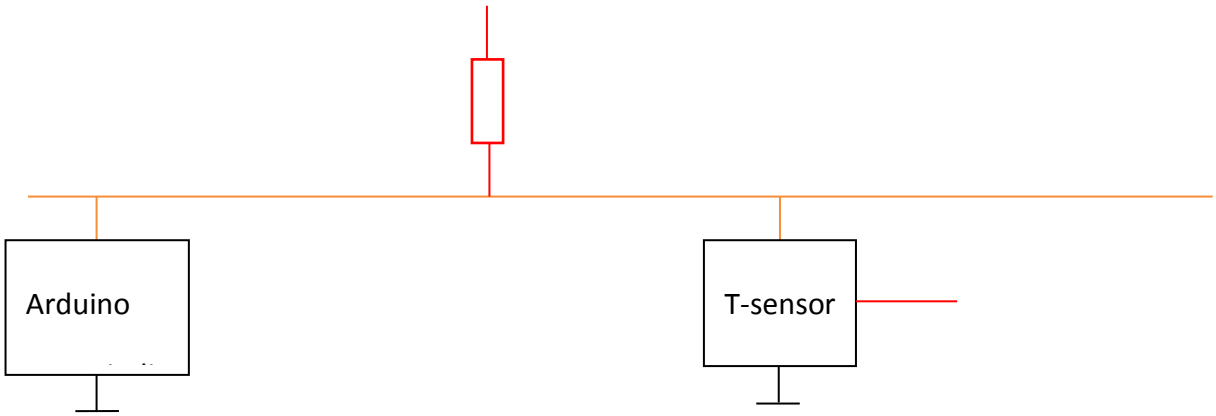
/

We zie een geleider die aangesloten is op de digitale uitgang van de Arduino. De Arduino leest dan Wanneer staat er een logische één of een logische nul op de bus (pin van de Arduino)? Als de spanning op de bus hoger is dan 3V is, ziet de Arduino het signaal als een logische één. Is de spanning op de bus echter lager dan 1,5V, dan ziet de Arduino als een logische nul. Als de spanning over de bus tussen 3V en 1,5V is dan ligt het niet vast welke waarde de Arduino aangeeft. Het is niet duidelijk als het een logische één of nul is. Het signaal zweeft als het ware tussen één of nul.

Er bestaat een fenomeen storing genaamd. Dit wil zeggen dat er door elektromagnetische straling een bepaalde spanning ontstaat op de geleider die kan oplopen tot enkele volts. Dit heeft tot effect dat de Arduino dit als een logische één kan zien, wanneer we eigenlijk juist willen dat de bus laag getrokken is (logische nul).

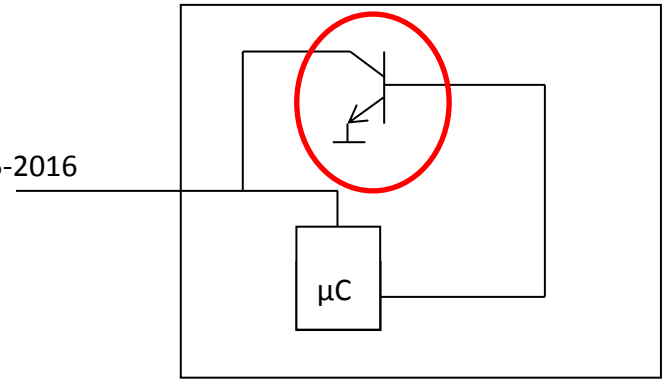
Dit kunnen we oplossen door een pull-up weerstand te gebruiken.

Zo ziet de opstelling met pull-up weerstand er uit.



Figuur 4.23: one wire bus met pull-up

Dit is de oplossing, we plaatsen een weerstand tussen de datalijn en de +5V. Dit zorgt er voor dat de bus altijd hoog getrokken is en er dus steeds een logische één wordt gelezen door de Arduino. De storing heeft nu geen effect meer want de pin is in rust hoog getrokken. Nu hebben we echter het probleem dat er enkel een logische een kan gegeven worden, omdat de bus altijd hoog staat. Om een logische nul te creëren moeten we eerst uitleggen hoe de sensor vanbinnen werkt.



We zien twee belangrijke componenten in de sensor zitten. Een microcontroller en een transistoren. De microcontroller (µC) zet de gemeten temperatuur om naar een reeks één en nullen.

De bus wordt steeds op een logische één gehouden door de pull-up weerstand. Om de bus laag te trekken wordt de transistor die ingebouwd is in de sensor bediend door de microcontroller. De transistor gaat in geleiding en trekt de bus laag. De stroom vloeit in plaats van naar de pin van de Arduino naar de ground.

Figuur 4.24: inwendige werking sensor

Hiervoor wordt de functie van pull-up weerstand duidelijk. Wanneer de bus laag getrokken wordt, wordt de voeding (+5V) naar de grond geleid. Dit is een rechtstreekse verbinding tussen de voeding en de ground, wat dus resulteert in een kortsluiting (stroom is oneindig). De pull-up weerstand dient dus om die stroom te beperken.

De Arduino leest dan een logische nul. Dit komt omdat de Arduino een oneindige weerstand heeft en de sensor rechtstreeks verbonden wordt met de ground. De stroom kiest de makkelijkste weg ,waardoor de stroom richting de ground vloeit en er geen spanning meer komt te staan over de bus van de Arduino.

De gemeten temperatuur wordt omgezet in een binair getal (bv. 11001001). Door de bus laag te trekken en weer los te laten, wordt dit getal gemaakt en doorgezonden naar de Arduino.

Het bepalen van de waarde van de pull-up weerstand bepalen we op volgende manier.

Met één sensor

De waarde van de pull-up weerstand moet tien maal kleiner zijn dan de impedantie van de sensor.

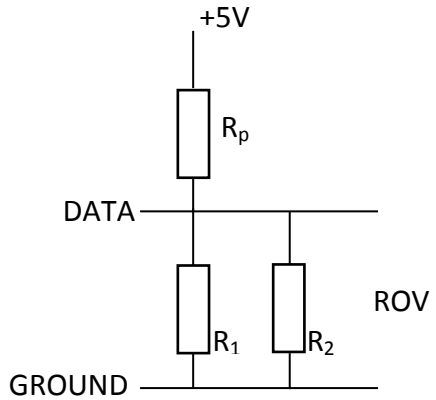
De impedantie van de sensor is 50kΩ. Dit wil zeggen dat de waarde van de pull-up weerstand 5kΩ moet zijn. Dit geldt dus wanneer we enkel de temperatuur meten van het water (1sensor).

Met twee sensoren

We berekenen de vervangingsweerstand van R_1 &R_2. Aangezien de weerstandswaarden van de sensoren in parallel aangesloten zijn op de bus, moeten we dus de vervangingsweerstand berekenen aan de hand van volgende formule:

$$\frac{1}{R_V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

We vullen e formule in met $R_1 = R_2 = 50k\Omega$.



Figuur 4.25: one wire twee sensoren

$$\frac{1}{R_V} = \frac{1}{50000} + \frac{1}{50000} = 0{,}00004$$

$$R_V = 0{,}00004^{-1} = 25000\Omega$$

Dit wil zeggen dat de pull-up weerstand een waarde heeft van 2,5kΩ. Dit wil zeggen wanneer we temperatuur binnenin de elektronicabehuizing en in het water willen meten, we een pull-up weerstand van 2,5kΩ moeten gebruiken.

De waarde van de pull-up zal dus steeds blijven zakken. We moeten wel indachtig zijn dat de weerstand dient om stroom te beperken. Als we deze weerstand te klein maken (veel componenten op één bus), dan zal er toch een grote stroom vloeien. Deze stroom zal als gevolg de component doen verbranden.

Bij ons is deze stroom 4mA, de stroom die de sensor nog kan schakelen. We hebben ook de stroom die de Arduino kan schakelen, deze ligt op 20mA. We nemen dus logischerwijs de kleinste stroom.

Dit resulteert dat de pull-up weerstand een minimum waarde moet hebben van 1250Ω.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5V}{0{,}004A} = 1250$$

4.7.2.6 Linken met praktische realisatie

Wij hebben gekozen voor een waterbestendige temperatuursensor (zie fig.). Dit is de ds18b20. We zullen de temperatuursensor aan de hand van een wartel buiten de ROV brengen (zoals afgebeeld op de foto), zodat het metalen deel in contact staat met het water. Dit maakt het mogelijk de temperatuur van het water juist af te lezen. Dit zal gebeuren op het scherm van de laptop.

Figuur 4.26: waterbestendige temperatuursensor ds18b20

Figuur 4.27: praktische realisatie temperatuurmeting

4.7.3 Druk

Druk is in tegenstelling tot temperatuur niet opgenomen in het SI-stelsel. De basiseenheid van druk is Pascal. We kunnen de druk bepalen aan de hand van volgende formule:

$$P = \frac{F}{A}$$

In deze formule zijn:

P: druk in Pascal (Pa)

F: kracht in Newton (N)

A: oppervlakte in m²

De druk wordt uitgedrukt verschillende manieren:

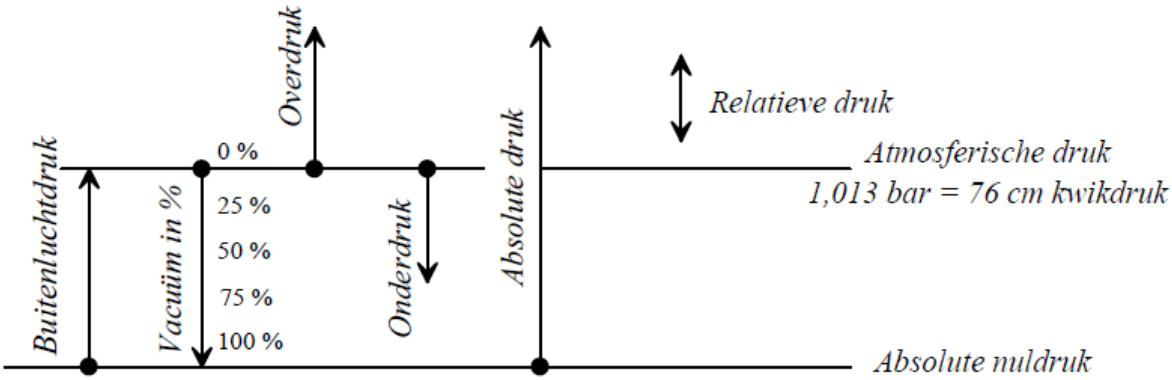
	Pa	**Bar**	**Kg/cm²**	**PSI**
Pa	1	0,00001	0,0000102	0,0000145
Bar	100.000	1	1,02	14,50
Kg/cm²	98.000	0,98	1	14,22

P_{atm}	101.325	1,01	1,03	14,70
PSI	6894,60	0,07	0,07	1

Je leest de tabel op volgend manier:

Horizontaal: Bar Verticaal: PSI

→ 1 bar komt overeen 14,50 PSI

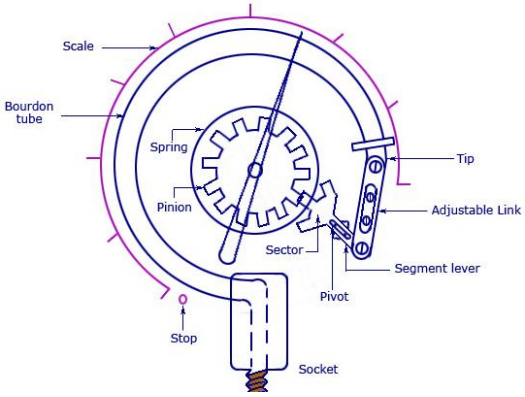


Figuur 4.28: soorten drukken

In dit schema vind je verschillende begrippen rond druk. De absolute nuldruk komt overeen met 0 Pa. We kunnen zien dat bij de absolute nuldruk dit is 100% vacuüm. Onder de druksensoren onderscheiden we drie soorten. De eerste soort meet de absolute druk. Dit wil zeggen dat hij alle drukken meet ten opzichte van de absolute nuldruk. Een tweede soort meet het drukverschil tussen bijvoorbeeld twee drukvaten. Een derde meet het drukverschil met de omgeving waarin hij zich bevindt. Die omgeving kan ofwel de atmosferische druk zijn, maar dit kan evengoed een hogere druk zijn als de sensor in een drukvat wordt geplaatst.

4.7.3.1 Bourdon-buis manometer

Een Bourdon-buis manometer is een veelgebruikte manier om de druk af te kunnen lezen van vaten die onder druk staan.



Figuur 4.29: Bourdon-buis manometer

De manometer maakt gebruik van een voorgebogen buis zoals te zien op de figuur rechts. De buis is langs een zijde dichtgemaakt, de andere zijde voorzien als inlaat voor de vloeistof of gas onder druk. Wanneer er een druk aanwezig is in de buis zal deze naar buiten plooien zoals te zien op de afbeelding. Deze vervorming is recht evenredig met de druk.

Aan het uiteinde van de buis is een mechanisme voorzien, waardoor de verplaatsing van de buis kan worden omgezet in een draaiende beweging van de naald. Zo wordt de druk dus weergegeven op een manier die lijkt op een klok.

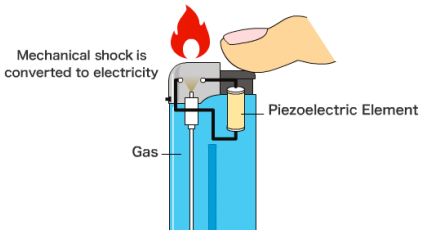
Dit is wel een zuiver mechanische manier om druk te meten. Dit is dus niet geschikt als drukmeter, omdat dit niet compatibel is met de Arduino.

4.7.3.2 Piëzo-elektrische druksensor

Een piëzo-elektrische druksensor bestaat uit een kristal. In dat kristal zijn de positieve en negatieve ladingen van elkaar gescheiden. Wanneer er op dit kristal een druk wordt uitgeoefend dan verandert de afstand tussen die ladingen. Dit zorgt voor een verandering van het potentiaal. Deze verandering is meetbaar en is evenredig met de verandering van druk.

Een andere eigenschap is dat dit ook omgekeerd werkt.

Dit wil zeggen dat wanneer we een spanning aanbrengen op het element, deze het element vervormt.



Figuur 4.30: principe aansteker

Het piëzo-elektrische element wordt bijvoorbeeld gebruikt in een aansteker. Het elementje zorgt voor een spanning wanneer dit wordt ingedrukt. Door een onderbreking in de kring slaan de elektronen over waardoor er een vlam ontstaat.

4.7.3.3 Piëzoresistieve druksensor

Deze sensoren ondergaan een weerstandsverandering ten gevolge van een drukverandering.

4.7.3.3.1 Metaal

Wanneer we kijken naar de wet van Pouillet:

$$R = \frac{\rho . l}{A}$$

Met in deze formule:

- R de weerstand van de draad in ohm
- ρ de soortelijke weerstand van het materiaal in ohm·meter
- l de lengte van de geleider in meter
- A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de geleider in vierkante meter

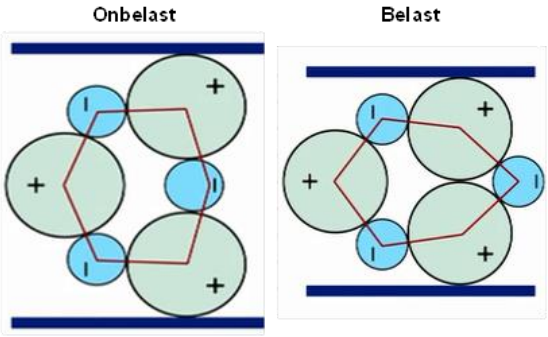
Zien we dat er is een factor "A" aanwezig is. Deze slaat op de doorsnede. Wanneer we dus een metalen doorsnede belasten merken we dat de doorsnede hiervan verandert. Dit gaat dus gepaard met een weerstandverandering (wet van Pouillet). Dit effect is het sterkst bij legeringen van platina.

Bovenstaande manier van werken wordt quasi niet meer gebruikt. De weerstandverandering ten gevolge van druk is te gering om goed meetbaar te zijn. Dit gaat dan wel specifiek over druksensoren voor toepassingen zoals de onze. Deze manier van werken wordt wel gebruikt om bij bruggen de vervorming te meten.

4.7.3.3.2 halfgeleiders

Een Piëzoresistieve druksensor is gebaseerd op de Piëzoresistieve eigenschap van een halfgeleider. Dit wil zeggen dat de weerstand van bepaalde halfgeleiders verandert naarmate deze op druk worden belast. De meeste halfgeleiders die hiervoor gebruikt worden bestaan uit silicium en germanium.

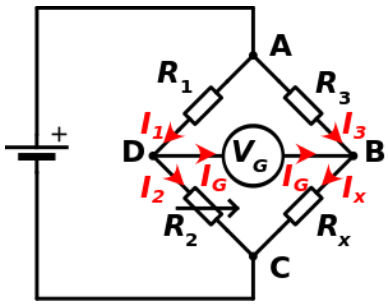
Wanneer deze halfgeleider belast wordt is er een verschuiving van de atomen. Deze verschuiving gaat gepaard met weerstandverandering in het materiaal. Een drukverhoging kan zowel voor een weerstandsverlaging zorgen, maar evengoed voor een stijging van de weerstand. De weerstandsverandering bij halfgeleiders ten gevolge van vervorming, is veel groter dan bij metalen.



Figuur 4.31: piëzoresistieve halfgeleider

Deze sensors bestaan niet uit één enkele component. Het is een aaneenschakeling van weerstanden waaronder één weerstand gevoelig is aan drukverandering (piëzoresistief). Deze aaneenschakeling noemt men de wheatstone brug.

De spanning die gemeten wordt tussen de punten B en D (V_G), is een maat voor de verandering van de druk. Deze spanning verandert naargelang R_X verandert. Deze weerstand



Figuur 4.32: wheatstone brug

verandert in functie van de druk.

Dit is hoe we aan V_G komen:

De brug is in evenwicht in rustpositie, dit wil zeggen dat V_G=0V. De spanning over punten B en D zijn gelijk aan nul wanneer de weerstanden aan volgende gelijkheid voldoen.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3} \quad \rightarrow \quad R_x = \frac{R_2}{R_1}.R_3$$

Hieronder leveren we het bewijs voor deze formule.

Met de eerste wet van Kirchhof (stroomwet) bepalen we de stromen in de knooppunten B en D.

$$I_3 - I_x + I_G = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_G = 0$$

Bij de volgende stap gebruiken we de tweede wet van Kirchhof (spanningswet), om de spanningen in de kringen ABD en BCD.

$$(I_3.R_3) - (I_G.R_G) - (I_1.R_1) = 0$$

$$(I_x.R_x) - (I_2.R_2) + (I_G.R_G) = 0$$

Wanneer de brug in balans is, mogen we stellen dat I_G =nul.

$$I_3.R_3 = I_1.R_1$$

$$I_x.R_x = I_2.R_2$$

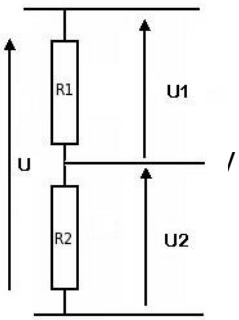
Herschrijven we bovenstaande formule.

$$R_x = \frac{R_2.I_2.R_3.I_3}{R_1.I_1.I_x}$$

Uit de eerste regel weten we dat I_3=I_x en I_1=I_2. We kunnen R_x nu als volgt schrijven.

$$R_x = \frac{R_2}{R_1}.R_3$$

We moeten dus een drukgevoelige stof nemen die in rust toestand een weerstandswaarde heeft gelijk aan R_x.



Om nu te weten hoeveel spanning we juist hebben tussen de punten B en passen we het principe van spanningsdelers toe (fig 22).

Met de wet van Ohm kunnen we volgende spanningen bepalen.

$$V_{in} = I.(R_1 + R_2)$$

$$V_{out} = I.R_2$$

Figuur 4.33: principe spanning deling

We halen nu de stroom uit de ingangsspanning.

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

We vullen deze formule in, in de uitgangsspanning. Aangezien de stroom hier dezelfde is mogen we dit doen.

$$V_{uit} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}.R_2$$

We passen dit nu toe op het voorbeeld met de wheatstone brug (fig. 21).

Omdat we hier een potentiaalverschil meten tussen de twee punten (B en D), we moeten dus het spanningsverschil meten.

$$V_G = V_{in}.(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_x}{R_x + R_3})$$

We kunnen de spanning ook berekenen wanneer we over bovenstaande parameters beschikken.

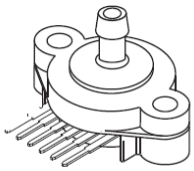
Wanneer de weerstandwaarde van R_X verandert, verandert ook de spanning tussen B en D. Deze spanningsverandering is recht evenredig met de verandering van druk. Dit is wel binnen een bepaald lineair gebied. Het volstaat dus de spanning te meten tussen B en D, om te weten welke druk er heerst.

We spreken het hier over een lineair gebied, omdat de drukgevoelige weerstand een mechanische verandering ondergaat. Als het element te zwaar belast wordt, dan is er sprake van een zodanige vervorming dat het element onomkeerbaar vervormd is.

De nauwkeurigheid van dit type sensoren is zeer groot. Ze hebben een afwijking van ±0,5% in het lineair gebied. De toestellen zijn relatief goedkoop en hebben een meetbereik tot enkele duizenden bar.

4.7.4 Onze druksensor (MPX570ASX)

Deze sensor zal de druk meten van het water. Op die manier kunnen we bepalen hoe diep we ons bevinden (1bar~10m diep). De druk zal worden uitgedrukt in functie van de overdruk ten opzichte van de druk in de waterdichte kamer. Dit wil zeggen dat de druk maximum 1bar zal zijn op het meetelement.

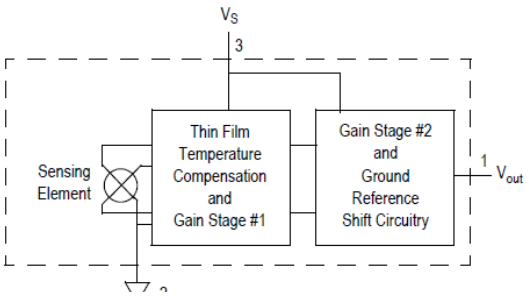


Figuur 4.34: druksensor

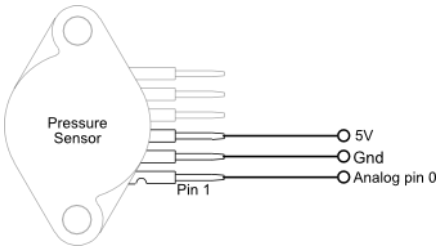
4.7.4.1 Pinconfiguratie

De eerste pin is voorzien van een inkeping. Deze inkeping zorgt ervoor dat we een onderscheid kunnen maken, tussen de pin voor de data en de niet verbonden pin.

PIN	NAAM PIN	FUNCTIE
1	V_{OUT}	Output 0,2-4,7V
2	GND	Ground
3	V_S	Voedingsspanning 5V
4,5,6	N.C.	Niet verbonden



Figuur 4.35: blokschema druksensor



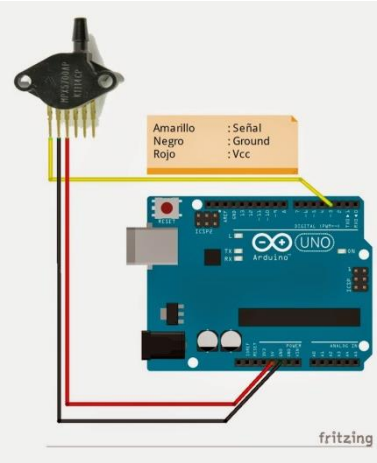
Figuur 4.36: pinconfiguratie sensor

4.7.4.2 Eigenschappen

De MPX5700 is een sensor van het type piëzoresistieve druksensoren (zie bovenstaande uitleg). Het meetbereik van de sensor ligt tussen 0Pa en 700kPa (7bar), dit is ruim voldoende aangezien we niet dieper gaan dan 10 meter met onze ROV (±1bar).

We kunnen de sensor voeden met 5V vanuit de Arduino. Deze neemt een stroom op van 10mA.

De pinnen van de druksensor mogen rechtstreeks aangesloten worden aan de Arduino. Dit wil zeggen dat de datapin rechtstreeks aan een bus van de Arduino mag worden aangesloten zonder verdere componenten zoals pull-up weerstanden of dergelijke. Ook geldt dit voor de voeding en ground.



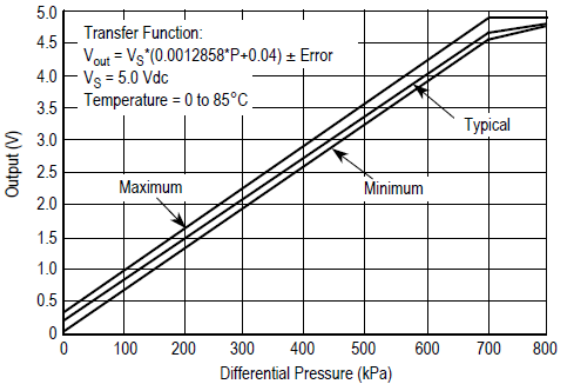
Figuur 4.37: druksensor in combinatie met de Arduino

De sensor heeft een maximum afwijking van maximum 2,5% op de uitgangsspanning. Dit geldt enkel wanneer de temperatuur tussen 0°C en 85°C ligt.

eigenschap	symbool	Min	nominaal	max	eenheid
Drukgebied	POP	0		700	kPa
Voedingsspanning	VS	4,75	5,0	5,25	V
Stroomverbruik	IO		7,0	10,0	mA

Output 0Pa	Voff	0,088	0,2	0,313	V
Output 700kPa	VFSO	4,587	4,7	4,813	V
Meetfout				±2,5%	% (V_{FSO}-V_{off})
Reageertijd	TR		1,0		ms

De onderstaande figuur geeft de karakteristiek van onze sensor weer waar druk in functie van outputspanning staat. We zien dat het lineaire gebied loopt tot 700kPa. Er worden drie lijnen weergegeven, één voor de maximumwaarden, één voor de minimumwaarden en de middelste geeft de theoretische waarde.



Figuur 4.38: karakteristiek druksensor

4.7.4.3 Combinatie Arduino

De Arduino meet de spanning op zijn bus. Deze spanning is lineair met de druk. In het programma is de constante opgenomen, die aangeeft welke spanning overeenkomt met de gemeten druk.

4.7.4.4 Hoe aansluiten

Er zal een pin verbonden worden met de vaste 5V spanning van de Arduino, de ander zal worden verbonden met een pin voorzien voor het verwerken van analoge signalen en de derde pin wordt verbonden met de ground.

4.7.4.5 Linken met de praktische realisatie

Onze druksensor is niet waterdicht, en mag dus niet rechtstreeks in contact staan met het water. We zullen dus een soort kunstmatige long maken.

We plaatsen de drukmeter binnenin de waterdichte behuizing van de ROV. Aan deze drukmeter verbinden we een flexibele

buis, één die gebruikt wordt in de pneumatiek. Deze buis brengen we met een wartel naar buiten. Aan het uiteinde in het water, bevestigen we een ballon. Deze ballon zal met de toenemende druk van het water samendrukken en zo de druk in de buis ook laten toenemen. Deze drukverhoging wordt dan door de drukmeter binnenin de ROV gemeten.

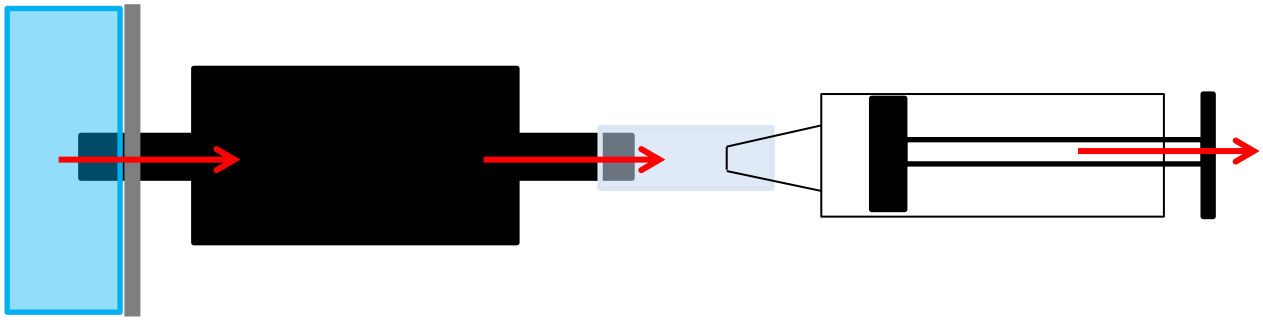
Ons programma is ook zo geschreven, dat de ROV automatisch op een bepaalde diepte blijft. Dit is mogelijk dankzij de permanente meting van de druk.

4.8 Staalname

Figuur 4.39: druksensor MPX5700 ASX

De bedoeling is om met onze ROV een waterstaal te kunnen nemen. Dit staal moet voldoende water bevatten om onze metingen uit te kunnen voeren (zie onderdeel chemie). Niet enkel moet er een bepaalde hoeveelheid water aanwezig zijn, we moeten dit staal ook kunnen nemen op een diepte die wij zelf bepalen. We moeten dus zelf kunnen bepalen wanneer het waterstaal genomen wordt.

4.8.1 Opstelling



Figuur 4.40: praktisch schema staalname

We maken gebruik van een pompje dat gebruikt wordt om antivries op een ruit te spuiten. We hebben gekozen voor een pompje van een vrachtwagen, omdat deze op 24V werken en aangezien wij met 24V naar beneden gaan voldoet deze dus perfect. Een tweede belangrijk onderdeel is de spuit, rechts op de afbeelding. Deze spuit wordt gebruikt om water in op te slaan.

4.8.2 Werking

We bedienen het pompje aan de hand van een laptop. Dit geeft signaal aan de Arduino, die de het pompje een bepaalde tijd laat werken. Het water zal in de spuit

Figuur 4.41: sproeivloeistofpompje

worden gepompt, waardoor deze uitschuift. We werken nog een extra beveiliging in namelijk een mechanische stop. Dit houdt in dat we een fysische grens maken waardoor de spuit niet te ver kan uitschuiven en alles onderloopt met water.

4.8.2.1 Probleem

Wanneer we de pomp opstellen zoals in fig. 1, en dan aanzetten, hebben we het probleem dat er geen water verpompt wordt. Dit komt omdat de pomp geschikt is voor het verpompen, maar niet voor het aanzuigen van water. De oplossing die wij hiervoor gevonden hebben is, eerst en vooral de spuit voltrekken met gedemineraliseerd water. Als dit gebeurd is, steken we de spuit terug op het buisje en duwen we hem leeg. Dit zorgt ervoor dat het systeem al gevuld is met water en het pompje wel water kan verpompen, en de spuit kan openduwen.

Het is wel niet de meest ideale oplossing. Het toevoegen van gedemineraliseerd water zorgt ervoor dat er geen vreemde stoffen in ons staal zitten, maar zorgt wel voor een verdunning van ons staal. Wat dan weer nefast is voor de concentratiebepalingen van bepaalde stoffen die zich in ons staal bevinden.

De oplossing voor het probleem met de concentraties valt ook relatief makkelijk op te lossen. Wanneer men de spuit met deme-water leeg duwt –zoals hierboven beschreven- stroomt het water uit de motor. Aangezien we een spuit met maataanduidingen op gebruiken weten we dus exact hoeveel water we in de spuit hebben. Het water dat uit het pompje stroomt bij het legen van de spuit vangen we op in een maatbeker.

Het verschil tussen de hoeveelheid deme-water die oorspronkelijk in de spuit zat en de hoeveelheid deme-water we hebben opgevangen in de maatbeker, is de hoeveelheid deme-water in het systeem.

Deze hoeveelheid nemen we mee in de berekeningen en metingen van chemische parameters van ons staal.

4.8.3 Testen op ons staal

Wij hebben enkele testen gedaan op onze opstelling. Deze testen vind je terug in het onderdeel waar alle labo's gebundeld zijn.

4.9 Leidingverliezen

Aangezien we onze ROV bedienen vanop een afstand, en dit niet draadloos zal gebeuren, maar via een kabel moeten we rekening houden met een spanningsval. Er is een kabel voorzien voor data en voeding. De afstand die we moeten overbruggen is 20m. We weten dat elke kabel een

weerstand heeft. De vraag is nu hoeveel spanningsval er is over 20m. Dit is enkel nodig voor onze voeding, omdat we bij dataverbinding gebruik maken van versterkers die volgens de fabrikant tot 60m kunnen signaal versturen. Wij hebben ze getest op een afstand van 20m, en ze werken zoals gewenst.

4.9.1 Voeding

We hebben voor onze ROV ook voeding nodig. De elektrische componenten zullen op 24V DC werken. We moeten dus bekijken wat onze leidingverliezen zullen zijn. We bepalen de leidingverliezen aan de hand van de wet van Pouillet.

4.9.1.1 Wet van Pouillet

Met de wet van Pouillet kunnen we de weerstand van de geleiders bepalen.

$$R = \frac{l.\rho}{A}$$

Met:

R: is de weerstand in ohm (Ω)

L: is de lengte van de kabel in meter (m)

ρ: is de soortelijke weerstand in weerstand per meter (Ωm)

A: is de doorsnede van de kabel in vierkante millimeter (mm²)

4.9.1.1.1 Berekenen leidingverliezen

Eerst berekenen we de weerstand van de geleider. We hebben 2 geleiders waar de stroom door vloeit (+ en -). Dit zorgt er voor dat we dus een kabellengte hebben van 2x20m.

$$R = 2.\frac{l.\rho}{A}$$

Met

l=20 m

ρ= 1,68 . 10^{-8} Ωm

A= 2,5 mm²

$$R = 2.\frac{20.1{,}68\,.\,10^{8}}{2{,}5} = 0{,}2688\Omega$$

De weerstand van de geleider is de dus 0,2688Ω.

4.9.1.1.2 Verliezen

Over de geleider zal er dus een spanning staan. De spanning die over de geleider staat kunnen we niet gebruiken om onze motoren mee te voeden. Deze verliezen moeten onder de 5% gehouden worden.

De eerste stap in het berekenen van de effectieve spanningsval begint met het bepalen van de stroomsterkte die door de geleiders vloeit. Dit doen we door al onze verbruikers op te sommen en hun gecombineerd vermogen te bepalen.

Wat	Spanning (V)	Stroomsterkte (A)	Enkel vermogen (W)	Aantal	Totaal vermogen (W)
Thrusters	24	2	48	3	144
Staalname	24	1,8	43,2	1	43,2

Wanneer we de vermogens optellen bekomen we een maximaal vermogen van 187,2 W. Dit komt enkel voor wanneer alle verbruikers op hetzelfde moment op vol vermogen werken.

Bij maximaal vermogen zal de stroomsterkte door de geleiders 7,8A bedragen (zie tabel). We weten ondertussen ook dat de weerstand van de geleider 0,2688Ω bedraagt.

We willen in onze ROV beschikken over 24 V. Aangezien de geleiders die onze ROV voorzien van voeding een bepaalde weerstand hebben, zal er over die geleiders een bepaalde spanning staan. Deze spanning kunnen we bepalen aan de wet van Ohm.

De weerstand van de geleider is 0,2688 Ω en de stroom bedraagt 7,8 A wanneer alle verbruikers op hun maximaal vermogen werken.

$$U_{verlies} = R \times I$$

$$U_{verlies} = 0{,}2688 \times 7{,}8 = 2{,}097\ V$$

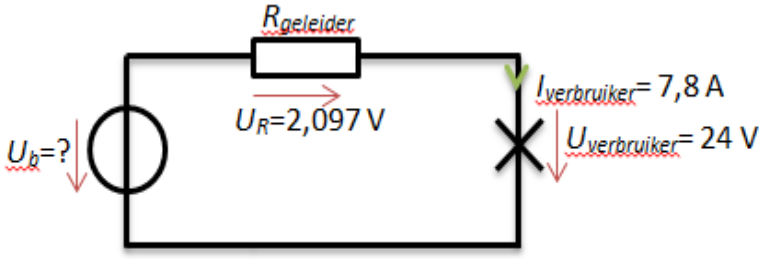
Er staat dus 2,097 V over de geleiders (weerstand).

We passen de 2de wet van Kirchoff (spanningswet) toe op de schakeling.

$$0 = U_b - U_R - U_{verbruiker}$$

$$U_b = U_R + U_{verbruiker}$$

$$U_b = 2{,}097 + 24$$
$$= 26{,}097\ V$$



We moeten dus 26,097 V aanleggen om er voor te zorgen dat we in onze ROV 24 V ter beschikking hebben. We moeten echter wel opletten wanneer we geen volledige belasting hebben want dan zakt onze stroom en zakt ook de spanningsval over onze geleider waardoor we meer spanning hebben dan 24 V over onze verbruiker. Dit kan zorgen voor een verbranding van de motor.

Berekenen we nu hoeveel procent leidingverliezen we hebben bekomen we:

$$\%_{verlies} = \frac{2{,}097}{26{,}097} \times 100 = 8{,}03\%$$

Deze waarde is dus groter dan 5% maar is nog steeds aanvaardbaar.

4.9.1.2 Werkelijkheid

We hebben besloten om de staalname voorlopig niet in te bouwen in onze ROV. Dit is in functie van de opendeurdag, zodat we een ROV kunnen tonen die werkt.

Dit heeft dus ook gevolgen op de berekeningen van onze leidingverliezen.

Wat	Spanning (V)	Stroomsterkte (A)	Enkel vermogen (W)	Aantal	Totaal vermogen (W)
Thrusters	18,1	2	36,2	3	108,6
~~Staalname~~	~~24~~	~~1,8~~	~~43,2~~	~~1~~	~~43,2~~

De stroom die de staalname gebruikt mogen we nu achterwege laten in onze berekeningen.

Een volgend iets is de spanning over de motoren die we verlagen naar 18,1V (zie labo's).

Het maximaal vermogen is 108,6 W. Dit komt enkel voor wanneer alle verbruikers op hetzelfde moment op vol vermogen werken.

Bij maximaal vermogen zal de stroomsterkte door de geleiders 6A bedragen (zie tabel). We weten ondertussen ook dat de weerstand van de geleider 0,2688Ω bedraagt.

We willen in onze ROV beschikken over 18,1 V.

$$U_{verlies} = R.I$$

$$U_{verlies} = 0{,}2688\Omega.6A = 1{,}6128\ V$$

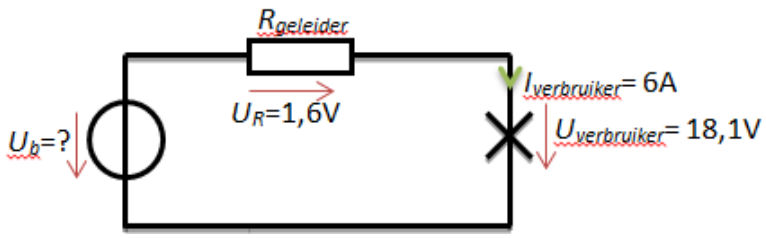
Er staat dus 1,6128 V over de geleiders (weerstand).

We passen de 2de wet van Kirchoff (spanningswet) toe op de schakeling.

$$0 = U_b - U_R - U_{verbruiker}$$

$$U_b = U_R + U_{verbruiker}$$

$$U_b = 1{,}6 + 18{,}1 = 19{,}7\ V$$



Berekenen we nu hoeveel procent leidingverliezen we hebben bekomen we:

$$\%_{verlies} = \frac{1{,}6128}{19{,}7128}.100 = 8{,}18\%$$

We moeten dus 19,7 V aanleggen om er voor te zorgen dat we in onze ROV 18,1 V ter beschikking hebben. Dit zal er voor zorgen dat de stroom door onze motor niet boven de twee ampère zal gaan.

5 Chemie

Met de klas trokken we naar Howest te Kortrijk om daar onderzoek te doen op verschillende parameters in soorten water zoals regenwater, bronwater, kraantjeswater…

We kregen uitleg over verschillende chemische parameters die zich in water bevinden en wat we precies gingen meten met de testkits. De parameters die we onderzochten, omvatten fosfaat, nitraat, nitriet, ammonium, chloride en de hardheid van water.

Tijdens de projectweken kregen we ook nog extra labo's chemie om het principe van een titratie te doorgronden en om een spectrometrische analyse uit te voeren.

5.1 Wat is water?

Vooraleer de parameters in water te onderzoeken, is het wel interessant om het water zelf eens van dichterbij te bekijken. Water is de chemische verbinding van 2 waterstofatomen en een zuurstofatoom. Je kan water in de natuur aantreffen in drie verschillende hoofdfasen: als vloeistof, als vaste stof en als gas. De aarde bestaat grotendeels uit water en is er ook zeer afhankelijk van. Liefst 71 procent van het aardoppervlak is water. Elk organisme bestaat voor meer dan 50 procent uit water. Het menselijke lichaam bestaat voor ongeveer 65 procent uit water, afhankelijk van leeftijd en geslacht.

5.1.1 Fysische eigenschappen van water

IJs smelt bij 0 graden Celsius en kookt bij 100 graden Celsius. Als water verdampt vanuit vaste vorm (ijs) heet dat sublimeren. Waterdamp kan overgaan tot de vloeibare toestand, dit noemt men condenseren, en overgaan tot de vaste toestand, dit noemt men rijpvorming. Het kookpunt ligt lager bij lagere druk en het smeltpunt ligt lager bij hoge druk. Er is ook een toestand waarbij ijs, vloeibaar water en waterdamp tegelijk voorkomen. Dit heet het tripelpunt van water, dat optreedt bij een bepaalde druk en temperatuur.

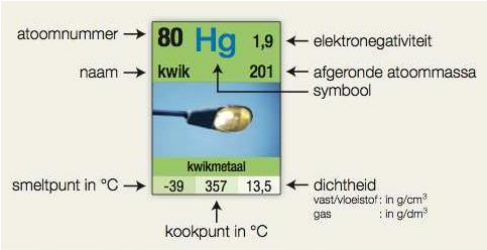
5.1.2 Chemische opbouw van water

5.1.2.1 Dipoolkarakter van water

Water is een dipoolmolecule: een neutrale molecule, die een positief geladen zijde en een negatief geladen zijde bezit. In de natuur zijn er twee soorten elektrische ladingen: positieve en negatieve ladingen. Een elektrische dipool is een molecule waarvan de twee tegenovergestelde zijden elk een verschillende elektrische lading dragen. We spreken ook van een polaire molecule. Omgekeerd noemen we een molecule apolair wanneer het geen dipool vormt, met andere woorden als de molecule geen resulterende positieve en geen resulterende negatieve zijde heeft.

5.1.2.2 Het begrip elektronegatieve waarde

De elektronegatieve waarde van een atoom is de maat voor de kracht waarmee het atoom extra elektronen naar zich toe trekt. Hoe hoger de EN-waarde, hoe sterker de aantrekkingskracht. Hoe groter de elektronegatieve waarde, hoe elektronegatiever het element en dus hoe sterker het element trekt aan vreemde elektronen. Hoe kleiner de elektronegatieve waarde, hoe elektropositiever het element en dus hoe zwakker het trekt aan vreemde elektronen. Er zijn drie soorten elementen:



Figuur 5.1: chemische eigenschappen kwik

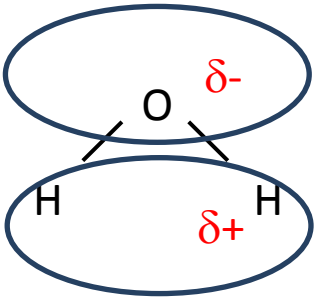
- Met kleine EN-waarden (onderaan links)
- Met grote EN-waarden (bovenaan rechts)
- De edelgassen hebben geen EN-waarde

5.1.2.3 Polariteit en geometrie van de watermolecule

De geometrie en polariteit van de watermolecule bepalen samen de voorwaarden waaraan moet voldaan zijn, opdat water een polaire molecule is.

- De eerste voorwaarde heeft te maken met een ΔEN, met andere woorden het verschil tussen de EN-waarden van de betrokken atomen
- De tweede voorwaarde heeft te maken met de geometrie van de molecule. De negatieve en de positieve ladingswolk zijn volledig gescheiden door een denkbeeldige scheidingsas.

ΔEN van water is 1,4. De watermolecule heeft polaire covalente bindingen, de EN-waarde bepaalt dat het zuurstofatoom de negatieve ladingswolk krijgt en de waterstofatomen de positieve ladingswolk. De geometrie in dit model geeft wel de mogelijkheid om een polaire molecule te maken, want je kan een scheidingsas tussen de ladingswolken tekenen. Dit is het juiste model:



Figuur 5.2 polariteit water

Controle eerste voorwaarde: er zijn polaire bindingen tussen waterstof en zuurstof.

Controle tweede voorwaarde (geometrie): de molecule is geknikt en kan zo een positieve zijde en een negatieve zijde hebben. De negatieve deelladingswolk voor het zuurstofatoom en de positieve deelladingwolk voor de waterstofatomen zijn volledig gescheiden door een denkbeeldige as.

5.1.2.4 Oplosbaarheid en polariteit

Polaire stoffen lossen goed op in polaire oplosmiddelen. (zout lost goed op in water.) Apolaire stoffen lossen goed op in apolaire oplosmiddelen.(Margarine lost op in white spirit.)

De hypothese ‘soort zoekt soort’ kan inderdaad een aantal oplosverschijnselen verklaren, maar er zijn uitzonderingen. Voor suiker hebben we geen verklaring waarom deze stof zowel in water als in white spirit oplost. Opnieuw merk je dat wetenschap werkt met ‘een model’ dat maar beperkt geldig is en voortdurend aangepast wordt naarmate de kennis vordert.

We kunnen nu een antwoord geven op de vraag bij het begin van dit thema: waarom lossen er zoveel stoffen op in water? Als we op een as de polariteit van moleculen weergeven, dan krijgen we de volgende voorstelling:

Apolaire stoffen water zeer sterk polaire stoffen

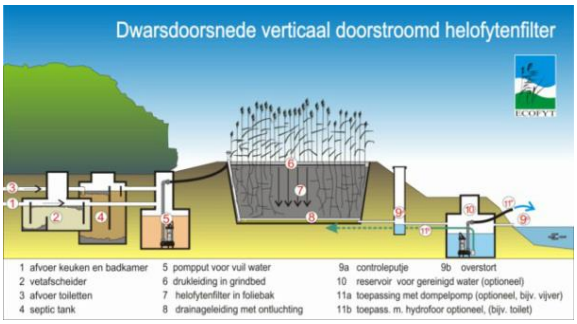
IONROOSTERS

Zoals je weet, is water een polaire molecule met deelladingen. Op de as van apolair naar polair (in het extreme geval ionverbindingen), plaatsen we water ergens in het midden. Water kan immers zowel apolaire als polaire stoffen oplossen. In vergelijking met andere oplosmiddelen kan het daarom meer stoffen oplossen, omdat het soms de voorkeur geeft aan apolaire stoffen en soms aan polaire stoffen. Dankzij deze eigenschappen bevatten zeeën en oceanen vele polaire en apolaire stoffen.

5.1.3 Soorten water

5.1.3.1 Afvalwater

Afvalwater is water dat huishoudens en bedrijven hebben gebruikt. Dit (Figuur 5.3) water komt in de riool terecht en wordt afgevoerd naar een waterzuiveringsinstallatie, waar het na zuivering opnieuw in de rivier of sloot stroomt.



Figuur 5.3: waterzuiveringsinstallatie

5.1.3.2 Flessenwater

Water dat verkocht wordt in flessen en dat vervolgens gebruikt wordt als drinkwater. Bevat vele spoorelementen/mineralen nodig voor chemische omzettingen in ons lichaam.

5.1.3.3 Grondwater

Water dat in de ondergrond is doorgedrongen. Het wordt gewonnen uit diepe geboorde putten. Het is vrij van chemische en bacteriologische vervuiling en is van uitstekende kwaliteit. Dat is minder het geval met ondiep grondwater omdat de kans bestaat dat er daar wel scheikundige stoffen of bacteriën in doordringen door veelvuldig menselijke of dierlijke activiteit.

5.1.3.4 Hemelwater

Dit is een verzamelnaam voor water dat uit de hemel valt zoals regen, sneeuw en hagel. Kan soms zuur zijn door uitstoot van NO_x , SO_2 ...

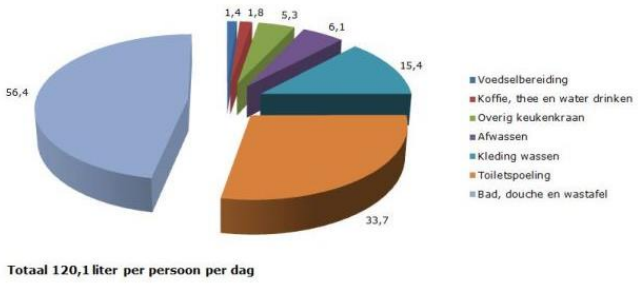
5.1.3.5 Oppervlaktewater

Het water in rivieren, kanalen, beken, meren…

5.1.4 Waterverbruik

Er wordt jaarlijks in Vlaanderen ongeveer 350 miljoen kubieke meter water verbruikt door de gezinnen. Er wordt ongeveer 48 procent water gewonnen uit grondwater en 52 procent uit oppervlaktewater. Dit gewonnen water wordt hierna verder gezuiverd tot drinkbaar water.

Het huishoudelijke waterverbruik van de laatste generaties ligt veel hoger dan vroeger. De 'vuile' was wordt sneller gewassen en we nemen vaker een bad of een douche dan vroeger. Bij kleinere gezinnen wordt er verhoudingsgewijs meer water per persoon verbruikt dan bij grote gezinnen. Denk maar aan het afwassen met een halfvolle vaatwasmachine. Het gemiddeld dagelijks verbruik per persoon per categorie wordt weergegeven in de volgende figuur.



Figuur 5.4 Gemiddeld verbruik per persoon per dag in liter

Sommige waterzuiveringsgroepen maken voor de productie van drinkwater meer gebruik van grondwater dan van oppervlaktewater, namelijk 70 procent grondwater en 30 procent oppervlaktewater. Oppervlaktewater is een verzamelnaam van al het water uit sloten, kanalen, grachten en rivieren. Zowel grond- als oppervlaktewater hebben verschillende behandelingen nodig vooraleer het als kwaliteitsvol drinkwater bij u thuis uit de kraan komt. Drinkwater moet voldoen aan de kwaliteitsnormen op fysisch, bacteriologisch en chemisch gebied.

Het oppervlaktewater moet meer gezuiverd worden dan grondwater. Het oppervlaktewater wordt aangetast door het afvalwater van huishoudens en bedrijven, zodat complexe en duurdere behandelingsmethoden nodig zijn.

Normen Vlarem II				
Fosfaat	Nitraat	Nitriet	Ammonium	Chloride
PO_4^{3-}	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	Cl^-
Milieukwaliteitsnormen voor oppervlaktewater, bestemd voor drinkwaterproductie.				
	50	0,1	4	200
Milieukwaliteits- en mileukwantiteitsnormen voor grondwater.				
1,34	50	0,1	0,5	250

In Europa werd er op 23 oktober 2000 een nieuwe kaderrichtlijn voor water opgesteld. Er werden tot 2013 enkele kleine wijzigingen en correcties aangebracht. De maatregelen betreffende het waterbeleid werd op het niveau van de Europese Unie goedgekeurd.

De kaderrichtlijn streeft naar een ‘goede toestand’ van de Europese rivieren, meren en grondwater, met andere woorden het verslechteren van de Europese waterlichamen worden tegengegaan. De kaderrichtlijn omvat de volgende richtlijnen:

- Bescherming van alle soorten water.
- Ecosystemen (geheel van planten en dieren in een gebied en hoe ze in verhouding staan tot elkaar en hun omgeving) onderhouden.
- Daling van vervuiling in waterlichamen.
- Duurzaam watergebruik door particulieren en bedrijven.

5.1.5 Parameters water

Bij de bespreking van de parameters van water zal je het woord 'winterjaar' zien. Een winterjaar loopt vanaf 1 juli van een bepaald kalenderjaar tot en met 30 juni van het daaropvolgende kalenderjaar.

5.1.5.1 Fosfaat

5.1.5.1.1 Beschrijving en inleiding

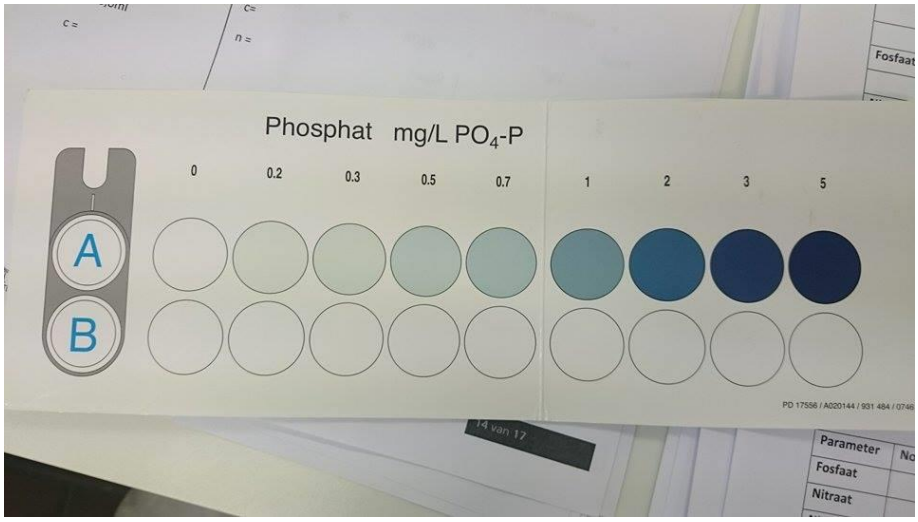
Fosfaat is een essentiële bouwsteen voor planten en alle levende wezens. Algen groeien graag in oppervlaktewater waar er veel fosfaat aanwezig is. Wanneer er door bijvoorbeeld overbemesting een teveel aan fosfaat in het water terecht komt, bevordert dit de algengroei, wat op zijn beurt als gevolg heeft dat er een zuurstoftekort ontstaat, dit hele proces wordt eutrofiëring genoemd. De belangrijkste gevolgen hiervan zijn:

- Afname van de soorten diversiteit en verandering van de dominante soorten
- Toename plantaardige en dierlijke biomassa
- Toename troebelheid
- Meer sedimentatie, kortere levensduur van meren

Fosfaat is ook afkomstig uit lozing van huishoudelijk afvalwater en verliezen van landbouwgronden. Het opgeloste fosfaat in water valt onder de benaming van orthofosfaat, typerend aan een orthofosfaat is dat het zuurrest een PO_4^{3-}ion bevat. De maximale norm van orthofosfaat in water bedraagt 1,34 mg/l voor grondwater maar is verder wel afhankelijk van het soort water en de ligging van de beek.

5.1.5.1.2 Practicum

1. Neem de twee cuvetten uit de doos.
2. Spoel de cuvetten drie keer met het waterstaal.
3. Vul beide cuvetten drie keer met het waterstaal.
4. Voeg aan 1 cuvet 6 druppels $H_2PO_4^-$ toe.
5. Schud de oplossing goed.
6. Voeg aan dezelfde cuvet 6 druppels HPO_4^{2-}toe.
7. Schud de oplossing goed en laat de oplossing 10 minuten staan.
8. Verwijder de draaidop van de cuvet en plaats de cuvetten in de bijgeleverde comparateur.
9. Overloop de kleurenset en noteer hoeveel mg/l PO_4^{3-} de oplossing bevat.



Figuur 5.5: indicator fosfaat

5.1.5.1.3 Resultaten

Soort water	PO_4^{3}
Leidingwater	0,6
Flessenwater	0,9
Oppervlaktewater	0,9
Boorput water 2	1,5
Regenwater	0,6

Bij de geteste soorten water was er geen staal waarbij de concentratie fosfaat boven de toegestane norm was. De resultaten tonen dat de concentratie fosfaat het hoogst was bij het staal uit een boorput. De concentratie fosfaat was logisch het laagst bij regenwater en leidingwater.

5.1.5.2 Nitraat en nitriet

5.1.5.2.1 Beschrijving en inleiding

Nitraat is een stof die planten voedt en is vooral afkomstig van dierlijke mest. Een overmaat aan nitraat zorgt voor een overmaat aan algengroei en bedreigt de drinkwaterproductie. Nitraat is op zich geen gevaarlijke stof, maar dit wordt door ons lichaam omgezet in nitriet die wel gevaarlijk kan zijn. Wanneer nitriet in te hoge concentraties aanwezig is in ons lichaam is dat namelijk giftig. Je hebt waarschijnlijk al eens gehoord van de 'blauwe babyziekte' of met andere woorden een kind die niet alle soorten water mag drinken. Dit komt omdat de concentratie nitriet in bepaalde soorten water te hoog kan zijn, waardoor het kind te weinig zuurstof zou krijgen. De toegelaten norm is 50 mg/l nitraat en 0,1 mg/l nitriet in oppervlaktewater en grondwater

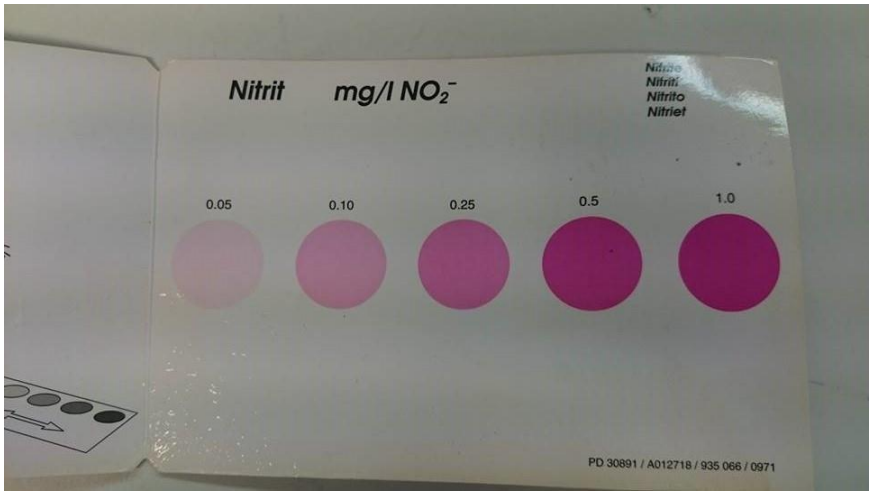
5.1.5.2.2 Practicum nitraat

1. Neem de cuvet uit de doos.
2. Spoel de cuvet drie keer met het waterstaal.
3. Vul de cuvet met 5ml water.
4. Voeg aan de cuvet 5 druppels NO_3^--opl.(1) toe.
5. Schud de oplossing goed.
6. Voeg aan dezelfde cuvet een afgestreken maatlepel NO_3^--opl.(2)
7. Meng de oplossing 30 seconden en laat de oplossing 5 minuten staan.
8. Overloop de kleurenset en noteer hoeveel mg/l NO_3^- de oplossing bevat.

Figuur 5.6: indicator nitraat

5.1.5.2.3 Practicum nitriet

1. Neem de cuvet uit de doos.
2. Spoel de cuvet drie keer met het waterstaal.
3. Vul de cuvet met 5ml water.
4. Voeg aan de cuvet een afgestreken maatlepel NO_2^- toe.
5. Meng de oplossing goed en laat de oplossing 10 minuten staan.
6. Overloop de kleurenset en noteer hoeveel mg/l NO_2^- de oplossing bevat.



Figuur 5.7: indicator nitriet

5.1.5.2.4 Resultaten

Soort water	Nitraat	Nitriet
	NO_3^-	NO_2^-
Leidingwater	1	0,05
Flessenwater	0	0
Oppervlaktewater	2	
Boorput water 1	2	
Regenwater	/	0,1

Bij de geteste stalen was de concentratie van nitraat en nitriet wel onder de normen volgens Vlarem II. Er werden minder testen uitgevoerd op de concentraties van nitraat en nitriet, maar toch kan je zien dat de concentraties het hoogst lagen bij oppervlakte en boorput water, dit komt omdat nitraten gebruikt worden als meststoffen in de landbouw en op de manier terecht komen in de bodem en het grondwater. De hoge waarden nitriet in regenwater zijn te wijten aan de uitstoot van uitlaatgassen in Vlaanderen, die zorgt voor de verzuring van de regen.

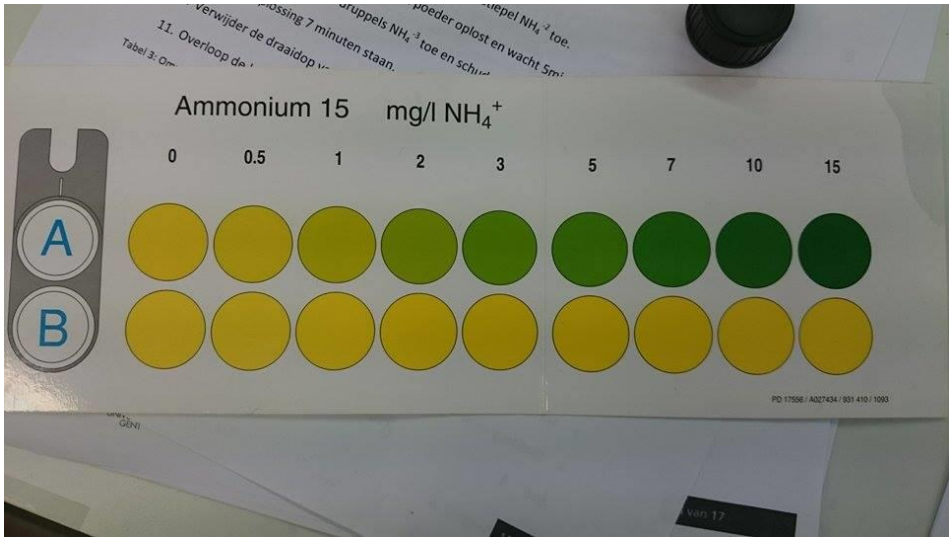
5.1.5.3 Ammonium

5.1.5.3.1 Beschrijving en inleiding

Ammonium is net zoals nitraat een voedingsstof voor planten en is dus ook onmisbaar voor de groei van de planten. De reden waarom ammonium en nitraat voedingsstoffen zijn voor de planten is de aanwezigheid van stikstof. Stikstof is een nutriënt voor de planten. Het is mogelijk dat ammonium door invloed van micro-organismen, zoals Nitrosomonas en nitrobacter, omgezet wordt tot nitraat, dit omzettingsproces wordt nitrificatie genoemd, daarom is de maximale waarde voor de concentratie van ammonium 4 mg/l bij oppervlaktewater en 0,5 mg/l voor grondwater.

5.1.5.3.2 Practicum

1. Neem de twee cuvetten uit de doos.
2. Spoel de cuvetten drie keer met het waterstaal.
3. Vul beide cuvetten met 1ml water.
4. Voeg aan 1 cuvet 10 druppels NH_4^+-opl.(1)
5. Meng de oplossing goed.
6. Voeg aan dezelfde cuvet 1 afgestreken maatlepel NH_4^+-opl.(2).
7. Schud de oplossing goed tot het poeder opgelost en wacht 5 minuten.
8. Voeg tenslotte nog 4 druppels NH_4^+-opl.(3) toe en schud de oplossing goed.
9. Laat de oplossing 7 minuten staan.
10. Verwijder de draaidop van de cuvet en plaats de cuvetten in de bijgeleverde comparateur.
11. Overloop de kleurenset en noteer hoeveel mg/l NH_4^+ de oplossing bevat.



Figuur 5.8: indicator ammonium

5.1.5.3.3 Resultaten

Soort water	NH_4^+
Leidingwater	0,5
Flessenwater	1
Oppervlaktewater	0,5
Boorput water 1	1
Boorput water 2	0
Regenwater	0,5

Bij de testen voor de concentratie van ammonium was er één van de twee stalen boorputwater dat juist boven de norm voor grondwater was. Alle andere stalen waren onder de norm opgesteld door Vlarem II.

5.1.5.4 Chloride

5.1.5.4.1 Beschrijving en inleiding

Chloor wordt toegevoegd aan drinkwater tijdens het waterzuivering proces. Chloor wordt toegevoegd omwille van zijn desinfecterend effect. De aanwezigheid van chloride in water zorgen voor een versnelde reactie van corrosie bij een ijzeren constructie. Chloriden komen in de winter meer voor in het oppervlaktewater, dit is afkomstig van het strooizout. Chloriden komen ook in het water terecht door gebruik te maken van dierlijke bemesting. De maximale norm van chloride in water is 200 mg/l voor oppervlaktewater en 250 mg/l voor grondwater maar is verder wel afhankelijk van het soort water en de ligging van de beek.

5.1.5.4.2 Practicum

1. Neem de twee cuvetten uit de doos.
2. Spoel beide cuvetten drie keer met het waterstaal.
3. Vul beide cuvetten met 5ml water.
4. Voeg aan 1 cuvet 10 druppels Cl^--opl.(2) toe.
5. Schud de oplossing goed.
6. Voeg aan dezelfde cuvet 10 druppels Cl^--opl.(2) toe.
7. Schud de oplossing goed en laat de oplossing 1 minuut staan.
8. Verwijder de draaidop van de cuvet en plaats de cuvetten in de bijgeleverde comparateur.
9. Overloop de kleurenset en noteer hoeveel mg/l Cl^- de oplossing bevat.
   Dit is voor de meting tot 60 mg/l, indien de concentratie Cl^- hoger is dan 60mg/l dan moet onderstaande werkwijze gevolgd worden.
10. Neem de twee cuvetten uit de doos.
11. Spoel de cuvetten drie keer met het waterstaal.
12. Vul beide cuvetten met 1ml water en 4ml gedestilleerd water.
13. Herhaal stap 4 tot en met 9.

5.1.5.4.3 Resultaten

Soort water	Chloride
	Cl-
Leidingwater	60
Flessenwater	0
Oppervlaktewater	20
Boorput water 1	300
Boorput water 2	200
Regenwater	10

Opnieuw is er één staal boorputwater dat boven de norm voor grondwater was. Waarschijnlijk is dit opnieuw door bemesting. Leidingwater bevat relatief meer chloor dan flessenwater en regenwater, dit is omdat de waterbedrijven chloor toevoegen om bacteriën te doden.

5.1.5.5 Hardheid

5.1.5.5.1 Beschrijving en inleiding

Calcium en magnesium zijn verantwoordelijk voor de hardheid van het water. Hard water is niet ongezond omdat calcium en magnesium noodzakelijk zijn voor ons lichaam. Hard water is wel nadelig voor onze leidingen of elektrische toestellen die gebruik maken van warm water omwille van de kalkaanslag.

	$CaCO_3$	Duitse graden (°D)	Franse graden (°F)
Zeer zacht	0-69,8	0-3,92	0-7
Zacht	68,8-149,5	3,92-8,4	7-15
Middelhard	149,5+299,0	8,4-16,8	15-30
Hard	299,0-448,6	16,88-25,2	30-45
Zeer hard	>448,6	>25,2	>45

Er bestaan verschillende eenheden voor het uitdrukken van de hardheid. De hardheid kan uitgedrukt worden in Duitse of Franse graden, in de onderstaande tabel vind je een vergelijking terug tussen de verschillende eenheden. In België wordt er meestal gebruik gemaakt van de Franse graden.

Omrekentabel eenheden waterhardheid		D°	F°	mmol/l
Duitse hardheid	1 D° =	1	1,79	0,179
Franse hardheid	1 F° =	0,56	1	0,1
mmol/l	1 mmol/l =	5,6	10,00	1

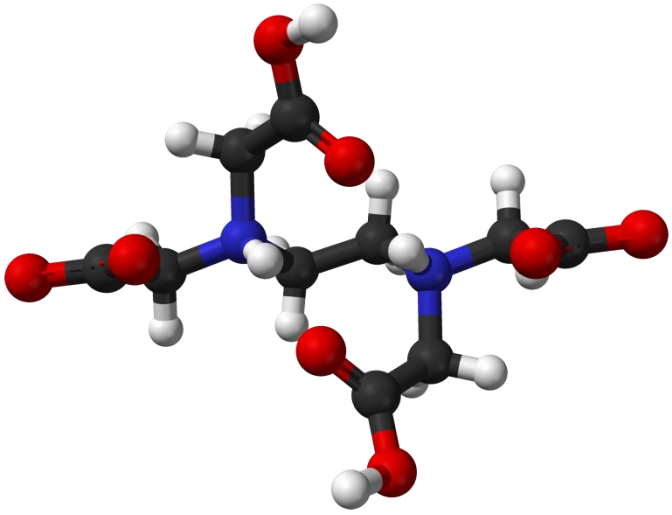
In sommige producten, zoals zeep, wordt er een sequestreermiddel toegevoegd om de invloed van hard water, Ca^{+2}- en Mg^{+2}-ionen, te minimaliseren. Het sequestreermiddel vormt een complex met de hardheidsionen waardoor de hardheidsionen geneutraliseerd worden. Een veel gebruikt sequestreermiddel is EDTA (=ethyleendiaminetetra-azijnzuur, zie afbeelding hieronder).

Wit = waterstof

Rood = zuurstof

Zwart = koolstof

Blauw = stikstof



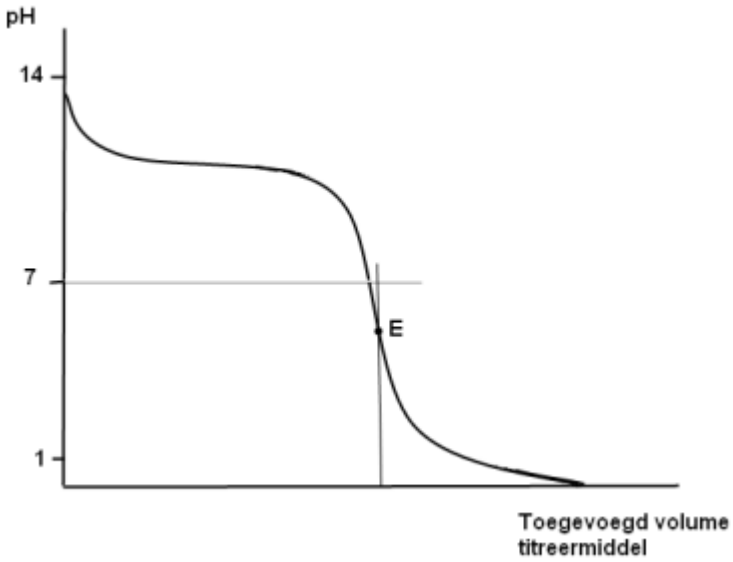
Figuur 5.9: EDTA

Voor het bepalen van de hardheid van water, maken we gebruik van een soort titratie, nl. een complexometrische titratie. Maar vooraleer hierop verder te gaan, verduidelijken we eerst het principe van een gewone titratie, die we klassikaal uitvoerden in de eerste projectweek om het zuurgehalte van azijnzuur te meten.

Titratie is een oude maar nog steeds veel gebruikte manier om een bepaling uit te voeren in het laboratorium. Titratie maakt het mogelijk de concentratie van een stof in een oplossing te bepalen. Dit gebeurt door bij deze stof geleidelijk druppelsgewijs een andere oplossing, de titrant, toe te voegen aan een reagens waarvan men de concentratie van kent, totdat er zoveel van het reagens is toegevoegd dat alle te meten stof is omgezet. De meest gebruikte titratie is deze waarbij de concentratie van een zure of basische stof gemeten wordt in een oplossing. Het omslagpunt kan op verschillende manieren aangetoond worden worden. Meestal maken we gebruik van een indicator, die dan verandert van kleur.

Het equivalentiepunt of het omslagpunt is bij een chemische titratie het punt waarop de hoeveelheid titrant die is toegevoegd aan een monster precies heeft kunnen reageren met de hoeveelheid te bepalen stof in dat monster. Op dat punt heeft alle analyt (=de te bepalen stof of grootheid in een chemische analyse) gereageerd met titrant, maar is er nog geen titrant extra toegevoegd. Dit equivalentiepunt is in een titratiecurve zichtbaar als een buigpunt.

Het equivalentiepunt kan op meerdere manieren worden vastgesteld, zoals met een pH-indicator, een potentiometer of via UV/VIS-spectroscopie.



Andere mogelijke titraties zijn de volgende (ze worden ingedeeld op basis van hun reactie):

- Neerslagtitraties
- Mercurimetrie, titraties waarbij verbindingen van kwik een rol spelen
- Argentometrie, titraties waarbij verbindingen van zilver een rol spelen in de titratie
- Complexeometrie of chelatometrie, titraties waarbij complexvorming een rol speelt
- Redoxtitraties, titraties waarbij redoxreacties een rol spelen
- Permanganometrie, titraties waarbij permanganaat als oxidator gebruikt wordt
- Chromatometrie, titraties waarin dichromaat als oxidator gebruikt wordt
- Cerimetrie, titraties waarbij de verschillende oxidatietoestanden van cerium een rol spelen
- Bromatometrie of bromometrie, titratie met bromaat als oxidator
- Jodometrie, titratie met di-jood als oxidator
- Jodimetrie, titratie met jodide als reductor
- Jodatometrie of jodametrie, titratie met jodaat als oxidator
- Titanometrie, redoxtitratie met titanium(III)-zouten
- Zuur-basetitraties, titraties van zuren en basen

In het practicum wordt de hardheid van het water bepaald met behulp van een titratie met het sequestreermiddel EDTA, waarbij een complex ontstaat. Hier hebben we dus te maken met een complexometrische titratie. Voor de complexiometrische titratie moet er eriochroom zwart indicator toegevoegd worden. Bij de start zullen de calcium- en magnesiumionen reageren met de indicator ter vorming van een wijnrode kleur. Tijdens de titratie reageren de calcium- en magnesiumionen met de EDTA waardoor de indicator vrijkomt en hierdoor een blauwe kleur vormt.

5.1.5.5.2 Practicum

5.1.5.5.2.1 Standaard calcium oplossing

- Weeg 1g $CaCO_3$ af in een maatbeker van 100ml, noteer de massa.
- Voeg 25,0ml HCL(1,0ml/l)
- Breng in een maatkolf(1000ml) 200ml gedestilleerd water.
- Breng de oplossing van de maatbeker over in de maatkolf en spoel de maatbeker uit met gedestilleerd water.
- Leng de maatkolf aan tot 1l of tot aan de ijkstreep.

5.1.5.5.2.2 EDTA zoutoplossing

- Weeg ongeveer 4g $Na_2EDTA.2H_2O$ af in een horlogeglas.
- Weeg in een tweede horlogeglas 0,1g $MgCl_2.6H_2O$.
- Breng de vaste stof, met behulp van gedestilleerd water, over in een maatkolf van 1000ml.
- Los de twee vaste stoffen op in ongeveer 700ml gedestilleerd water.
- Leng de oplossing, na het oplossen, aan tot 1l of tot aan de ijkstreep.

5.1.5.5.2.3 Titerstelling

- Pipetteer 20,0ml standaard calcium oplossing in een erlenmeyer van 250ml.
- Voeg 1ml geconcentreerde NH_3 en 1 buffertablet toe aan de oplossing.
- Schud de oplossing tot de tablet volledig opgelost is.
- Vul de buret met Na_2EDTA-oplossing tot aan de nul streep.
- Titreer de oplossing in de erlenmeyer(250ml) met de Na_2EDTA-oplossing tot een kleurenomslag van rood naar groen

5.1.5.5.3 Bepaling concentratie EDTA-oplossing met standaard Ca-oplossing Ca2+

$$Ca^{2+} + EDTA \;=>\; [Ca(EDTA)]$$

$m_{CaCO3} = 1{,}0318\ g$

$V_{CaCO3} = 1000\ ml$

$M_{CaCO3} = 100{,}1\ g/mol$

$n_{CaCO3} = \frac{m}{M} = \frac{1{,}0318\ g}{100{,}1\ g/mol} = 1{,}03077 * 10^{-2}\ mol$

$c_{CaCO3} = \frac{n_{CaCO3}}{V_{CaCO3}} = 1{,}03077 * 10^{-2}\ mol/l$

We nemen 20,0 ml $CaCO_3$-oplossing.

$V_{CaCO3-opl.} = 0{,}02l$

$n_{CaCO3} = c_{CaCO3} * V_{CaCO3-opl.} = 2{,}06154 * 10^{-4} mol$

$n_{CaCO3} = n_{EDTA-opl}$

$2{,}06154 * 10^{-4} mol \;= c_{EDTA} * V_{EDTA}$

$V_{EDTA} = 0{,}0201 l$

$c_{EDTA} = \frac{n_{EDTA}}{V_{EDTA}} = \frac{2{,}06154 * 10^{-4} mol}{0{,}0201 l} = 0{,}0102564\ mol/l$

5.1.5.5.4 Bepaling concentratie CaCO3-in verschillende water stalen

$c_{EDTA-opl} = 0{,}0102\ mol/l$

$V_{CaCO3} = 0{,}05 l$

$c_{CaCO3} = \frac{c_{EDTA} * V_{EDTA}}{V_{CaCO3}}$

$\rho = M * c$

Voorbeeld met staal van leidingwater:

$V_{EDTA} = 0{,}0203\ l$

$$c_{CaCO3} = \frac{0{,}0103\frac{mol}{l} * 0{,}0203\ l}{0{,}05\ l} = 0{,}00418\frac{mol}{l}$$

$\rho_{CaCO3} = 100{,}1 * 0{,}00414 = 418{,}418\frac{mg}{l} = 23{,}50\ °D = 41{,}96°F$ => HARD

5.1.5.5.5 Resultaten

Soort water	Hardheid					
	Volume getitreerd	c CaCO3 (mol/l)	m CaCO3 (mg/l)	Duitse graden(°D)	Franse graden(°F)	Hardheid
Leidingwater	0,0203	0,00414	414,75290	23,22616	41,47529	Hard
Oppervlakte water	0,0151	0,00308	308,51077	17,27660	30,85107	Hard
Regenwater	0,0014	0,00028	28,60364	1,60180	2,86036	Zeer zacht
Boorput water	0,0016	0,00032	32,68988	1,83063	3,26899	Zeer zacht
Boorput water	0,012	0,00244	245,17412	13,72975	24,51741	Middel hard
Regenwater	0,0125	0,00255	255,38971	14,30182	25,53897	Middel hard

De resultaten tonen dat bij leidingwater de hardheid het grootst is. De oorzaak daarvan is dat drinkwatermaatschappijen, naast de natuurlijke hoeveelheid kalk in grondwater, soms extra kalk of calciumcarbonaat toevoegen om de pH-waarde onder controle te houden. Daarom is het ook beter om regenwater te gebruiken voor de vaatwasmachine of wasmachine omdat regenwater zeer zacht is, en dus beter voor de glazen, leidingen enz.

Figuur 5.10 sfeerbeeld titratie

5.1.5.6 IJzer in water

5.1.5.6.1 Spectrometrie

Om het ijzergehalte te bepalen in water maken we gebruik van een spectrometer.

Dus ook spectrometrie wordt gebruikt om concentraties te meten. Wat omvat spectrometrie? Hoe wordt een goede meting gedaan?

5.1.5.6.1.1 Duiding begrip.

Spectrometrie is de techniek waarbij spectroscopie wordt onderzocht. Spectroscopie is een verzamelnaam voor wetenschappelijke technieken om stoffen te onderzoeken aan de hand van hun spectrum, hun wisselwerking met straling van verschillende energie.

In klare taal: spectroscopie levert geen resultaten, het is de theoretische benadering van de wetenschap en spectrometrie is de praktische toepassing waarbij de resultaten worden gegenereerd.

5.1.5.6.1.2 Definitie.

UV/VIS-spectro(foto)metrie is een chemische analysetechniek waarbij de concentratie van een bepaalde stof in een te analyseren monster bepaald wordt door de absorptie van zichtbaar licht (VIS = visible) of van ultraviolet licht (uv-licht) te meten.

Bij gebruik van ultraviolet licht spreekt men van uv-spectrometrie en bij gebruik van zichtbaar licht spreekt men van zichtbaar-lichtspectrometrie, maar de techniek is in feite in beide gevallen dezelfde.

5.1.5.6.2 Hoe werkt UV-VIS spectrometrie?

Figuur 5.11: spectrometer

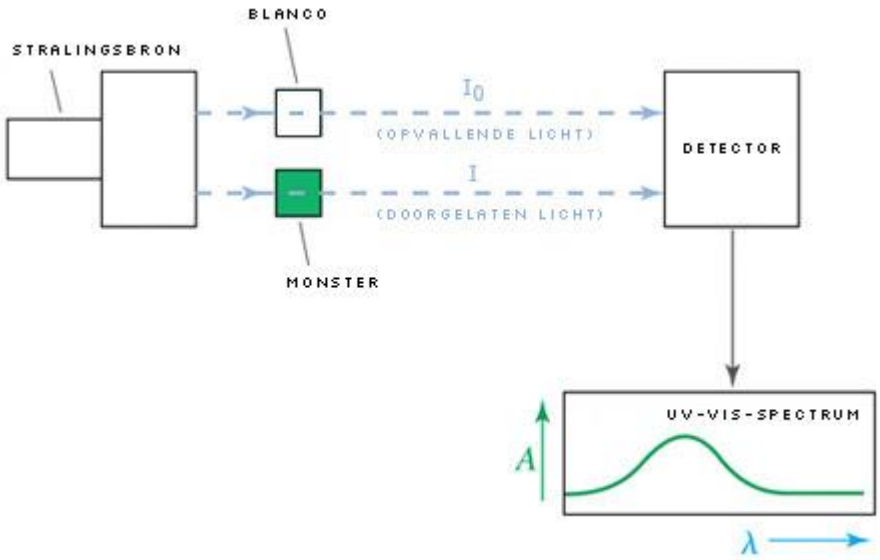
Het apparaat waarmee spectrofotometrische analyses uitgevoerd worden noemt een spectrofotometer.

Bij UV-VIS spectrometrie wordt een stof bestraald met uv-licht (golflengte van 200 tot 400 nm) of met zichtbaar licht (golflengte van 400 tot 800 nm). De moleculen kunnen deze straling absorberen (= opnemen)*.

*Opmerking: Wat er in feite gebeurt bij het opnemen van de stralingsenergie, is dat een elektron van de grondtoestand naar de aangeslagen toestand gaat. Hoeveel energie daar precies voor nodig is, is afhankelijk van de chemische bindingen (met name C=C bindingen) in een stof.

5.1.5.6.2.1 Werking van de UV-VIS spectrometer

Een UV-VIS spectrometer bestaat grofweg uit de volgende onderdelen: een stralingsbron, een plaats voor het te onderzoeken monster en een detector.



Figuur 5.12: principe spectrometrie

Allereerst wordt het licht van de stralingsbron in twee aparte, maar identieke, lichtbundels gesplitst. De ene lichtbundel gaat door een buisje met een oplossing van het te onderzoeken monster. De tweede lichtbundel gaat door een identiek buisje met het oplosmiddel maar zonder het te onderzoeken monster. Dit buisje duiden we aan met blanco.

De intensiteit van de lichtbundel door het te onderzoeken monster geven we aan met I. De intensiteit van de lichtbundel door de blanco geven we aan met I_0.

De lichtbundels vallen vervolgens op de detector alwaar de bundels met elkaar worden vergeleken. Zo kan worden bepaald welke golflengte van het licht door het monster is geabsorbeerd. Deze gegevens worden tot slot verwerkt tot een UV-VIS spectrum

De buisjes die in de spectrometer worden geplaatst, worden ook wel cuvetten genoemd.

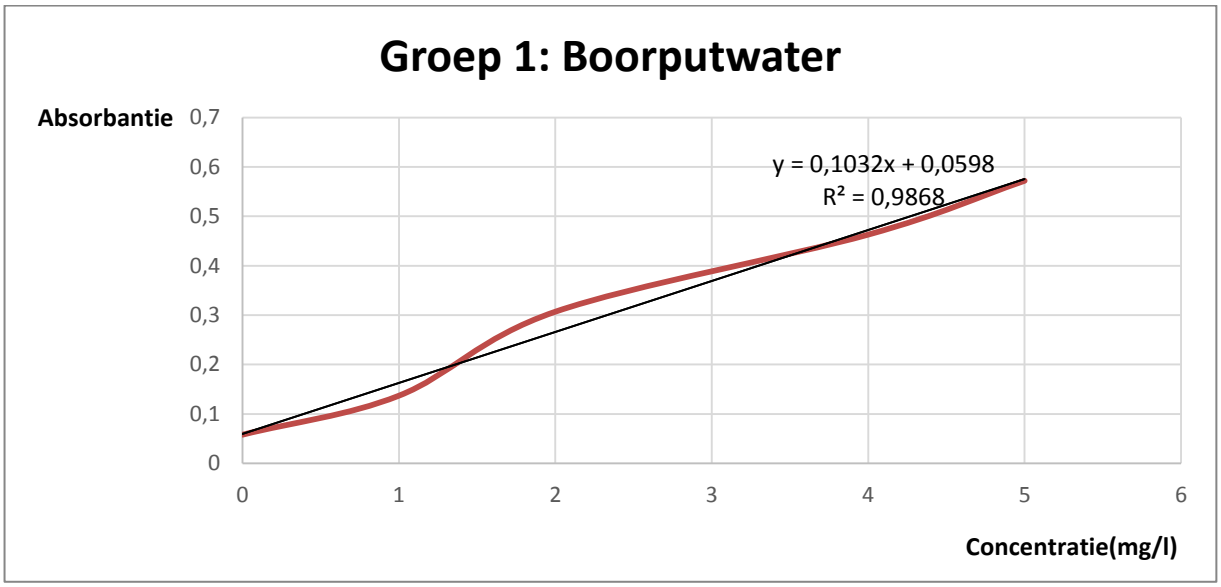
Figuur 5.13: cuvetten

5.1.5.6.3 Labo

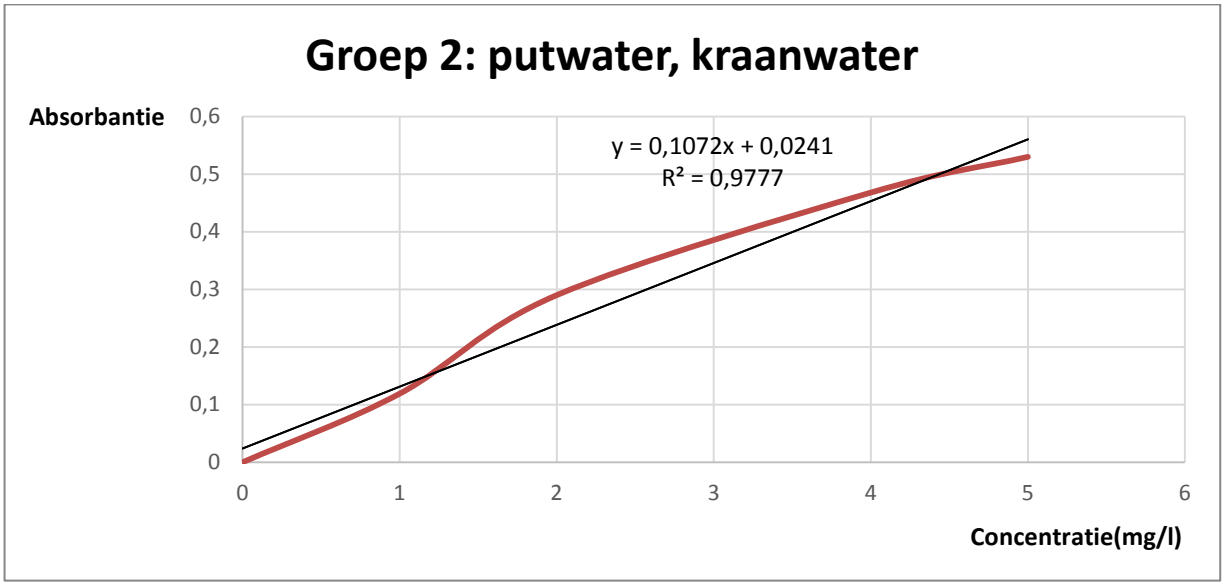
Wij hebben op 22 maart een labo over spectrometrie uitgevoerd om de ijzerconcentratie in waterstalen te bepalen. Vooraf moesten we het toestel instellen op 509 nm, want uit eerdere metingen blijkt de absorbantie bij deze golflengte het grootst voor Fe. Wij hebben in totaal 3 waterstalen onderzocht. Voor we de concentratie ijzer in de waterstalen kunnen meten, moesten we eerst de ijklijn opstellen van welgekende oplossing.

5.1.5.6.3.1 Resultaat ijklijn via Excel importeren

Doordat elke groep zijn eigen gekende oplossingen maakt, zal de ijklijn per groepje een klein beetje variëren. Het verschil moet weliswaar minimaal zijn. Het verwerken van deze metingen met de gekende oplossingen gebeurt in Excel, de resultaten kan je zien in de onderstaande grafieken.



Figuur 5.14: waterstaal groep 1



Figuur 5.15: waterstaal groep 2

In iedere grafiek krijgen we via regressie de wiskundige vergelijking voor de ijklijn met nog een R^2-waarde erbij. De R^2-waarde is een maat voor hoe precies de meting is. Hoe dichter bij 1, hoe meer de waarden op een lijn staan en hoe exacter de meting. We kunnen zien dat de R^2-waarde tussen 0,9657 en 0,9907, dit betekent dat onze waarden precies gemeten zijn.

5.1.5.6.3.2 Metingen van de stalen

	Absorbantie
Staal boorput	0,098
Staal put	0,062
Staal kraan	0,026
Staal	-0,169

In totaal hebben we van 3 stalen water absorbantie gemeten, de waarden kan je vinden in bovenstaande tabel. Als we deze waarden in de y-waarde invullen van de vergelijking van de ijklijn, dan is de bekomen x-waarde de concentratie aan Fe in dat waterstaal.

5.1.5.6.3.3 Berekening concentratie

Bv. Boorputwater

y = 0,1032x + 0,0598

0,098 = 0,1032x + 0,0598

x = 0,379

	Concentratie(mg/l)
Staal boorput	0,379
Staal put	0,353
Staal kraan	0,018
Staal regenwater	0,006

5.1.5.6.3.4 Bespreking en besluit van de resultaten

Uit de meting kunnen we besluiten dat er in boorputwater veel ijzer aanwezig is, waardoor de absorbantie voor dit staal hoog is, wat betekent dat het veel licht zal opnemen. Voor boorputwater en putwater verkrijgen we aannemelijke resultaten, die hoger liggen dan de andere waterstalen, omdat dit soort water in contact komt met onze grond en in de bodem is er ijzer aanwezig.

We zien ook dat het gehalte aan ijzer in het leidingwater heel klein is. Dit water komt niet in contact met onze bodem, maar komt rechtstreeks van de waterzuiveringsstations.

Voor regenwater is de concentratie zelfs zodanig klein dat hij volgens onze ijklijn een negatief resultaat weergeeft, wat als te verwaarlozen wordt geïnterpreteerd.

6 Fysica

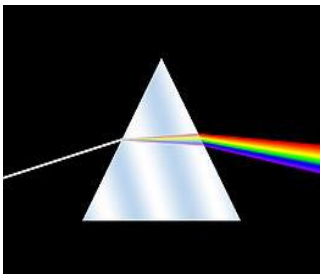
Wanneer wij willen vliegen met onze ROV, moeten wij rekening houden met een hele boel fysische verschijnselen. Deze verschijnselen hebben niet altijd een even grote invloed voor de uitwerking van ons project, omdat wij hier werken met een zeer kleine ROV die slechts tot geringe dieptes zal gaan. Toch is het nodig om deze op te nemen in ons onderzoek..

6.1 Lichtverval in water

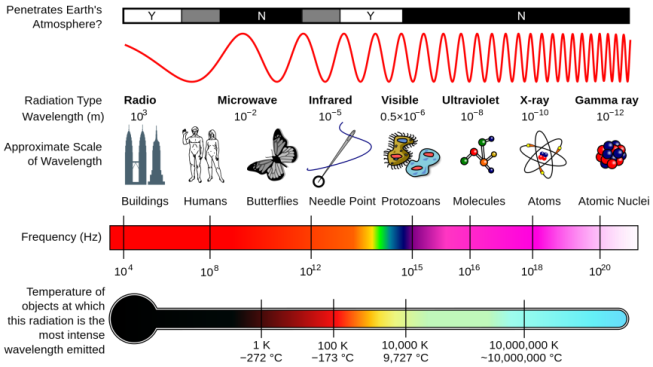
Onder water zien we alles blauw. Is dit omdat het water blauw is of komt het door de kleur van de lucht of moeten we de oorzaak ergens anders zoeken? Het juiste antwoord is dat dit komt door het feit dat water licht absorbeert. Om dit te kunnen begrijpen moeten we eerst weten wat licht juist is.

6.1.1 Wat is licht

Licht is elektromagnetische straling die waarneembaar is voor het menselijk oog. Dit is slechts een deel van het elektromagnetisch spectrum. Bij dieren kan het waarneembaar deel groter (havik) of kleiner (hond) zijn. In dit spectrum heeft alles een verschillende golflengte. Dit geldt ook voor de kleuren, elke kleur heeft zijn specifieke golflengte. Het zichtbaar spectrum heeft een golflengte van 400nm (violet) tot 690nm (rood). Als we alle zichtbare kleuren combineren bekomen we wit licht. Dit wit licht kunnen we terug opsplitsen in die aparte kleuren aan de hand van een prisma.



Figuur 6.1 Lichtbreking in prisma



Figuur 6.2 Elektromagnetisch spectrum

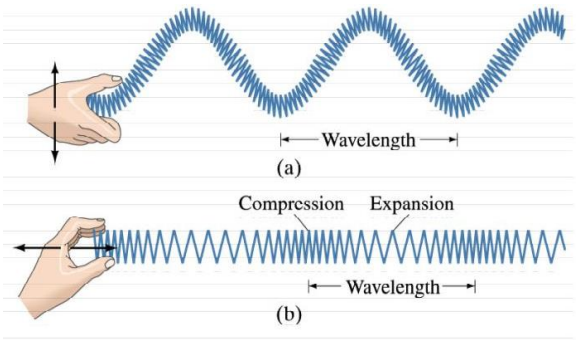
Er zijn drie factoren die het licht bepalen, naamelijk de kleur, de amplitude en de trilrichting.

De eerste factor werd hierboven al aangehaald.

De tweede factor, nl. de amplitude van de golf, komt overeen met de lichtsterkte. Deze drukken we uit in candela (cd). De hedendaagse definitie van candela klinkt als volgt "De

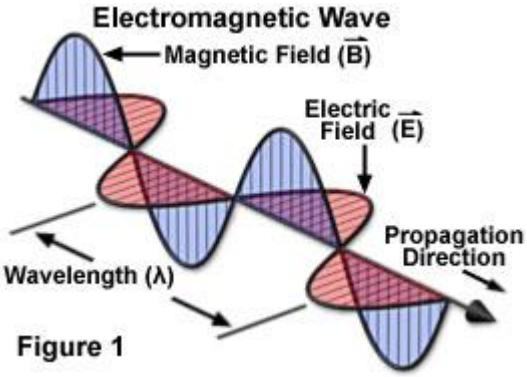
candela is de lichtsterkte in een gegeven richting van een bron die monochromatische straling met een frequentie van 540 × 1012 Hz uitzendt en waarvan de stralingssterkte in die richting 1/683 watt per steradiaal is."

De derde factor is de trilrichting. Bij golfbewegingen kunnen we twee soorten golven onderscheiden, transversale en longitudinale. Bij transversale golven staat de trilrichting loodrecht op de voortplantingsrichting. Deze golven komen voor bij bijvoorbeeld aardbevingen. Bij de longitudinale golven is de trilrichting van de deeltjes dezelfde al de voortbewegingsrichting. Een specifiek voorbeeld van zo'n golf is de voortplanting van geluid.



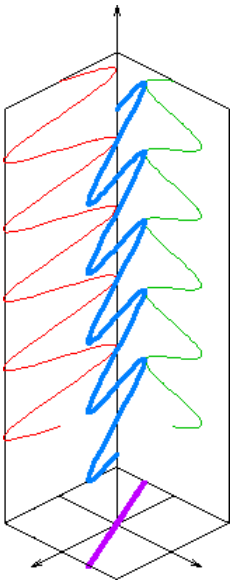
Figuur 6.3 Transversalen en longitudinale golf

Voor licht blijft de uitleg betreffende de trilrichting geldig, maar de voorplanting gebeurt niet meer via een medium. Licht is deel van het elektromagnetisch spectrum, wat wil zeggen dat ze dus is opgebouwd uit elektromagnetische golven. Deze golven hebben een elektrisch veld en een magnetisch veld. De resultante van deze twee velden geeft de golfbeweging weer van het licht.

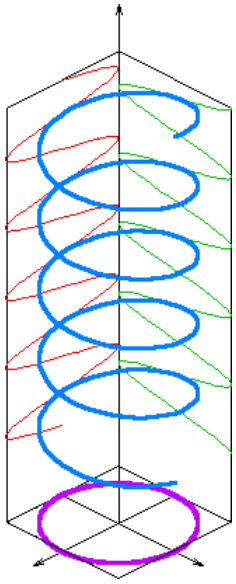


Figuur 6.4 Elektromagnetische golf

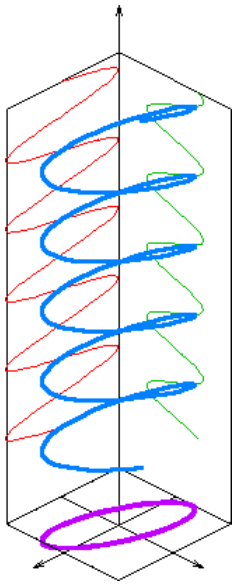
Deze resultante kan op drie verschillende manieren tot stand komen. Wanneer de twee velden identiek zijn, dan is de samengestelde golf lineair als we de voorbewegingsruimte in dwarsdoorsnede aanschouwen(fig. 5). Als de velden identiek zijn en 90° verschoven zijn ten opzichte van elkaar dan is de beweging van de foton cirkelvormig (Fig. 6). De laatste manier waarop een foton kan bewegen is ellipsvormig (Fig. 7). Dit komt voor als de twee golven 90° verschoven zijn ten opzichte van elkaar en niet dezelfde amplitude en golflengte hebben.



Figuur 6.7 Lineair licht



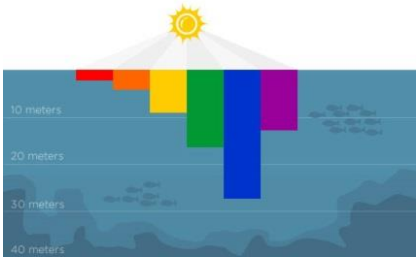
Figuur 6.6 Cirkelvormig licht



Figuur 6.5 Ellipsvormig licht

6.1.2 Waarom is dat water nu blauw

Zoals hierboven vermeld bestaat wit licht uit verschillende kleuren en kunnen we de afzonderlijke kleuren zichtbaar maken door het licht in te laten vallen op een prisma. We kunnen water beschouwen als een verzameling van kleine prisma's. Dat witte licht zal dus ook worden opgesplitst in die verschillende kleuren. Nu blijkt dat de kleuren met de kortste golflengte (groen, blauw,…) minder snel worden geabsorbeerd door het water, wat wil zeggen dat de kleuren met een lange golflengte (rood, geel,…) sneller worden geabsorbeerd in water. We kunnen dus stellen dat water werkt als een kleurenfilter.



Figuur 6.8 Dieptebereik licht in water

Op een diepte van meer dan 500 meter zijn alle kleuren geabsorbeerd en zal er bijgevolg geen licht meer waar te nemen zijn. Dit laatste geldt voor oceaanwater, maar als we rivieren van bij ons beschouwen, waar er vervuiling aanwezig is, dan zal er al op een diepte van bijvoorbeeld 15m geen licht meer waar te nemen zijn. Daarom nemen duikers meestal een lamp mee, zodat het licht een mindere lange weg moet afleggen door het water. Zo zien zij toch alle kleuren zoals het zou moeten. Dit is de reden waarom wij verlichting voorzien op de rov. Een andere reden is omdat de camera een bepaalde lichtintensiteit nodig heeft om goede beelden te kunnen maken.

Om de onderstaande foto te kunnen begrijpen moet je weten hoe het komt dat men op een bepaalde diepte bepaalde kleuren ziet en andere niet. Zoals we al weten bestaat wit licht uit verschillende kleuren. Als we nu boven water bijvoorbeeld een rode muur hebben zal het zonlicht daarop vallen, het witte licht dus. In feite absorbeert die rode muur alle kleuren behalve het rood, dus het rood zal worden teruggekaatst. Hetzelfde geldt voor onze huid, daar zit ook een rode tint in. Als we nu onder water gaan dan is er dicht tegen het wateroppervlak nog steeds rood licht aanwezig, zodat we onze huidskleur zien als normaal. Eenmaal we dieper gaan is dat rood licht niet meer aanwezig omdat het is geabsorbeerd waardoor het onmogelijk kan teruggekaatst worden. We zien nog enkel de teruggekaatste blauwe component van onze huidskleur. De verklaring voor het kleurverschil in de foto's is dus niet dat wij blauw geworden zijn maar wel dat er dus geen rood licht meer aanwezig is op een bepaalde diepte onder water.

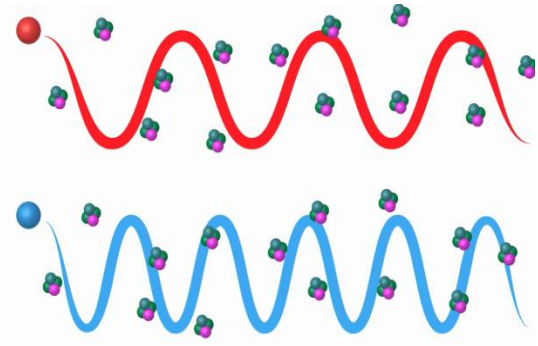
Figuur 6.9 We zien hier dat de kleur van de linkse duiker blauw is. Dit komt omdat de rode kleur rood niet meer aanwezig is in tegenstelling tot de rechtse waarbij het rode licht wel nog aanwezig is.

6.1.3 Verstrooiing van licht

Een ander verschijnsel is de verstrooiing van het licht. Als we onder water gaan kijken, lijkt het alsof dat de lichtstralen zichtbaar worden. Dit verschijnsel noemt men Rayleighverstrooiing. Dit verschijnsel is het makkelijkst te verklaren als we kijken naar de lucht.

Figuur 6.10 Rayleighverstrooiing

We nemen twee kleuren onder de loep, namelijk rood en blauw. We weten ook dat de lucht bestaat uit verschillende moleculen. Zoals we zien op de afbeelding hebben blauw en rood elk een andere golflengte. Als we een foton van elke kleur beschouwen en deze hun golfbeweging laten uitvoeren, zien we dat de frequentie van het rode foton veel lager is dan die van het blauwe foton. Deze twee fotonen hebben wel dezelfde voortplantingssnelheid. Omdat de frequentie verschilt legt het blauwe foton meer afstand af in de lucht, waardoor het meer kans heeft om op een molecule lucht te botsen. Elke keer het foton een molecule treft is er sprake van verstrooiing. Dit is de reden waarom we de lucht blauw zien, omdat het rode licht minder verstrooid wordt in vergelijking met het blauwe licht.



Figuur 6.12: rood en blauw licht

Als we dit nu terugkoppelen naar water, zien we dat water even goed bestaat uit moleculen die ook kunnen botsen met een foton, waardoor er ook hier sprake is van verstrooiing. Hierdoor zijn de lichtstralen soms zichtbaar onder water. Dit verschijnsel hangt ook samen met de stofdeeltjes in het water. Als er weinig stofdeeltjes in het water zitten dan is het goed mogelijk dat de lichtstralen niet zichtbaar worden onder water.

6.2 Beeldvorming onder water

Als wij met onze ROV onder water gaan filmen moeten we rekening houden met de lichtbreking onder water. Als wij filmen onder water moeten wij ook rekening houden met het feit dat alles wazig is en dat alles groter lijkt. Het is dus belangrijk even stil te staan bij de optica onder water.

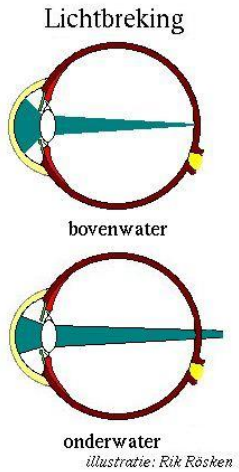
6.2.1 Wazig beeld onder water

6.2.1.1 Zicht van het oog

Vooraleer te redeneren op het zicht onder water, is het evident eerst eens even aandacht te schenken aan ons werkend oog of ons zicht in de lucht.

6.2.1.1.1 Zicht boven water

Als we boven water iets bekijken dan wordt het licht gebroken door het hoornvlies. Dit komt doordat het hoornvlies bol is en ook door het vocht dat zich achter het hoornvlies bevindt. Deze zijn “afgesteld” voor gebruik in lucht. Hierdoor worden de stralen gebundeld juist op de achterkant van het oog waardoor we een scherp beeld hebben. Dat punt wordt ook wel het brandpunt genoemd.



Figuur 6.13: lichtbreking boven- en onderwater

6.2.1.1.2 Zicht onder water

Als we onder water willen kijken zonder duikbril, dan zien we niet scherp met het blote oog. Wanneer wij onder water gaan, vertrekken de lichtstralen vanuit het water i.p.v. uit de lucht. De overgang van de lichtstralen uit water en ons hoornvlies is net iets anders dan de overgang van lucht naar hoornvlies. De breking van de stralen verloopt anders dan in lucht. De stralen worden hier in mindere mate gebroken, waardoor de lichtstralen niet op de juiste manier geconvergeerd worden op de achterkant van ons oog. Het brandpunt ligt nu achter ons oog. Omdat het beeld niet gefocust wordt op de retina (achterkant van ons oog) zien we het beeld wazig.

6.2.1.2 Oplossing voor het wazig beeld: een duikbril

Het creëren van een luchtruimte tussen het hoornvlies en het water is de enige oplossing om alles terug scherp te zien. Dit komt omdat we terug lucht voor ons hoornvlies hebben en dat we daardoor weer een optimale breking hebben van het licht.

6.2.1.2.1 Neveneffecten

Als men een klassiek vlakke duikbril gebruikt heb je wel weer een breking door de overgang van water naar lucht. Hierdoor vernauwen we ons gezichtsveld.

Dit kunnen we verklaren met de wet van Snellius. De wet van Snellius of brekingswet is een natuurwet uit de optica die aangeeft hoe lichtstralen gebroken worden op de overgang van het ene medium naar het ander

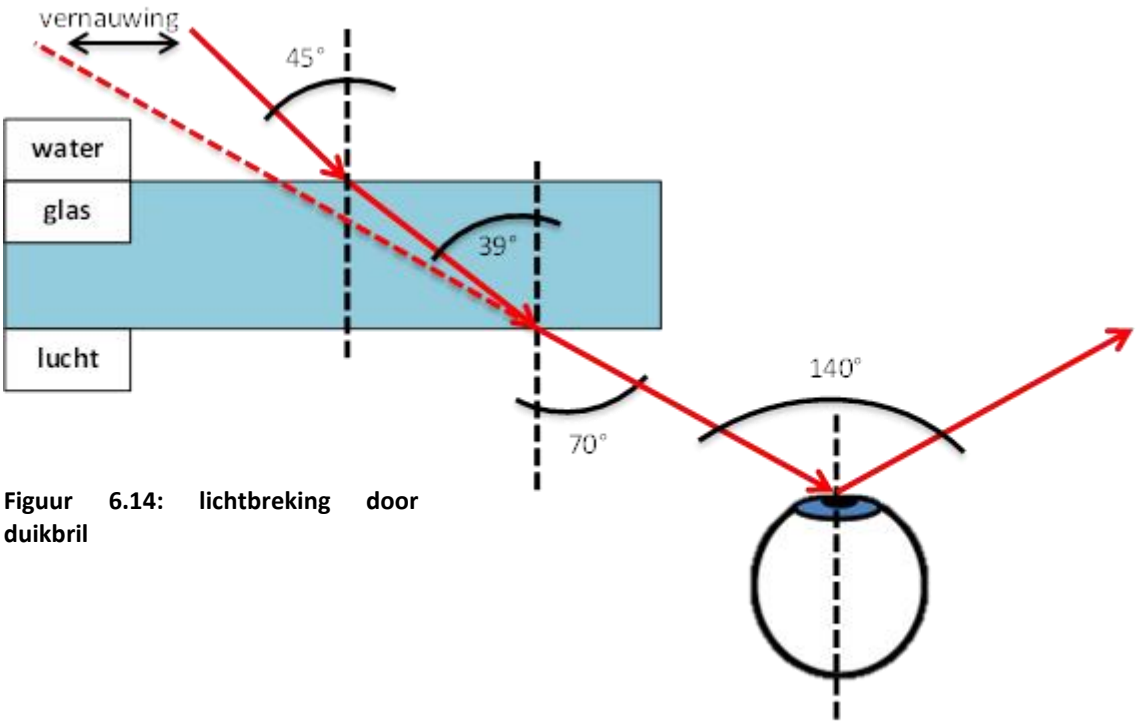
$$n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$$

n: brekingsindex

i: hoek van inval

r: brekingshoek

We weten dat het licht zal invallen op volgende manier: water – glas – lucht. En dat het menselijk gezichtsveld 140° bedraagt. Hetgeen we willen te weten komen is hoe breed ons gezichtsveld nu is wanneer we een duikbril dragen.



Figuur 6.14: lichtbreking door duikbril

We kijken naar de overgang van lucht en glas, rekening houdend met het feit dat de lichtstralen komen vanuit het glas naar lucht. We weten ook dat de uittreedhoek gelijk is aan 70° (de helft van ons gezichtsveld).

Stof	brekingsindex
Water	1,33
Glas	1,5
Lucht	1

$$\sin(i) = \frac{\sin(r) * n_2}{n_1}$$

$$\sin(i) = \frac{\sin(70) * 1}{1{,}5} = 0{,}626$$

$$i = Bgsin(0{,}626) = 38{,}8°$$

De invalshoek van het licht op de overgang tussen glas en lucht is 39°.
Diezelfde hoek is de uittreedhoek bij de overgang tussen water en glas.

$$\sin(i) = \frac{\sin(r) * n_2}{n_1}$$

$$\sin(i) = \frac{\sin(38{,}8) * 1{,}5}{1{,}33} = 0{,}707$$

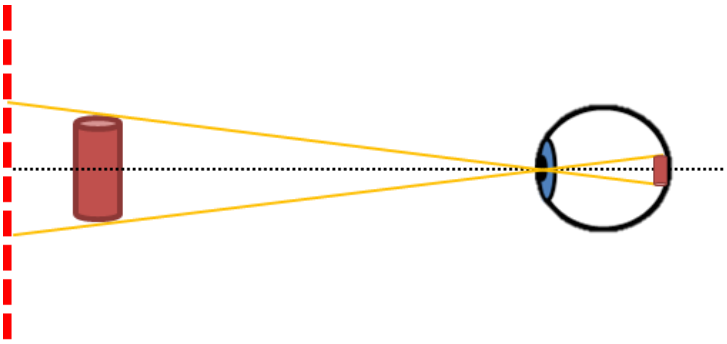
$$i = Bgsin(0{,}707) = 44{,}95°$$

De invalshoek van het licht onder water met een duikbril mag dus slechts 45° zijn, anders valt het buiten ons gezichtsveld. Hieruit kunnen we besluiten dat bij een duik met een duikbril er een vernauwing is van ons gezichtsveld van 140° naar 90°.

6.2.1.2.2 Onderschatting van de afstand

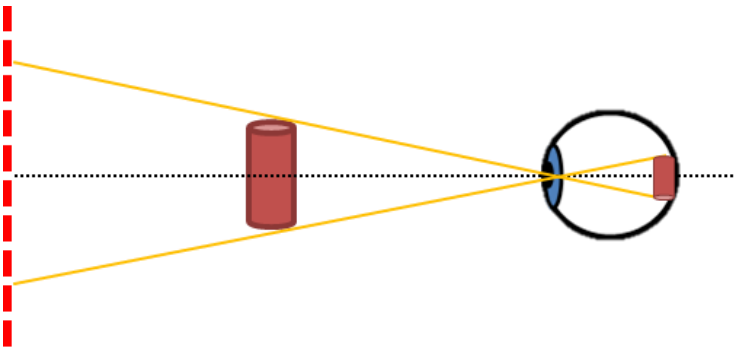
Een ander fenomeen is het feit dat wij onder water voorwerpen groter zien dan dat ze in werkelijkheid zijn. Dit valt te verklaren aan de hand van de vernauwing van ons gezichtsveld, zoals we eerder hebben kunnen vaststellen door de wet van Snellius toe te passen.

Wanneer we onder normale omstandigheden kijken naar een object, vult dat object een bepaald deel van ons gezichtsveld. Aan de hand van de ingenomen oppervlakte van ons gezichtsveld kunnen we beoordelen hoe groot iets is. De rode lijn is de grootte van ons gezichtsveld.



Figuur 6.15 object ver

Als we nu een object dichter plaatsen bij ons oog, is er een groter deel van ons gezichtsveld gevuld. We zien het dus groter. We kunnen het vergelijken met een gebouw. Wanneer we een gebouw in de verte zien past het volledig in ons gezichtsveld en we zien het als een kleine stip. Als we nu dichter gaan vult het gebouw ons gezichtsveld volledig, dit wil niet zeggen dat het gebouw groter geworden is. Het is enkel de ingenomen oppervlakte van ons gezichtsveld die groter is geworden, waardoor wij het relatief groter zien.

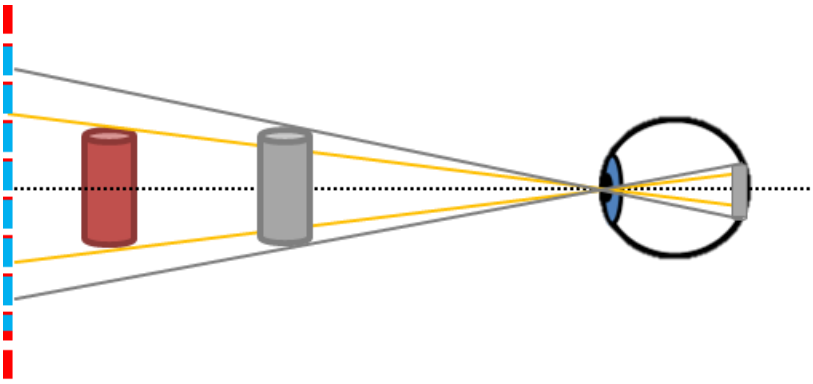


Figuur 6.16: object dicht

Aan de hand van de wet van Snellius hebben we aangetoond dat ons gezichtsveld kleiner wordt wanneer we onder water gebruik maken van een duikbril.

Kijken we nu naar een object (rood in figuur) van een bepaalde grootte onder water, dan zien we het groter dan normaal. Hetzelfde object op dezelfde afstand vult boven water een deel van ons oorspronkelijk gezichtsveld (rode lijn). Onder water is ons gezichtsveld kleiner geworden (blauwe lijn, zie onderstaande fig). Ons brein weet dit natuurlijk niet, wij denken nog steeds een volledig gezichtsveld te hebben.

Wat wij zien is dat ons 'verkleinde' gezichtsveld bijna volledig gevuld is. Dit weet ons brein natuurlijk niet, dus die denkt dat zijn oorspronkelijke gezichtsveld bijna volledig gevuld is. Wat dus resulteert dat wij denken dat iets dichter en groter lijkt dan in de werkelijkheid (zoals het grijze object in de figuur).



Figuur 6.17: verkleind gezichtsveld door lichtbreking

We zien de voorwerpen dus groter, ongeveer één derde groter. Dit gaat gepaard met een inschattingsfout van de afstand, alles lijkt een derde dichter te staan. Dit komt tot uiting wanneer we iets willen vastgrijpen onder water, we grijpen er steeds vóór. Dit komt omdat onze hersens denken dat alles dichter staat, dan in de werkelijkheid.

6.3 Thermocline

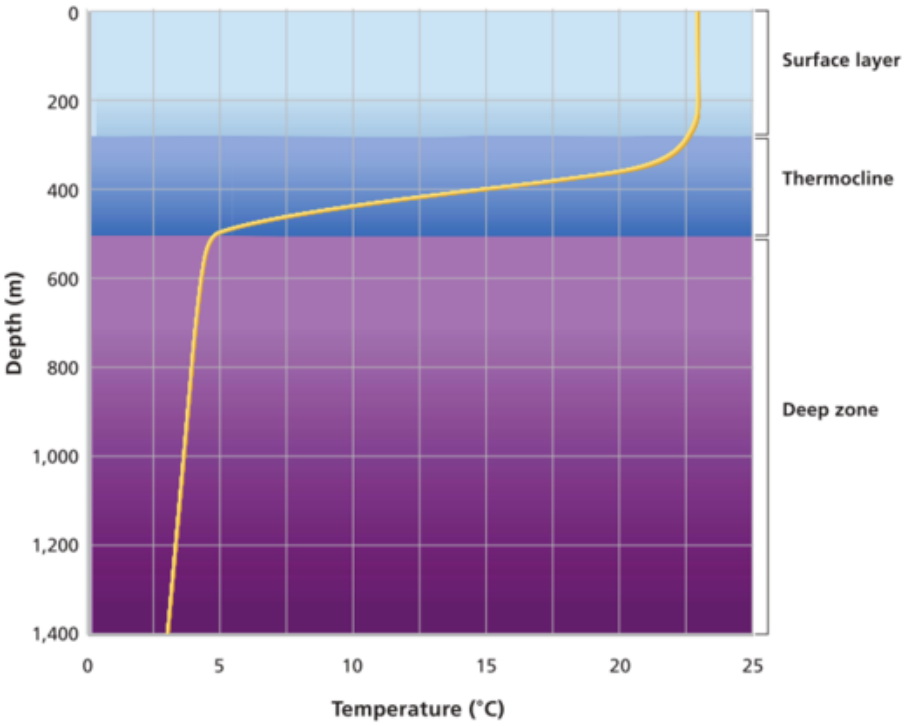
6.3.1 Wat is de thermocline en hoe ontstaat ze?

De thermocline of spronglaag is de overgang tussen twee verschillende lagen die een groot verschil hebben in temperatuur.

In oceanen en zeeën is dit een laag water van 4°C die een gemengd warm deel scheidt van een kouder dieper deel. Deze laag ligt op ongeveer 50-100 meter diepte, daarboven heeft de zon en de stroming een invloed op de temperatuur van het water.

De dichtheid van water is het grootst bij 4°C. Doordat dat water bij 4°C zo dicht is kan het water dat er boven ligt niet mengen met het water dat eronder ligt. De bovenste laag wordt opgewarmd door zonlicht. De temperatuur in de bovenste laag heeft geen grote temperatuurverschillen, omdat het water gemengd wordt door golven en wind. De onderste laag is kouder en de temperatuur daalt lichtjes naar gelang je dieper gaat.

Bij de overgang tussen het warme water boven de thermocline en de thermocline zelf wordt het water niet meer voldoende opgewarmd door de zon en/of niet meer voldoende gemengd. Als het water in de thermocline toch verder opwarmt zal het lichter worden en wanneer het water lichter wordt zal het stijgen naar de laag erboven. Hierdoor zal de warme laag groter worden en wordt de thermocline naar beneden geduwd of smaller gemaakt.



Figuur 6.18: thermocline

De overgang van de thermocline naar het koude water is minder direct. Het water van de thermocline zal dalen omdat het zo zwaar is. Als het water daalt komt het in kouder water terecht en koelt het af. Als dat water afkoelt wordt het opnieuw lichter en stijgt het terug naar de thermocline. Door deze beweging kunnen duikers 'rimpelingen' zien. Dit is te vergelijken met wanneer je op een zeer warme dag in de verte over het wegdek kijkt en er golven warmte uit de baan lijken te komen. Ook wordt door de grote dichtheid van het water in de thermocline stof vastgehouden, wat in sommige gevallen waarneembaar is op de sonar.

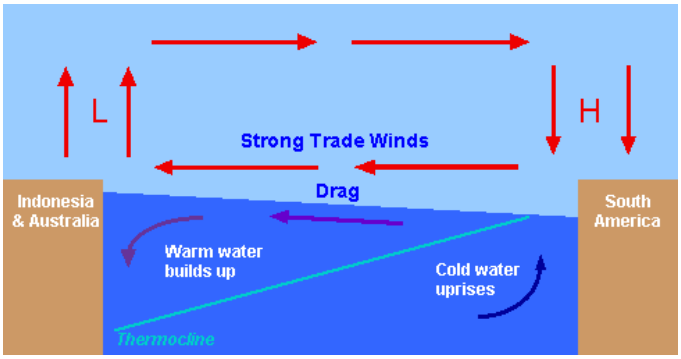
Figuur 6.19 rimpelingen door thermocline

6.3.2 Welke factoren spelen een rol

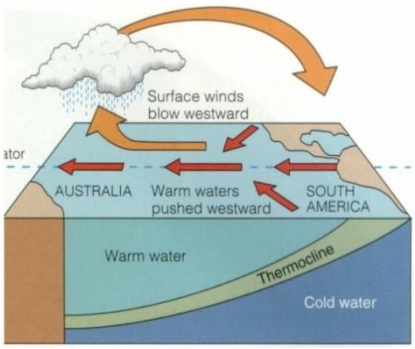
De diepte en de breedte van de thermocline is afhankelijk van de wind en de stroming, de verdamping, het zonlicht, het seizoen en de ligging van de zee of het meer.

6.3.2.1 Wind ,stroming en verdamping

De wind en de stroming kan er voor zorgen dat warm water naar één richting wordt 'geduwd'. Het warme water wordt hierdoor opgehoopt op één zijde of plaats van de zee of het meer. De thermocline zal naar beneden geduwd worden waar het warme water zich ophoopt. De thermocline zal hoger liggen waar er minder warm water is of zelfs helemaal verdwijnen waar er geen warm water meer is, zoals duidelijk te zien is op onderstaande figuur.



Figuur 6.21: verplaatsing warm water



Figuur 6.20: verplaatsing warm water geologisch

De wind zal ook helpen bij de verdamping. Hoe sneller de wind waait hoe sneller water verdampt. Als warm water verdampt zal de temperatuur van het overgebleven water niet verder stijgen. Bij een toename aan verdamping zal de temperatuur zelfs dalen. Als de warme laag kleiner wordt komt de thermocline hoger te liggen. Deze factor van verdamping heeft echter niet zo'n zware invloed als de wind, de ligging en de lichtintensiteit.

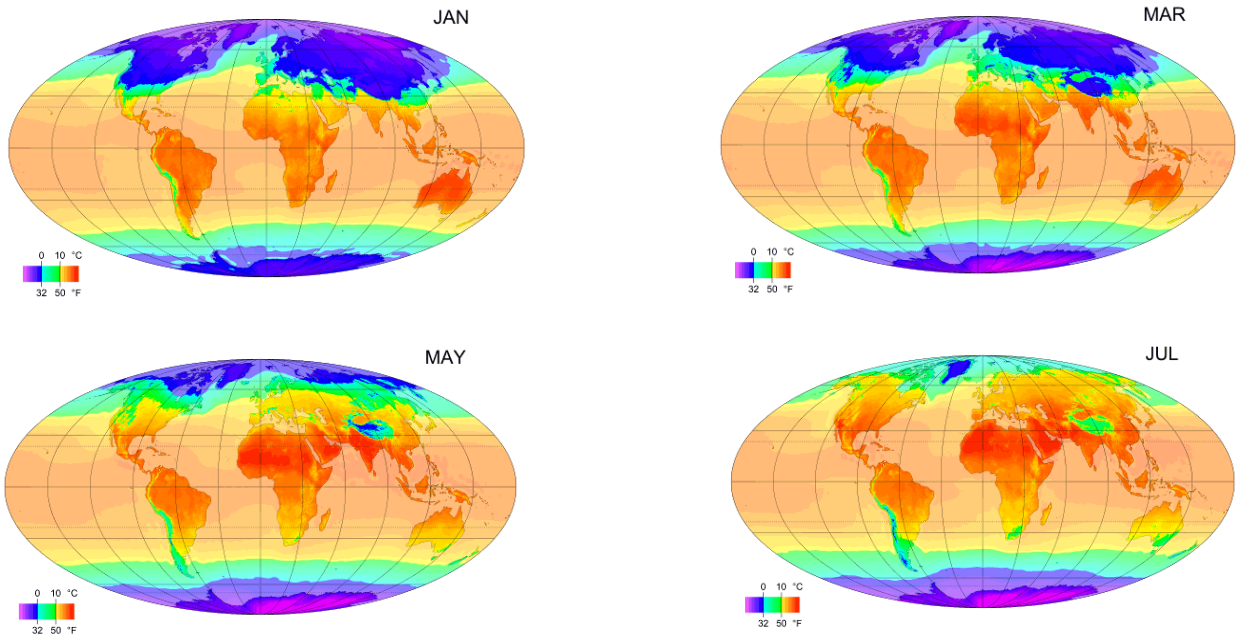
6.3.2.2 Zonlicht

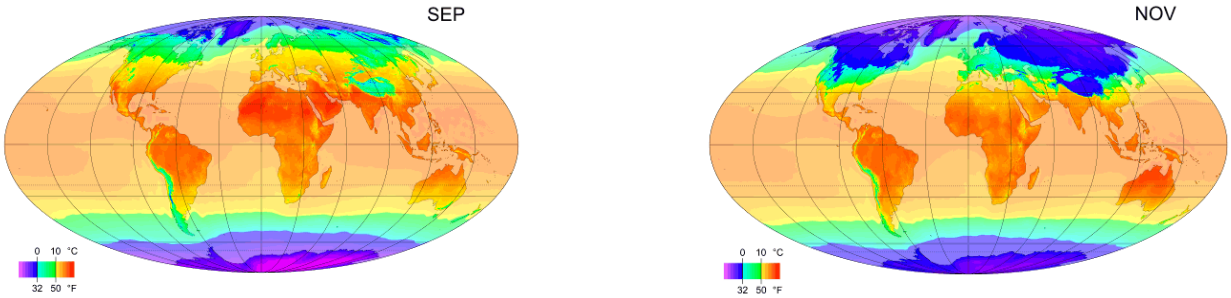
Zonlicht is waarschijnlijk de meest belangrijke factor. Het licht dat op het water invalt warmt het water op. De warmte en dus ook de grootte van de bovenste laag stijgt als de invallende lichtintensiteit stijgt. Dus komt de thermocline lager te liggen. Ook de transparantie van het water speelt een rol. Als het water sterk transparant is kan dieperliggend water verder opgewarmd worden en zal de thermocline dieper liggen. In de praktijk zal de transparantie echter geen zo'n grote rol spelen, want het grootste deel van de energie van het zonlicht wordt in de eerste 2 meters overgedragen. Die warmte wordt daarna verspreid door de stroming en wind. De transparantie zal dus alleen een rol spelen als er geen stroming en wind is. Dit komt praktisch nooit voor.

Diepte	Oceaanwater	Kustwater
0 m	100%	100%
1 m	35%	27%
2 m	28%	17%
10 m	9,5%	1,2%
20 m	3,7%	0,06%

6.3.2.3 Seizoenen

Het seizoen speelt vooral een grote rol in meren en vijvers, maar ook in de zee. Bij de zee is het simpel. In de zomer warmt de zee op. Dus wordt de warme laag groter en komt de thermocline lager te liggen. In de winter is het net omgekeerd. Je moet wel rekening houden dat water warmte vrij goed vasthoudt. In de lente zal het water lang koud blijven en in de herfst lang warm.





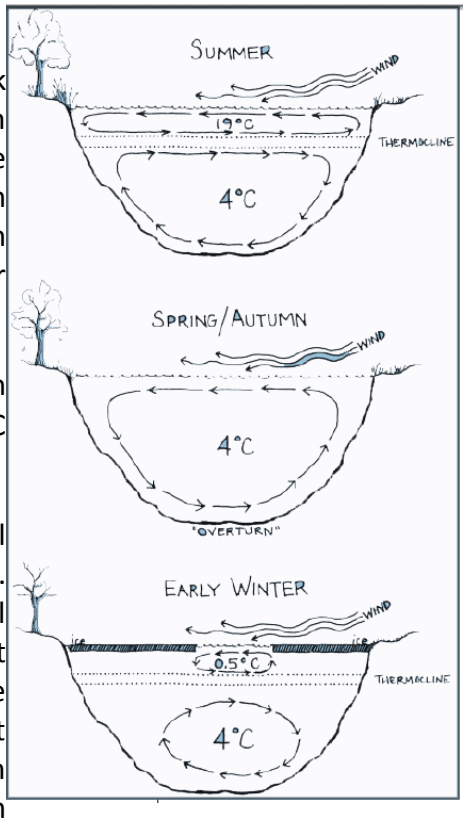
Figuur 6.22: warmte in de wereld doorheen het jaar

In meren en vijvers is het net iets anders. Op de bodem van vijvers en meren is er altijd een laag van 4°C. Dit komt doordat water van 4°C zwaarder is dan water van een andere temperatuur en dus naar de bodem zinkt. Meestal ligt er een thermocline op de bodem en ligt er een laag water met een andere temperatuur boven. Door menging is de temperatuur constant over heel die bovenste laag.

In de zomer zal er een warme laag water aan het oppervlak aanwezig zijn, een laag water van 4°C op de bodem en daartussen een kleine scheidingslaag, namelijk de thermocline. De onderste laag koud water blijft bestaan in de zomer omdat water goed warmte-energie kan vasthouden en door de grote massadichtheid kan het water niet mengen.

In de herfst zal de warme laag bovenaan langzaam afkoelen en kleiner worden totdat deze ook een temperatuur van 4°C heeft en dan is de thermocline verdwenen.

Als de winter nadert zal het water verder afkoelen en zal het water dat kouder is dan 4°C naar het oppervlak stijgen. Het water dat nog altijd een temperatuur van 4°C heeft zal op de bodem blijven. Als het vriest zal er zich aan het oppervlak een ijslaag vormen. Er is nu opnieuw een dunne thermocline. Deze is dunner dan in de zomer want het verschil in temperatuur tussen de twee lagen is kleiner dan in de zomer. Als het water te koud wordt, bevriest het en wordt de koude laag gewoon breder. Doordat er constant een laag water van 4°C op de bodem ligt kunnen vissen en andere onderwater dieren overleven tijdens de winter.



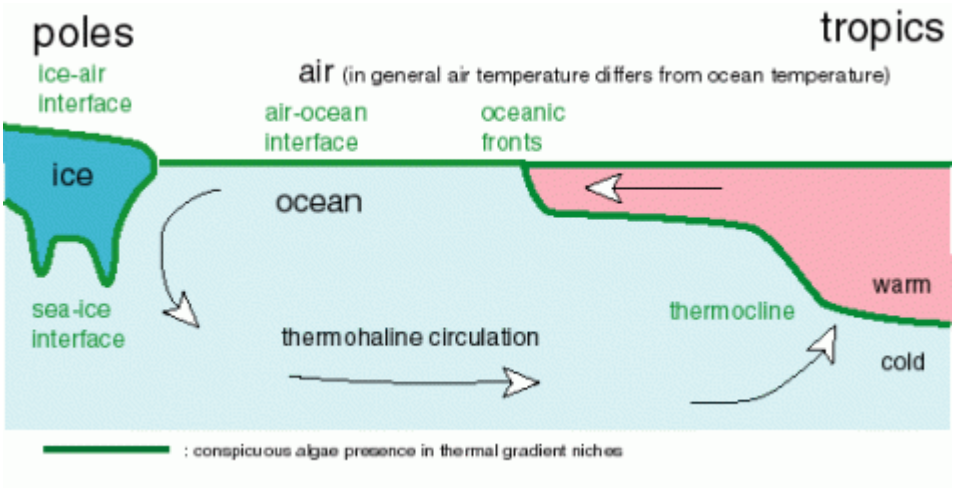
Figuur 6.23: thermocline in vijver

In de lente zal het water terug opwarmen en verdwijnt de bovenste koude laag. Het water wordt verder opgewarmd. Er ontstaat weer een warme bovenste laag en een thermocline.

De cyclus begint weer van voor af aan.

6.3.2.4 Ligging

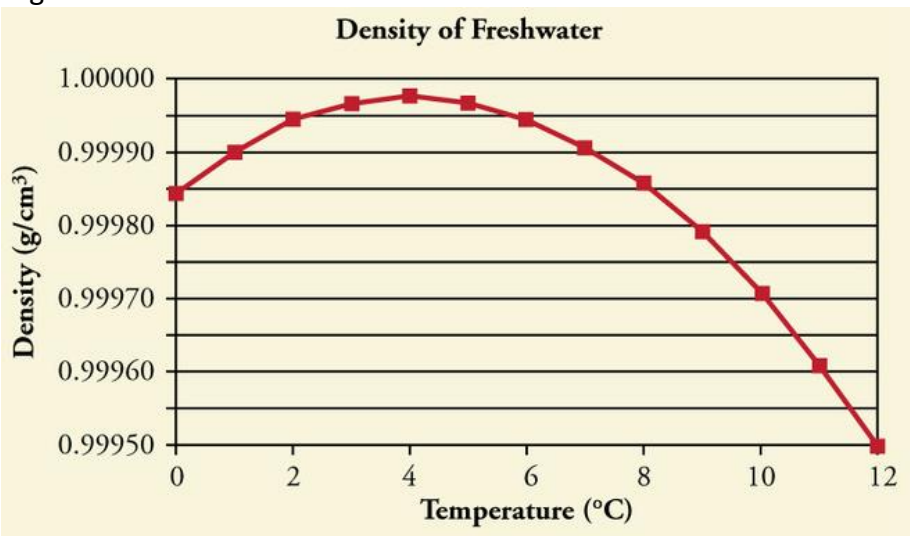
De ligging is een vrij logische factor. Hoe dichter bij de evenaar hoe warmer en groter de bovenste laag is. De warme laag zal kleiner worden naar gelang je dichter bij de polen komt. De warme laag en thermocline zal uiteindelijk verdwijnen als je te dicht bij de polen komt.



Figuur 6.24: thermocline ten opzichte van de breedteligging

6.3.3 Waarom is water het zwaarst bij 4°C

De dichtheid of soortelijke massa van een materiaal is een grootheid die uitdrukt hoeveel massa van dat materiaal aanwezig is in een bepaald volume. ($\rho = \frac{m}{V}$) . Het volume van water is het kleinst bij 4°C. Als je water dan laat opwarmen of afkoelen zal het uitzetten. De massa van het water blijft echter wel gelijk, want we voegen geen watermoleculen toe en nemen er ook geen weg. De massadichtheid is dus het grootst bij 4°C. Het is zeer speciaal dat water uitzet wanneer je het laat afkoelen tot lagere temperaturen, want de meeste vloeistoffen krimpen als ze worden afgekoeld.

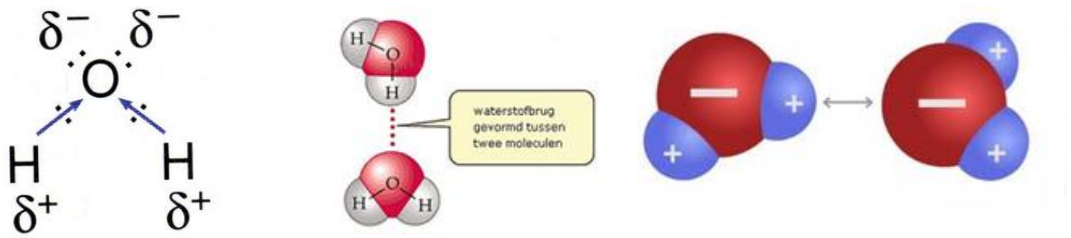


Figuur 6.25: dichtheid in functie van de temperatuur

Als de temperatuur van een stof daalt neemt de thermische bewegingsenergie af en als de temperatuur stijgt neemt de bewegingsenergie toe. De bewegingsenergie is verantwoordelijk voor het trillen van de moleculen. Als de moleculen in een stof weinig trillen nemen ze weinig plaats in en is de stof in vaste toestand. Als ze harder beginnen te trillen, nemen ze meer plaats in, wordt de structuur gebroken en rollen de moleculen over elkaar. De stof is dan vloeibaar. Als de moleculen nog harder trillen duwen ze elkaar nog harder weg en wordt de stof een gas.

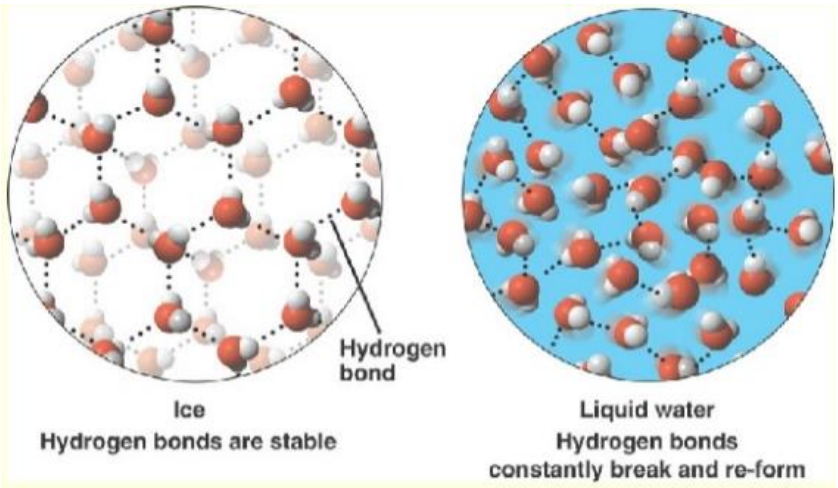
Deze overgangen van aggregatietoestand is ook waar te nemen bij water. Het verschil wat betreft de massadichtheid tussen water en gewone stoffen is te wijten aan het feit dat watermoleculen H-bruggen vormen. Deze H-bruggen worden sterker als de watermoleculen dichter bij elkaar komen te liggen.

Waterstofbruggen ontstaan door het verschil in elektronegativiteit (EN). EN is de kracht waarmee een atoom vreemde elektronen aantrekt. Het zuurstofatoom heeft een grotere EN dan het waterstofatoom in de watermolecule. Hierdoor trekt het harder aan de elektronen waardoor er een negatieve zijde aan het O-atoom ontstaat en een positieve zijde aan alle twee de H-atomen. De positieve zijde van de ene molecule hecht zich aan de negatieve zijde van een andere molecule. Deze bindingen zijn waterstofbruggen.



Figuur 6.26: waterstofbruggen

Bij het vormen van H-bruggen schikken de moleculen zich in een zeshoekige driedimensionale structuur met grote holtes (zie fig. links). Het volume neemt dus toe als er waterstofbruggen worden gevormd.



Figuur 6.27: structuur ijs en vloeibaar water

Als we de temperatuur van water meten, dan meten we eigenlijk de thermische beweging van de watermoleculen. Als we het water laten afkoelen naar 4°C dan neemt die beweging af en komen de moleculen dichter bij elkaar te zitten, waardoor het volume afneemt en dus de massadichtheid toeneemt.

Koelen we verder af, dan merken we dat vanaf 4°C iets raars op: het water zet plots weer uit. Vanaf 4°C komen de watermoleculen zo dicht bij elkaar dat er kans optreedt op het vormen van H-bruggen, wat gepaard gaat met een energiestabilisatie. Het vormen van de H-bruggen is niet echt 'plaats-efficiënt', omdat er grote holtes ontstaan tussen de watermoleculen, maar toch gaat dit door omdat het energetisch gezien interessant is.

Op 4°C bereikt het water dus zijn grootste dichtheid, omdat daar het ideale evenwicht gevonden wordt tussen het vormen van "ijsachtige" groepen van moleculen en de steeds minder wordende thermische beweging. Beneden de 4°C wordt het aandeel van deze "ijs-achtige" brokken in het vloeibare water zo groot dat de hoeveelheid holten in de structuur toeneemt. Het volume neemt dus weer toe vanaf 4°C en de massadichtheid wordt daarmee opnieuw kleiner.

Een interessant gevolg van deze eigenaardige eigenschap van water is dat de temperatuur van het water op de bodem van een meer in de winter bijna altijd 4 ° C is. Dit komt doordat het water met de grootste dichtheid naar de bodem zal zakken. Ook zorgt deze eigenschap ervoor dat ijs drijft op vloeibaar water. Als dit niet het geval zou zijn zouden meren, zeeën en oceanen helemaal dicht vriezen.

6.3.4 Invloed van de thermocline

Bij onze ROV gebruiken we geen sonar. We zullen dus geen rekening moeten houden met het feit dat de thermocline een actieve sonar en andere akoestische signalen kan reflecteren. Bij grote ROV's die wel een sonar gebruiken, moet er daar wel aandacht aan besteed worden.

We zullen wel rekening moeten houden met de snelle verandering van de temperatuur van onze ROV zelf. De vraag luidt of de uitzetting van onze aluminium profielen onze ROV niet kan beschadigen.

Bij lineaire uitzetting geldt de volgende formule: $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$

Daarbij is:
- ΔL de lengtetoename [m]
- α de lineaire uitzettingscoëfficiënt [/K]
- L_0 de aanvangslengte [m]
- ΔT het temperatuurverschil [K]

Bij aluminium profielen geldt $\alpha = 23{,}2 \cdot 10^{-6}$ /K

T_{min}	T (K)	ΔT	L(m)		α (/K)	ΔL(m)		L_{tot}(m)	
269,15	271,15	-2	0,28	0,48	2,32E-05	-1,299E-05	-2,227E-05	0,279987	0,4799777
269,15	273,15	-4	0,28	0,48	2,32E-05	-2,598E-05	-4,454E-05	0,279974	0,4799555
269,15	275,15	-6	0,28	0,48	2,32E-05	-3,898E-05	-6,682E-05	0,279961	0,4799332
269,15	277,15	-8	0,28	0,48	2,32E-05	-5,197E-05	-8,909E-05	0,279948	0,4799109
269,15	279,15	-10	0,28	0,48	2,32E-05	-6,496E-05	-0,0001114	0,279935	0,4798886
269,15	281,1	-12	0,28	0,48	2,32E-05	-7,795E-05	-	0,279922	0,4798664

	5						0,0001336		
269,15	283,1 5	-14	0,28	0,48	2,32E-05	-9,094E-05	- 0,0001559	0,2799091	0,4798441
269,15	285,1 5	-16	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001039	- 0,0001782	0,2798961	0,4798218
269,15	287,1 5	-18	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001169	- 0,0002004	0,2798831	0,4797996
269,15	289,1 5	-20	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001299	- 0,0002227	0,2798701	0,4797773
269,15	291,1 5	-22	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001429	-0,000245	0,2798571	0,479755
269,15	293,1 5	-24	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001559	- 0,0002673	0,2798441	0,4797327
269,15	295,1 5	-26	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001689	- 0,0002895	0,2798311	0,4797105
269,15	297,1 5	-28	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001819	- 0,0003118	0,2798181	0,4796882
269,15	299,1 5	-30	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0001949	- 0,0003341	0,2798051	0,4796659
269,15	301,1 5	-32	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002079	- 0,0003564	0,2797921	0,4796436
269,15	303,1 5	-34	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002209	- 0,0003786	0,2797791	0,4796214
269,15	305,1	-36	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002339	-	0,2797661	0,4795991

	5						0,0004009		
269,15	307,15	-38	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002468	-0,0004232	0,2797532	0,4795768
269,15	309,15	-40	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002598	-0,0004454	0,2797402	0,4795546
269,15	311,15	-42	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002728	-0,0004677	0,2797272	0,4795323
269,15	313,15	-44	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002858	-0,00049	0,2797142	0,47951
269,15	315,15	-46	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0002988	-0,0005123	0,2797012	0,4794877
269,15	317,15	-48	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0003118	-0,0005345	0,2796882	0,4794655
269,15	319,15	-50	0,28	0,48	2,32E-05	-0,0003248	-0,0005568	0,2796752	0,4794432

We hebben de uitzetting berekend tussen de maximum waarden -4°C en 46°C. Bij het profiel van 280 mm is de maximale uitzetting of inkrimping 0,325 mm en bij het profiel van 480 mm is de maximale uitzetting 0,557 mm. We moeten ook in rekening brengen dat de normale lengte of aanvangslengte van de profielen gemeten is ergens tussen deze grenswaarden van -4°C en 46°C. De uitzettingen zullen dus zelfs nog kleiner zijn dan deze maximum uitzettingen, aangezien we steeds starten met een daartussenliggende omgevingstemperatuur. Deze uitzettingen zijn zodanig klein dat ze niet voor problemen zullen zorgen.

7 Bezoeken

7.1 VLIZ

Het VLIZ is een knooppunt voor marien en kustgebonden onderzoek. Als partner in diverse projecten en netwerken ondersteunt en bevordert het VLIZ de internationale uitstraling van het Vlaams zeewetenschappelijk onderzoek en het internationaal marien onderwijs.

7.1.1 Verloop activiteit

We zijn op woensdag 21 oktober naar het VLIZ in Oostende geweest met de trein. Eenmaal daar aangekomen werden we ontvangen door Wim Versteeg. We hadden eerder al contact gelegd met die man via e-mail. Mevrouw Delaere had dan voor ons verder afgesproken.

Figuur 7.1: ROV VLIZ

We zijn van start gegaan met een korte uitleg over wat het VLIZ doet. Daarna zijn we gaan kijken naar hun ROV. Deze wordt gebruikt door universiteiten en bedrijven die het geld niet hebben om personeel te betalen en een ROV te ontwikkelen. Het is in feite een ROV die zeer flexibel is. Dit is nodig omdat hun toestel wordt gebruikt door verschillende instanties die er elk hun eigen ding mee willen doen. Verder hebben we ook wat meer technische info gekregen over hun ROV.

We kregen ook de kans om met een ROV te “vliegen” (bij een ROV spreken ze van flying i.p.v. varen). Het was een model ter grootte van onze ROV. Ze gebruikten deze enkel voor observatie in meren en traag stromende rivieren en op opendeurdagen . Zij omschrijven dit klein model als “speelgoed”. Deze kleinere ROV kan niet gebruikt worden in wateren met grote stromingen, omdat deze te licht is en zo onmiddellijk zou worden weggespoeld door de stroming.

Figuur 7.2 kleine ROV VLIZ

Ook hebben een kijkje mogen nemen in de besturingskamer van de ROV. Dit is een ruimte met verschillende grote schermen waarbij men de bewegingen van de ROV kan volgen aan de hand van geluidsgolven en verschillende camera’s. Ook kan met vanuit hier alle functies van de ROV besturen en monitoren. Er zijn altijd 2 mensen die in de kamer aanwezig zijn, iemand die de ROV bestuurd en iemand die aanwijzingen geeft aan de hand van de informatie die hij terugkrijgt van de sonar. Er is ook altijd een team wetenschappers mee aan boord dat via walkietalkie in contact staat met de controlekamer.

7.1.2 Besluit

Deze activiteit was zeker zinvol in het kader van onze GIP. We leerden veel bij over het algemeen principe van een ROV. Specifieke vragen over berekeningen konden we jammer genoeg niet stellen. Dit kwam omdat zij hun ROV aankopen en niet zelf van begin tot einde ontwerpen. We zullen dus nog verder moeten zoeken naar bedrijven/personen die ons willen ondersteunen met de nodige kennis.

7.2 Europort

Op vrijdag 6 november ben ik (Hendrik) met m'n vader naar de beurs Europort geweest. Ik ben op het idee gebracht tijdens ons bezoek aan het VLIZ. De man die ons daar de rondleiding heeft gegeven heeft ons aangeraden om naar deze beurs te gaan omdat alle bedrijven die werkzaam zijn in de maritieme sector daar aanwezig zijn.

Figuur 7.3: logo Europort

Tijdens de beurs hebben we alle beurshouders bezocht. Als we langer bleven kijken naar een bepaald product kregen we direct uitleg over de firma en het product. Dit komt omdat de beurs bedoeld is voor professionelen en niet voor mensen die maar eens komen kijken. Met dit in het achterhoofd vertelden we telkens dat ik voor mijn eindwerk een ROV moest ontwerpen. Steeds was er interesse om advies te geven en kregen we contactgegevens van deze firma's en personen. Meestal waren dit bedrijven die niet relevant zijn voor ons project. Ook hebben we alle bedrijven gesproken die bezig zijn met ROV's, waaronder: Seascape, MacArtney, SubConn, ROV-service deepvision.

7.2.1 Deepvision

ROV-service Deepvision is een bedrijf dat vooral inspectie doet van bijvoorbeeld watertanks. De ROV kan ook uitgerust worden met een grijparm en sonar. Ook hebben zij een simulator voor de opleiding van nieuwe piloten. Ik heb ook eens met deze simulator mogen werken. Wat mij is opgevallen is dat het zicht onder water zeer beperkt is en dat een sonar een vereiste is bij het gebruik in vuil water. Het probleem met sonar is dat deze zeer moeilijk te interpreteren valt als je hiermee nog nooit hebt gewerkt.

Figuur 7.4: logo Deepvision

7.2.2 Seascape

Seascape is een bedrijf dat verdeler is van componenten voor de onderwaterwereld. Zoals thrusters, connectors, verlichting, camera's, … ook zijn zij verdeler van Seabotix. Seabotisx is een producent van ROV's. Omdat ze ook umbellicals leveren zijn ze voor ons zeer interessant, want wij hebben dit ook nodig. Ik heb met Martijn Juijn gesproken, dit is de baas van Seascape. Hij heeft ons verteld dat het bestellen van een umbellical gebeurt aan de hand van specifieke eisen van de klant. Hij wist te vertellen dat wij hem altijd mogen contacteren om na te vragen wanneer ze nog een umbellical op overschot

Figuur 7.5: logo Seascape

zouden hebben. Deze zouden we dan eventueel mogen hebben. Ze zijn ook bezig met de ontwikkeling van hun eigen ROV. Ze wisten ons te vertellen dat wij voor ons project best gebruik maken van een UTP kabel voor de sturing van onze rov. Omdat zij ook een thrusters nodig hebben voor hun ROV hebben ze ook geïnformeerd voor thrusters. Ze zijn ook op de site van “blue robotics” terechtgekomen. Volgens hen waren dat de goedkoopste thrusters op de markt.

7.2.3 MacArtney & Subconn

MacArtney is een bedrijf dat gespecialiseerd is in onderwatertechnolog ontwikkelen. Zij ontwikkelen camera’s, verlichting, kabels en connectoren. Subconn is het onderdeel dat zich specialiseert in connectoren.

Figuur 7.6: logo Subconn

De persoon die ik daar heb gesproken is Ron Voerman. Dit is de directeur van MacArtney Benelux. Hij toonde ook interesse voor ons project. We konden steeds een korting krijgen als wij ooit onderdelen zouden nodig hebben. Het enige probleem is dat de basisprijs zeer hoog ligt, dus met een korting is dit nog steeds vrij duur. Er stond op hun stand ook een mooie opstelling die voor ons ook zou van toepassing zou kunnen zijn. Het was een printplaat met LED’s die is ingegoten in doorzichtige polyurethaan, waardoor ze waterbestendig zijn en gewoon in het water kunnen worden gebruikt. Ron heeft toen hij school liep ook een ROV gemaakt dus als we vragen hebben kunnen we altijd eens polsen bij hem.

Figuur 7.7: logo MacArtney

7.3 D.E.C.O.

Op woensdag 20 maart, zijn we met onze groep op bedrijfsbezoek geweest bij DECO.

Figuur 7.8: logo Deco

Dit is een bedrijf dat gespecialiseerd is in het bergen van scheepswrakken, ontmantelen van olieplatformen, en actief is in de sector van de hernieuwbare energie.

Wij hebben DECO bezocht in functie van onze GIP naamelijk voor hun ROV’s. Toen we daar aankwamen hebben we eerst een korte presentatie gekregen over wat het bedrijf juist allemaal doet en hoe het bedrijf in elkaar zit.

DECO heeft zelf een 3 à 4-tal ROV’s die voornamelijk gebruikt worden voor observatiewerken. De bedoeling is om in de toekomst verder te investeren in ROV’s. Dit zouden dan werkklasse

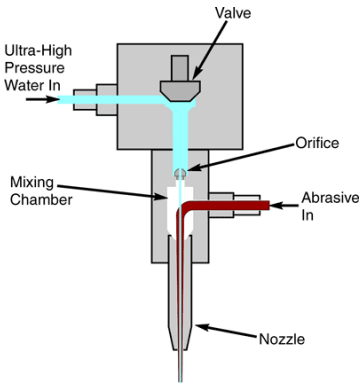
ROV's zijn, maar dit is volgens de persoon die ons heeft rondgeleid bijna onmogelijk om in deze markt door te breken als nieuweling.

Figuur 7.9: ROV DECO

We mochten ook binnen kijken in de werkplaats waar de ROV's hersteld worden en cockpit van waar een bepaalde ROV bestuurd wordt. Dit was een goed uitgeruste container waarin verschillende flatscreen tv's hingen, om alle bewegingen van de ROV te monitoren.

Dit was niet het einde van ons bezoek.

Het bedrijf werkt steeds in onderaanneming van grotere bedrijven. Meestal komt een bedrijf naar hen toe met een specifieke vraag om een welbepaalde machine te ontwerpen. Hierdoor is het bedrijf een marktleider in het ontwerpen van snij-installaties.



Figuur 7.10: kop van watersnijder

Veel van deze machines zijn dus maar gemaakt voor één specifiek project, en liggen daar nu wat te verkommeren. Het was wel interessant voor ons want wij kregen bij zo goed als alle machines een technische uitleg.

Op het moment dat het bezoek wat ten einde liep waren enkele werknemers bezig met het testen van een snij-installatie.

De snijtechniek die ze hanteren is gebaseerd op water die men onder hoge druk door een mondstuk perst. In dat mondstuk wordt het water gemengd met kleine granulen van robijnen. Deze combinatie zorgt dat men op een zeer efficiënte manier door zeer dikke materialen heen kan snijden.

In het algemeen was dit een zeer geslaagd bedrijfsbezoek. Over ROV's in het algemeen hebben wij niet veel meer bijgeleerd, maar wel over de sector waarin deze gebruikt worden. Het is een zeer exclusieve sector, waar veel geld in omgaat en alles zo snel mogelijk moet gebeuren. Daarom dat er ook steeds een reserve ROV aanwezig is tijdens een project. Als afsluiter hebben we nog en pet en balpen gekregen.

8 Testen

8.1 Testen motoren

Januari '16:

Toen wij onze motoren hebben ontvangen, hebben wij deze direct in water gebracht en hun stroomverbruik bekeken.

Eenmaal we de mogelijkheid hadden om de motoren om te bouwen, hebben wij deze omgebouwd en opnieuw getest op stroomsterkte.

Het verloop hiervan staat beschreven in het labo.

8.2 Testen programma

Februari '16:

We hebben van Meneer Werkbrouck een h-brug gekregen (LN298N). Deze hebben wij gebruikt om ons programma te testen. Dit weliswaar met andere motoren, dan onze omgebouwde dompelpompen. Wat op zich geen probleem is, want in het programma wordt geen rekening gehouden met de grootorde van het geschakelde vermogen.

In het begin, doken er heel wat problemen op met het programma. Zoals pinnen die een verkeerde naam kregen in het programma en verkeerde aansluiting van de pinnen op zowel h-brug als Arduino.

De oorzaak van deze problemen moeten wij niet ver zoeken. Dit kwam door onze onervarenheid. Wij waren nog niet vertrouwd met het programmeren, dus alles was nieuw.

We hebben ook onze temperatuursensor getest en deze werkte zonder al te veel problemen.

8.3 Testen waterdichtheid

maart '16:

Toen we de elektronicabehuizing hebben ontvangen van Spie, hebben wij deze getest op waterdichtheid. We hebben hem in een bak met water ondergedompeld.

Hij bleek waterdicht te zijn na deze test. Achteraf is gebleken dat bij langere onderdompeling er toch water binnen sijpelt.

8.4 Testen programma

April '16:

Eenmaal we de h-bruggen hebben ontvangen die geschikt zijn voor onze motoren, hebben wij deze aangesloten. Dit was de eerste keer dat we ons programma konden testen met de motoren die we effectief gaan gebruiken.

Hier deed zich het probleem voor dat de regelbare bron kortsluiting aangaf. Om het probleem te zoeken, hebben wij de kabel uitgemeten op zoek naar kortsluiting en ook de h-brug uitgemeten op zoek naar kortsluiting. Dit was zonder succes. We hebben dan een andere bron genomen, waarmee het probleem van de baan was.

8.5 Testen waterdichtheid

Mei '16:

Na het bevestigen van de wartels, hebben wij onze elektronica in de behuizing gestoken. De achterkant van de wartels hebben wij opgespoten met silicone, omdat wij zagen dat deze dan toch niet zo waterdicht leek als ons verteld werd.

Figuur 8.2: dichting waar temperatuursensor tussen zat

De dag nadien heeft Flor dit geheel in het zwembad van zijn buurman gebracht.

Figuur 8.1: ROV ondergelopen

Hier is het namelijk fout gelopen. Bij het sluiten van de flenzen hebben wij niet gemerkt dat de draad van onze temperatuursensor tussen de rubber en de flens zat. Al onze elektronica stond onder water.

Wij hebben dan al onze elektronica in een kom rijst gelegd. Dit bleek niet genoeg te zijn, want wanneer we alles opnieuw aansloten. Werkten de motoren in schokken. Op meneer Geeraert's advies hebben wij alles in de oven gestoken op 60°C., waardoor al het water verdampte. Deze methode bleek te werken en al onze elektronica werkte opnieuw.

Figuur 8.3: drogen elektronica in oven

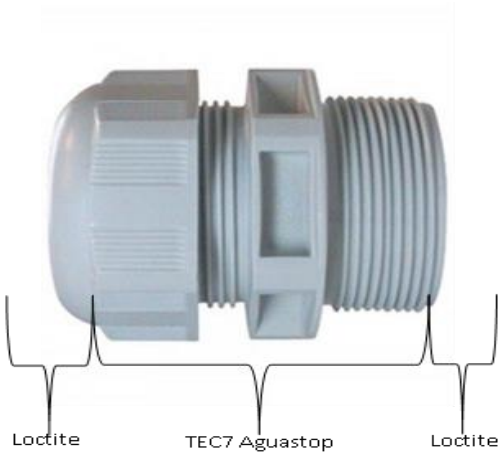
8.6 Testen waterdichtheid

Mei '16:

Ditmaal sluiten wij de ROV opnieuw af op dezelfde manier af als vorige keer.

Nogmaals bleek onze ROV niet waterdicht te zijn. Wat als gevolg heeft dat wij onze elektronica op reeds beschreven manier moesten proberen te redden. Wat ons gelukt is. De reden van het slagen ligt bij het feit dat de elektronica niet onder spanning staat, waardoor er geen componenten kunnen verbranden door kortsluiting.

We gingen ditmaal wat grondiger te werk om de oorzaak te zoeken. We vonden diverse plaatsen waarlangs het water binnenliep.



Figuur 8.4: oplossing voor wartels

8.6.1 Wartels

De wartels (IP68) bleken niet waterdicht te zijn. Het water kon nog steeds via de kabel door de wartel naar binnen. Dit hebben wij opgelost door alle wartels te vervangen. Ook hebben wij de twee UTP-kabels samen met twee kabels van een motor door één enkele wartel gestoken. De achterkant van de wartel hebben wij dan volledig opgegoten met kaarsvet (zie figuur). Met daarbovenop Loctite SI 5926 gespoten. Als extra zekerheid hebben wij de bovenkant –de kant die direct in contact staat met water -ook bedekt met dezelfde Loctite.

8.6.2 Flenzen

Het water liep nog steeds via de flenzen naar binnen. Ondanks we gecontroleerd hebben dat er geen kabel meer tussen de dichting zat. De oorzaak van dit probleem zijn de flenzen, ze zijn gemaakt van kunststof en zijn dus vervormbaar.

Wanneer we de flens dus aanspannen blijft hij niet mooi vlak zoals we wensen maar wordt deze in kleine mate gebogen, waardoor er een opening ontstaat. Langs deze opening komt er dus ook water binnen.

Figuur 8.6: theoretische werking flens

Figuur 8.5: effectieve werking flens

Dit probleem hebben wij proberen op te lossen door andere dichtingen te gebruiken. Deze gaven allemaal hetzelfde probleem.

Als uiteindelijke oplossing hebben wij opnieuw gebruik gemaakt van dezelfde Loctite als bij de wartels. Deze lost ons probleem op, omdat ze hecht aan het plastic en veel vervormbaarder is dan de rubberen dichting. Wat dus wil zeggen dat wanneer de flens bol komt te staan, de silicone de vorm mee aan neemt, waardoor er geen openingen meer ontstaan.

Figuur 8.7: flens met Loctite

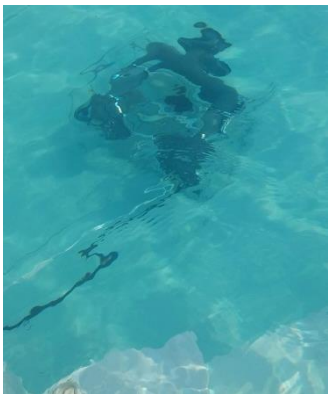
Figuur 8.8: oplossing met Loctite

8.6.3 Elektronicabehuizing

De plaatsen waar de stukken buizen aan elkaar gezet worden, vertoonden lekken. Dit hebben we simpelweg opgelost door PVC-lijm over de naden te smeren, dit bleek voldoende om het water tegen te houden.

8.7 Testen waterdichtheid

In deze test zijn alle aanpassingen gebeurd, zoals hierboven beschreven. We hebben de ROV nogmaals in een zwembad gelegd. Deze test heeft een half uur geduurd. Wanneer we de ROV opnieuw boven water haalden, en hem kantelden, zodat al het water naar de plexiplaat aan de voorkant zou lopen. Zagen we dat er water zichtbaar was achter de plexiplaat. Dit leidt tot de conclusie dat de ROV waterdicht is.



Figuur 8.9: ROV in zwembad

8.8 Testen geheel

<u>Mei '16:</u>

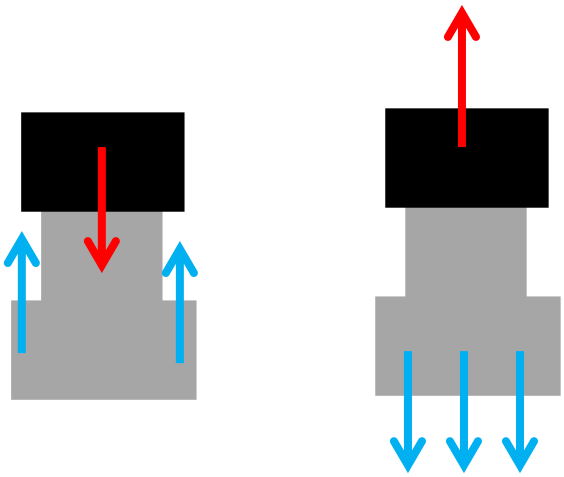
8.8.1 Opendeurdag

Deze test vond plaats op de opendeurdag van de school. Hier hadden wij een zwembad opgesteld, waar wij onze ROV konden in testen.

Eerst hebben wij alles terug geassembleerd en de elektronica nog eens getest.

<u>Balancering:</u> We hebben de ROV dan in het water geplaatst en gekeken naar het gedrag in water. Dit is nodig om te kijken als de ROV neutraal is in water en hij niet scheef hangt in het water. We merkten op dat de voorkant omhoog kwam en de achterkant naar beneden zakte. Dit hebben we opgelost door vooraan de ROV ballast aan te brengen en aan de achterkant een stuk piepschuim, die zorgt voor extra drijfvermogen.

Dan hebben wij met de ROV rondgevlogen en gekeken naar de bewegingen onder water (wendbaarheid, snelheid, stijgen, dalen…). We hadden weer hetzelfde probleem, dat de bron aangaf dat er een kortsluiting was. We wisten dat het nemen van een andere bron het probleem kon verhelpen, dus hebben wij dat gedaan en heeft dit probleem zich niet meer voorgedaan de rest van de namiddag.



Figuur 8.10: motor dalen/stijgen

We waren blij verrast, dat de ROV zo wendbaar en elegant door het water bewoog. We waren echter niet tevreden met de manier waarop hij steeg in het water. Dit ging volgen ons te traag. Dit wilde zeggen dat er meer kracht nodig is om te stijgen, dan om te dalen. We hebben dit opgelost door de motor die zorgt voor de stijging en

daling, om te draaien. Waardoor meer kracht werd gegeven bij het stijgen, dan hij het dalen. Deze aanpassing is voldoende om de ROV naar wens te doen stijgen en dalen.

Error: Na een korte tijd kregen wij een error op de laptop. Deze error is omtrent de sturing van de Arduino en de Webcam. Wanneer deze error verschijnt blijft de ROV voortbeweging en valt niet stil, de webcam verliest ook signaal.

Een opmerkelijk iets is dat deze error zicht alleen maar voordoet onder water. We hebben, wanneer de ROV uit het water was, de UTP-kabel geplooid om te kijken als er al dan niet een slecht contact is. Dit is niet het geval.

We hebben ook de spanning verlaagd waarop de ROV werkt. De error komt nu slechts nog zeer zelden voor. We kunnen niet direct verklaren waarom de error beperkt wordt door de spanning te verlagen. De getrokken stoom is dus lager omdat de spanning lager ligt. Dit zou ook een reden kunnen waardoor hij uit het water wel werkt. Door de weerstand van het water vloeit er meer stroom in het water dan uit het water. Maar nogmaals we kunnen geen reden geven waarom de data een error geeft, wanneer er meer stroom vloeit.

Waterlek: Nadat de ROV een tijd in het water heeft gelegen controleren we de ROV op waterdichtheid. Dit doen we door de ROV te kantelen, zodanig dat al het water naar voor loopt. Dit bleek het geval te zijn, er stond een minimale hoeveelheid water in de ROV. Wij hebben echter besloten om verder te doen ondanks deze kleine hoeveelheid water. Dit gaf enkel het probleem dat het water verdampte in de elektronicabehuizing en dan condenseerde op het plexiglas, waardoor ons zicht verminderde.

We kunnen de oorzaak hiervan wijden aan het kaarsvet. Wanneer er aan de umbellical getrokken of bewogen wordt, vervormt het kaarsvet. Het kaarsvet is niet meer vloeibaar en blijft dus vervormd en sluit zich niet meer rond de kabel. Dit is de reden waarom er een kleine hoeveelheid water kan binnenlopen.

8.8.2 GP-awards

In diezelfde week, vonden de GP-awards plaats. We besloten om onze ROV nog eens te testen, enkele dagen voor we naar de beurs trokken. We stelden vast dat de bron opnieuw een kortsluiting gaf. We dachten dat dit aan de bron lag, dus namen we een andere bron, om het probleem op te lossen. Dit bleek niet te werken. Daarop volgend hebben we de ROV terug open gedaan, en alles uitgemeten. Hier bleek een H-brug kortsluiting te geven. We vermoedden het ergste, omdat alles geoxideerd was. Wat te wijten valt aan het feit dat wij het water die in onze ROV stond, na de opendeurdag niet hebben uitgegoten, maar in de elektronicabehuizing hebben laten zitten.

We herhaalden dus weeral onze reeds gekende droogtechniek, in de hoop alles weer operationeel te krijgen tegen de GP-awards. Nadat alles gedroogd is, hebben we de ROV opnieuw getest. Met een tegenslaand resultaat. Geen enkele motor werkte nog.

We dachten dit echter op te lossen door de kleine h-bruggen te gebruiken, die we in het begin gebruikt hebben om ons programma te testen. Deze zijn te licht om onze motoren te schakelen in het water, maar omdat we ze op de beurs laten draaien op het droge, zouden ze in feite wel in staat moeten zijn om onze motoren te schakelen. Na aansluiting bleek dit toch niet zo goed t werken.

Toen heef de leerkracht van elektriciteit-elektronica, onze h-bruggen uitgemeten, en zei dat er niets ongewoon is. Na deze opmerking hebben wij onze h-bruggen opnieuw aangesloten en aangestuurd. Alles werkte weer zoals verwacht.

De ROV heeft heel de beurs de temperatuur gemeten, beelden doorgestuurd en af en toe een demo gegeven met de motoren te doen draaien. Dit alles is zonder problemen gegaan.

9 Handleiding

Om de ROV te bedienen moeten er enkele stappen ondernomen worden. Eerst en vooral hardware en dan nog software.

9.1 Hardware

De twee bananenstekkers moeten ingeplugd worden in de bron. De rode stekker in de plusklem en de zwarte in de minklem.

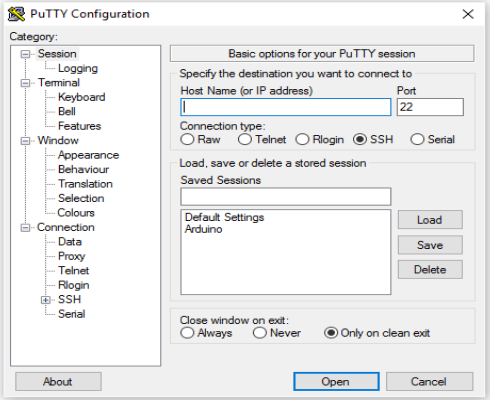
Dan sluit je de twee UPT-kabels aan op de USB-extenders en plug je deze in op de USB-poorten van de computer.

Als dit gebeurd is kan je beginnen met de software.

9.2 Software

9.2.1 Arduino

Eerst, open het programma **"Putty".** Met dit programma wordt de software in de Arduino geladen en open je het venster waarop je de temperatuur kan aflezen.



Wanneer je het programma opent, kan je verschillende zaken invullen.

- Connection type: Serial
- Serial line: COM (dan nummer waarop de usb poort van de Arduino is aangesloten)
- Speed: 9600 baud

Klik dan op **"Open"**

```
~=~=~=~=~=~=~=~=~=~=~= PuTTY log 2016.05.20 13:05:53 =~=~
Time:  0:45  Temperature: 20.4C   0   0   0
Time:  0:0   0   0
0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
Time:  8:59  Temperature: 20.5C   0   0   0
```

Dit venster komt open zodra we op "Open" hebben geklikt.

Hierop kunnen we de temperatuur aflezen en ook hoe lang het programma al aan het lopen is.

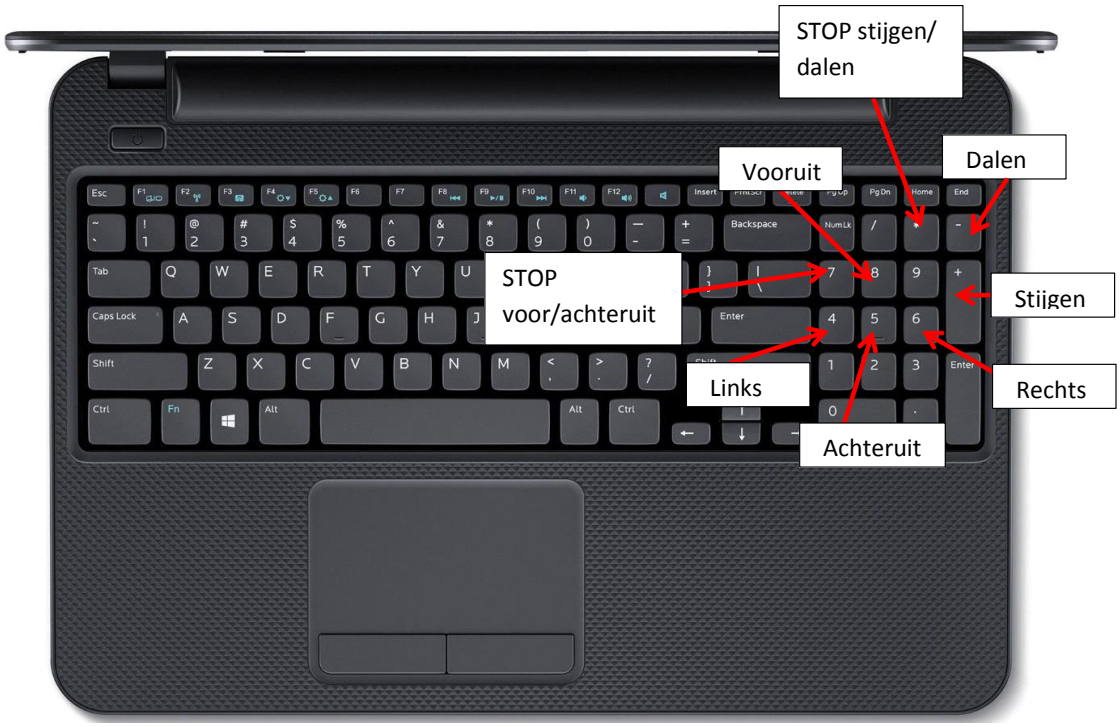
De besturing van de ROV gebeurd

via het toetsenbord van de laptop. Het numeriek toetsenbord om specifiek te zijn.

Let wel, de snelheid gebeurt stapsgewijs. Wanneer je de “8 “ één keer induwt, dan gaat de ROV zeer traag vooruit. Wanneer je de knop blijft induwen, gaat hij sneller vooruit. Dit geldt ook voor links, rechts en achteruit.

“*” zorgt ervoor dat de ROV stopt met stijgen of dalen.

“7” zorgt ervoor dat de ROV stopt met bewegen in het horizontaal vlak.

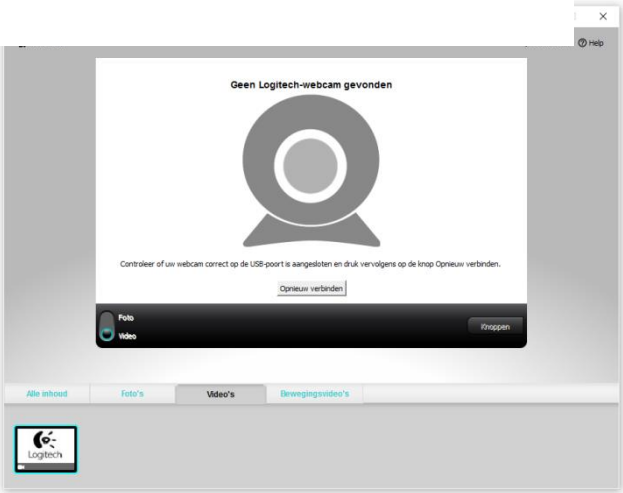


Figuur 9.1: besturing voor laptop

9.2.2 Webcam

Om de webcam te openen, open je het programma: **“Logitech webcam software”.**

Dan klik je op snel vastleggen, daarna verschijnt het beeld van de webcam op het scherm.



Figuur 9.2: startscherm webcam

10 Kosten

10.1 Gemaakt op school

Deze stukken werden gemaakt op school in de werkplaats en houdbewerking.

Omschrijving	Aantal	Stukprijs (€)	Totaalprijs (€)
Koppelstukjes	3	0	0
Plexiplaat	1	0	0
Afschermkapjes propellers	3	0	0

10.2 Gekregen van school

Dit zijn de stukken die wij hebben gekregen van school. Hier moesten wij niets voor betalen.

Omschrijving	Aantal	Stukprijs (€)	Totaalprijs (€)
Staalkabel 50m	1	0	0
UTP-kabel 20m	2	0	0
Voedingskabel 3*2,5 20m	1	0	0
Wartel IP68 M18x1,5	1	0	0
Wartel IP68 M20x1,5	4	0	0
Bouten M8x50 imbus cilindrische kop	12	0	0

Spiraal wrappingbands (kabels samen houden)	1	0	0
Stelschroeven M3x0,5	3	0	0
Loctite SI 5926	1	0	
Bouten hoekstukjes M5	12	0	0

10.3 Sponsors

Een deel van de stukken die wij hebben is gesponsord geweest. Dit houdt in dat het gaat om stukken die gemaakt worden buiten school. De bedrijven /personen die deze stukken leveren aan ons doen dit uit sympathie voor school en vragen dus geen vergoeding.

Omschrijving	Aantal	Stukprijs (€)	Totaalprijs (€)	Bedrijf
Beugels 52-45	3	0	0	Spie
Beugels 80-74	4	0	0	Spie
Elektronicabehuizing	1	0	0	Spie
Pompje staal name	1	0	0	Braem
Temperatuursensor ds18b20	1	0	0	Hendrik
Overgang USB → micro-USB	1	0	0	Benjamin
Webcam	1	0	0	Simon

Figuur 10.1 logo Braem

Figuur 10.2 logo Spie

10.4 Gekocht

Deze stukken hebben wij aangekocht bij externe firma's. Het gaat hier om stukken die niet courant genoeg zijn om in het magazijn aanwezig te zijn en om specifieke stukken die specifiek zijn voor ons project.

Omschrijving	Aantal	Stukprijs (€)	Totalprijs (€)
Temperatuursensor D18b20	1	3,99	3,99
Scheepsschroef 3-blad	3	5,09	15,27
Silicone Soudall waterdicht	1	7,5	7,5
Druksensor MPX5700	1	31,33	31,33
USB-extenders SB2060	2	42,82	85,64
Bilge pomp Johnson L650 24V	3	65,85	197,55
Arduino Leonardo	1	70,9	70,9
H-bruggen ($23.99; Amazon)	2	21,52	43,04
Temperatuursensor ds18b20 waterdicht (bleek kapot te zijn)	1	3,99	3,99
Verzonken schroef M5x10 DIN7991	8	0,04	0,32
Bouten inox M10x30 ISO 4017	7		2,5
Moer M4 inox	3		

Bouten verzonken kop M5x20	8		
Teflon op rol	1	1,45	1,45
Moer - WHM M5 (glijmoeren)	12	0,46	5,52
Hoekstukjes (voor profielen 20x20)	6	2,57	15,42
Profielen Esaey-systems 20x20 1m	3	4,06	12,18
Kaarsen (om in wartels te gieten)	8	0,363	2,90
Schuurpapier korrel 600	1	1,80	1,80
Schuurpapier korrel 400	1	1,80	1,80
Schuurpapier 3 verschillende korrels	1	5,15	5,15
500ml autowax	1	8,50	8,50
Carrosserie rondsel	24	0,383	9,19
TOTAAL			525,94

Er is voor 525,94 euro aan stukken aangekocht bij externe firma's en het magazijn van school. Dit is de totale kostprijs van onze GIP.

11 Figuren

Figuur 1.1: Opmeten van een gezonken kanon. 12

Figuur 1.2: Trencher-ROV 12

Figuur 1.3: Ontginnings-ROV 13

Figuur 1.4: Live Boating & TMS 13

Figuur 2.1: Een gehavende whitehead testtorpedo. 15

Figuur 2.2: Lancering van de Whitehead torpedo. 16

Figuur 2.3: Doorsnede whitehead Torpedo 16

Figuur 2.4: Dimitri Rebikoff met zijn Poodle 18

Figuur 2.5: Cutlet 18

Figuur 2.6: Curv III 19

Figuur 2.7: Curv I 19

Figuur 2.8: legertop met waterstofbom 20

Figuur 2.9: teruggevonden waterstofbom 20

Figuur 2.10: reddingsactie Pisces III 21

Figuur 2.11: besturingspaneel MOBOT 22

Figuur 2.12: MOBOT 22

Figuur 2.13: te water laten MOBOT 23

Figuur 2.14: RCV-150 met TMS 23

Figuur 2.15: RCV-150 en RCV-225 23

Figuur 2.16: RCV-225 24

Figuur 2.17: ROV voor mijnjagen 25

Figuur 2.18: ROV ingezet door politie 25

Figuur 3.1: Eerste ontwerp 26

Figuur 3.2: Tweede ontwerp 27

Figuur 3.3: Derde ontwerp 27

Figuur 3.4: Vierde ontwerp 27

Figuur 3.5: Vijfde ontwerp 28

Figuur 3.6: Zesde ontwerp 28

Figuur 3.7: Waterdichte doorvoering met behulp van epoxy en draaidop. 32

Figuur 3.8: Waterdichte doorvoering met behulp van holle bout. 33

Figuur 3.9: Opbouw wartel 33

Figuur 3.10: drijvend voorwerp met gelijke massadichtheid 34

Figuur 3.11: drijvend voorwerp met zware onderkant 36

Figuur 3.12: drijvend voorwerp met zware onderkant en lichte bovenkant 36

Figuur 3.13 weerstandcoëfficienten van basisvoorwerpen 54

Figuur 3.14: Rotatiemoment i.f.v. 57

Figuur 3.15: onderdelen schroef 58

Figuur 3.16: bijkomend schroefeffect 58

Figuur 3.17: tipwervelcavitatie 58

Figuur 3.18 schade door cavitatie 59

Figuur 3.19: Schip met twee driebladsschroeven en één vierbladsschroef met grotere diameter 59

Figuur 3.20: spoed/slip 60

Figuur 3.21: kortstraalbuis 60

Figuur 3.22: verstelbare schroef 61

Figuur 3.23: klapschroef 61

Figuur 3.24: vaanstandschroef 61

Figuur 3.25 torpedo 61

Figuur 4.1: bilgepomp Johnson L650 73

Figuur 4.2: pomp zonder omhulsel 73

Figuur 4.3: impellor juiste draai zin 74

Figuur 4.4: impellor foute draai zin 75

Figuur 4.5: linkerhandregel 79

Figuur 4.6: verschillende fases gelijkstroommotor 81

Figuur 4.7: kwik of alcoholthermometer 97

Figuur 4.8: bimetaalthermometer 98

Figuur 4.9: stralingspyrometer 98

Figuur 4.10: principe thermokoppel 98

Figuur 4.11: karakteristiek Pt100 99

Figuur 4.12: Symbool 99

Figuur 4.13: opbouw thermistor 100

Figuur 4.14: karakteristiek NTC-weerstand 100

Figuur 4.15: karakteristiek PTC-weerstand 101

Figuur 4.16: thermistor ds18b20 103

Figuur 4.17: Blokschema temperatuursensor 103

Figuur 4.18: parasite power aansluiting 104

Figuur 4.19: ontladen condensator 104

Figuur 4.20: laden condensator 104

Figuur 4.21: klassieke aansluiting 105

Figuur 4.22: one wire bus zonder pull-up 105

Figuur 4.23: one wire bus met pull-up 106

Figuur 4.24: inwendige werking sensor 107

Figuur 4.25: one wire twee sensoren 107

Figuur 4.26: waterbestendige temperatuursensor ds18b20 108

Figuur 4.27: praktische realisatie temperatuurmeting 109

Figuur 4.28: soorten drukken 110

Figuur 4.29: Bourdon-buis manometer 110

Figuur 4.30: principe aansteker 111

Figuur 4.31: piëzoresistieve halfgeleider 112

Figuur 4.32: wheatstone brug 112

Figuur 4.33: principe spanning deling 114

Figuur 4.34: druksensor 115

Figuur 4.36: blokschema druksensor 115

Figuur 4.35: pinconfiguratie sensor 116

Figuur 4.37: druksensor in combinatie met de Arduino 116

Figuur 4.38: karakteristiek druksensor 117

Figuur 4.39: druksensor MPX5700 ASX 118

Figuur 4.40: praktisch schema staalname 118

Figuur 4.41: sproeivloeistofpompje 118

Figuur 5.1: chemische eigenschappen kwik 125

Figuur 5.2 polariteit water 126

Figuur 5.3: waterzuiveringsinstallatie 127

Figuur 5.4 Gemiddeld verbruik per persoon per dag in liter 128

Figuur 5.5: indicator fosfaat 131

Figuur 5.6: indicator nitraat 132

Figuur 5.7: indicator nitriet 133

Figuur 5.8: indicator ammonium 135

Figuur 5.9: EDTA 138

Figuur 5.10 sfeerbeeld titratie 143

Figuur 5.11: spectrometer 144

Figuur 5.12: principe spectrometrie 145

Figuur 5.13: cuvetten 145

Figuur 5.14: waterstaal groep 1 146

Figuur 5.15: waterstaal groep 2 147

Figuur 6.1 Lichtbreking in prisma 149

Figuur 6.2 Elektromagnetisch spectrum 149

Figuur 6.3 Transversalen en longitudinale golf 150

Figuur 6.4 Elektromagnetische golf 150

Figuur 6.5 Ellipsvormig licht 151

Figuur 6.6 Cirkelvormig licht 151

Figuur 6.7 Lineair licht 151

Figuur 6.8 Dieptebereik licht in water 151

Figuur 6.9 We zien hier dat de kleur van de linkse duiker blauw is. Dit komt omdat de rode kleur rood niet meer aanwezig is in tegenstelling tot de rechtse waarbij het rode licht wel nog aanwezig is. 152

Figuur 6.10 Rayleighverstrooiing 152

Figuur 6.11 Golfbeweging rood en blauw licht 153

Figuur 6.12: rood en blauw licht 153

Figuur 6.13: lichtbreking boven- en onderwater 154

Figuur 6.14: lichtbreking door duikbril 155

Figuur 6.15 object ver 157

Figuur 6.16: object dicht 157

Figuur 6.17: verkleind gezichtsveld door lichtbreking 158

Figuur 6.18: thermocline 159

Figuur 6.19 rimpelingen door thermocline 160

Figuur 6.20: verplaatsing warm water geologisch..... 160

Figuur 6.21: verplaatsing warm water..... 160

Figuur 6.22: warmte in de wereld doorheen het jaar 162

Figuur 6.23: thermocline in vijver..... 162

Figuur 6.24: thermocline ten opzichte van de breedteligging 163

Figuur 6.25: dichtheid in functie van de temperatuur 163

Figuur 6.26: waterstofbruggen..... 164

Figuur 6.27: structuur ijs en vloeibaar water 165

Figuur 7.1: ROV VLIZ 169

Figuur 7.2 kleine ROV VLIZ..... 169

Figuur 7.3: logo Europort..... 171

Figuur 7.4: logo Deepvision 171

Figuur 7.5: logo Seascape 171

Figuur 7.6: logo Subconn 172

Figuur 7.7: logo MacArtney 172

Figuur 7.8: logo Deco 172

Figuur 7.9: ROV DECO 173

Figuur 7.10: kop van watersnijder 173

Figuur 8.1: ROV ondergelopen 175

Figuur 8.2: dichting waar temperatuursensor tussen zat 175

Figuur 8.3: drogen elektronica in oven..... 175

Figuur 8.4: oplossing voor wartels..... 176

Figuur 8.5: effectieve werking flens 177

Figuur 8.6: theoretische werking flens 177

Figuur 8.7: flens met Loctite 177

Figuur 8.8: oplossing met Loctite 177

Figuur 8.9: ROV in zwembad 178

Figuur 8.10: motor dalen/stijgen 178

Figuur 9.1: besturing voor laptop 182

Figuur 9.2: startscherm webcam 182

Figuur 10.1 logo Braem 184

Figuur 10.2 logo Spie 184

12 Begrippenlijst

Lijst technische termen			
Technische term	**Vertaling**		**Betekenis**
	Frans	**Engels**	
AUV	drone	Autonomous Underwater Vehicle	autonoom onderwater voertuig
aangedreven	alimenté		
afstand bestuurd	télé-opéré		
akoestische communicatie	communication acoustique		
automatisch kabel op spanning houden	gérér automatiquement la longueur		
batterij	batteries		
belastend	onereuses		
biodiversiteit	biodiversité		
camera	caméra		
canyon	canyon		
cartografie	cartographie		
CURV		Cable-controlled Underwater Recovery Vehicle	kabel bestuurd onderwater reddings voertuig

deadline			uiterste datum (om iets te doen of in te dienen)
diepte	profondeur		
drijfpunt		center of buoyancy	
elektrische telemanipulatie	télémanipulation électrique		
energieverbruik	consummation énergétique		
exploratie	exploration		
frame			chassis, kader, geraamte…
fysieke verbinding	liaison physique		
grijparmen	bras manipulateurs		
hybride	hybride		
joystick	manette	joystick	
kust	côte	coast	
lier	treuil	winch	
Lithium-ion batterijen	batteries Lithium-ion	Lithium-ion batteries	
marine omgeving	milieu marin	marine environment	
micro controller	microcontrôleur	microcontroller	
militair domein	domain militair	military domain	
motor	moteur	engine	
navigatiesensoren	capteurs de navigation	navigation sensors	
observatie	observation	observation	
offshore schepen	navires hauturiers	offshore vessels	
onderwater voertuig	engin sous-marins	Underwater vehicle	
besturingssysteem	système opérationnel	operating system	
optische vezel	fibre optique	optic fiber	
programmatie	programmation	programmation	
prototype	prototype	prototype	
real-time controle	controle en temps réel	real-time control	
ROV	robot télé-opéré	Remotely Operated Vehicle	een onderwater-robot die op afstand (meestal vanaf een boot of platform) kan worden bestuurd

sonar	sonar	sonar	Een methode voor het opsporen van voorwerpen onder water door het registreren van de sonische en ultrasonische golven die door het voorwerp worden teruggekaatst.
standalone modus	mode autonome	stand alone mode	de modus waarbij de ROV autonoom kan handelen, zonder tether en piloot.
tether	attache	tether	keting, kabel
Thruster	propulseur	thruster	term voor de schroef van een ROV
verstelbare schroeven	propulseurs orientables	controllable pitch propellers	verstelbare schroeven zijn schroeven die rond hun as kunnen verdraaien.
zeebodem	fonds marins	seabed	Bodem, grondvlak van de zee.
zwaartepunt	centre de gravité	center of gravity	het punt waar de zwaartekracht aangrijpt
Dioptrie	dioptrie	dioptre	De dioptrie (symbool dpt) is een eenheid voor sterkte ("lichtbrekende kracht") van een lens of spiegel
hoornvlies	Cornée	Cornea	Het hoornvlies is het doorzichtige deel van de buitenkant van het oog waar het licht door naar binnen valt
retina	Rétine	Retina	Het netvlies of de retina is het sterk doorbloede lichtgevoelige 'scherm' achter in het oog.
brandpunt	foyer	image point	plek waar alle lichtstralen, die evenwijdig lopen aan de hoofdas van de lens, na breking door een lens elkaar snijden
convergerend	convergent	convergent	naar elkaar toe bewegen, naar hetzelfde punt gaan
gezichtsveld	compétence	purview	wat je kunt zien zonder je te verplaatsen
brekingsindex	Indice de réfraction	refractive index	afkorting: n Getal dat aangeeft hoeveel licht afbuigt op een grensvlak van twee media. De index is afhankelijk van de golflengte van het licht
massadichtheid	densité	volumetric mass density	grootheid die uitdrukt hoeveel massa van een materiaal aanwezig is in een bepaald volume
sonar	sonar	sonar	techniek die gebruikmaakt van geluid om onder water te navigeren of om andere voorwerpen te detecteren
spronglaag	thermocline	thermocline	de aanduiding van een overgang tussen twee lagen water met verschillende temperatuur en dichtheid

lichtintensiteit	intensité lumineuse	luminous intensity	De lichtsterkte van een bron geeft aan welk vermogen (energie per tijdseenheid) de bron in een bepaalde richting uitstraalt
warmte / warmte-energie	chaleur / énergie thermique	heat / heat energy	vorm van energieuitwisseling tussen systemen die onderling niet in thermisch evenwicht zijn
thermische bewegingsenergie	énergie de mouvement thermique	thermal motion energy	thermische bewegingsenergie is grofweg de energie die in de thermische beweging (= het trillen) van de moleculen opgeslagen is
waterstofbrug	liaison hydrogène	hydrogen bond	Een waterstofbrug is een niet-covalente binding tussen een elektronenpaar op een sterk elektronegatief atoom en een naburig H-atoom gebonden aan een ander sterk elektronegatief atoom.
elektronegativiteit (EN)	électronégativité	electronegativity	de mate waarin een atoom een elektron aantrekt
lineaire uitzetting	dilatation linéaire	linear expansion	uitzetting in 1 richting
uitzettingscoëfficiënt	coefficient de dilatation	coefficient of thermal expansion	De uitzettingscoëfficiënt van een materiaal is een maat voor de temperatuursafhankelijkheid van de dichtheid
navelstreng		umbellical	Dit is de kabel waarmee de ROV verbonden is met het oppervlak
uittreedhoek			De hoek waarmee het licht een stof verlaat ten opzichte van de normaal.
invalshoek			De hoek waarmee het licht een stof binnen komt ten opzichte van de normaal.
elektromagnetische stralen			Elektromagnetische straling is de voortplanting door de ruimte van elektrische en magnetische oscillaties
elektromagneteisch spectrum			In een elektromagnetisch spectrum staat de verdeling van elektromagnetische straling als functie van de frequentie.
prisma			Een prisma is een doorzichtig donker voorwerp dat bestaat uit vier of meer niet evenwijdige grensvlakken
foton			Fotonen "lichtdeeltjes" zijn een verschijningsvorm van elektromagnetische straling.
molecule			Is een binding van verschillende atomen

utp-kabel			is een acht aderige kabel die vooral voor data overdracht gebruikt wordt
hydrostatische druk	pression hydrostatique	hydrostatic pressure	is de druk die uitgeoefend wordt door een statische vloeistof op een lichaam op bepaalde diepte in die vloeistof
schroefeffect	effet de vis	screw effect	de neiging van een schip om steeds scheef te varen
cavitatie	cavitation	cavitation	het berokkken van schade door imploderende vacuumbellen rond de schroef
vacuüm	vacuüm	vacuum	luchtledigheid
coaxiaal	coaxial	coaxial	met gemeenschappelijke as

13 Bibliografie

13.1 Inleiding

13.2 Geschiedenis

https://en.wikipedia.org/wiki/Remotely_operated_underwater_vehicle#History

https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Whitehead

https://en.wikipedia.org/wiki/Whitehead_torpedo

https://en.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Luppis

http://www.navweaps.com/Weapons/WTBR_PreWWII_Whitehead_pic.jpg

http://www.navweaps.com/Weapons/WTUS_PreWWII_Mark-3_pic.jpg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Robert_Whitehead_with_battered_test_torpedo_Fiume_c1875.jpg

http://www.rovmarine.it/en/home-eng/14-not-categorized/16-the-history-of-rovs

http://www.rov.org/rov_history.cfm

http://atlantipedia.ie/samples/rebikoff-dimitri/

https://books.google.be/books?id=qNgDAAAAMBAJ&pg=PA211&lpg=PA211&dq=dimitri+rebikoff+poodle&source=bl&ots=Muvp9-R5ba&sig=VDz9qJONQ0IZldtT7uoBu8ltZro&hl=nl&sa=X&ved=0CEwQ6AEwCWoVChMIxdD9iefkyAIVx78UCh2QBg5V#v=onepage&q=dimitri%20rebikoff%20poodle&f=false

https://en.wikipedia.org/wiki/CURV-III

https://sandacom.wordpress.com/2010/07/08/remotely-operated-vehicles-history-waldos-howard-hughes/

http://disaster-wise.blogspot.be/2014/04/the-inhuman-history-of-rovs-part-2.html

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/Cutletrov.jpg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Palomares_H-Bomb_Incident.jpg

http://aoghs.org/offshore-history/offshore-robot/

http://warrenfyfenews.org/wp-content/plugins/rss-poster/cache/42e52__69542345_curv.jpg

http://ichef.bbci.co.uk/news/660/media/images/69539000/jpg/_69539721_rescue.jpg

http://www.hydro-products.co.uk/hydroproducts.asp

http://cyberneticzoo.com/wp-content/uploads/2015/06/mobot-shell-62-press-x1-x640-640x856.jpg

http://cyberneticzoo.com/underwater-robotics/1978-80-rcv-150-rov-arthur-b-billet-american/

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1145194&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel6%2F48%2F25747%2F01145194.pdf%3Farnumber%3D1145194

13.3 Ontwerp

http://www.otenmaritime.com/stability/centre-of-gravity-and-centre-of-buoyancy

http://wsvkunststoffen.nl/tag/goed-te-lassen/

http://www.kunststoflassen.com/pages/sub/2/Polypropyleen_eigenschappen.html

http://www.orion-webdesign.com/images/ppo/polyetheen.png

https://nl.wikipedia.org/wiki/Polypropeen

https://nl.wikipedia.org/wiki/Polyetheen

http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgp/polypropyleen_1_structuur_propeen_en_polypropyleen_wikipedia.jpg

https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_chloride

https://en.wikipedia.org/wiki/6060_aluminium_alloy

https://nl.wikipedia.org/wiki/Acrylvezel

http://hemimex.nl/page/aluminium_eigenschappen/

https://www.elcas.nl/messing/cuzn39pb3/staf#CuZn39Pb3

Bundel “22 CE-markering ‘de machinerichtlijn’” uit ‘WATT met elektriciteit’, geschreven door Benjamin De Donder, uitgebracht door uitgeverij ‘De Boeck’.

https://nl.wikipedia.org/wiki/Gelijkstroommotor

http://www.tisj.com/ian.claesen/index/frame%20rechts/Cursus/Elektriciteit/gelijkstroommotor/theorie.pdf

Claerhout, L. & Dekelver, V. & de Schepper, F. & Libbrecht J. & Maesen I. Serie Elektrotechniek, Elektriciteit deel 3. Plantyn

https://www.bluerobotics.com/store/parts/penetrator-10-25-a/

13.4 Elektronica

https://www.youtube.com/watch?v=21EC0lZ0imw

https://nl.wikipedia.org/wiki/Seebeck-effect

http://www.natuurkunde.nl/vraagbaak/1763

http://websites.khlim.be/jbaeten/cursussen/MSYS15.pdf

https://www.youtube.com/watch?v=byxQo4F1jiw

https://www.youtube.com/watch?v=BxA7qwmY9mg

https://www.maximintegrated.com/en/products/1-wire/flash/overview/

http://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge- secrets/h-bridges- the-basics/

https://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge

Dc Mosfet Irf3205

http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf

13.5 Chemie

https://www.dewatergroep.be/nl/content/676/waterhardheid.html

https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Water

https://www.vmm.be/water

https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie

https://nl.m.wikipedia.org/wiki/UV/VIS-spectroscopie

http://www.basischwater.nl/informatie-over-water/watermolecuul/

https://www.vmm.be/water/afvalwater/soorten

https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Afvalwater

13.6 Fysica

http://www.apnea.nl/duikgeneeskunde/29-fysiologie/75-het-oog2#1

http://cvdduikclub.be/?mc=fysinlle&pg=fysiliin

http://www.duikkids.nl/Pagina's/Water%20-%20raar%20spul/Zien%20onder%20water.html

http://sciencelearn.org.nz/Contexts/Light-and-Sight/Science-Ideas-and-Concepts/How-the-eye-focuses-light

http://webpalet.titeca.net/2006-12/fim-lens/

http://www.sciencespace.nl/technologie/artikelen/4/hoe-werkt-een-loep

https://nl.wikipedia.org/wiki/Rayleighverstrooiing

https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_absorption_by_water

https://nl.wikipedia.org/wiki/Microgolfspectroscopie

https://nl.wikipedia.org/wiki/Licht

https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_straling

https://nl.wikipedia.org/wiki/Tyndall-effect

https://en.wikipedia.org/wiki/Tyndall_effect

http://cvdduikclub.be/?mc=fysinlle&pg=fysiliin&sbtitel=fysiliin

https://scienceconceptions.wikispaces.com/The+Blue+Ocean

https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtbreking

https://nl.wikipedia.org/wiki/Onderwaterfotografie

https://nl.wikipedia.org/wiki/Verstrooiing_(natuurkunde)

https://en.wikipedia.org/wiki/Refraction

https://en.wikipedia.org/wiki/Color_of_water

https://nl.wikipedia.org/wiki/Absorptie_(natuurkunde)

https://nl.wikipedia.org/wiki/Candela_(eenheid)

https://nl.wikipedia.org/wiki/Lichtsterkte_(fotometrie)

https://nl.wikipedia.org/wiki/Polarisatie_(elektromagnetisme)

https://nl.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie

http://oceanservice.noaa.gov/facts/oceanblue.html

https://nl.wikipedia.org/wiki/Thermocline

https://nl.wikipedia.org/wiki/Dichtheid_(natuurkunde)

https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocline

https://www.quora.com/What-happens-to-water-between-0-and-4-degree-Celsius

https://www.youtube.com/watch?v=FjUfncSH1bk

http://staff.concord.org/btinker/GL/web/water/water_temperatures.html

http://www.slideshare.net/BiologieUU/hoofdstuk-3-2008-presentation

https://tsjok45.files.wordpress.com/2014/09/watermoleculen-en-kristalstructuur.png

https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterstofbrug

https://nl.wikipedia.org/wiki/Uitzettingsco%C3%ABffici%C3%ABnt

https://nl.wikipedia.org/wiki/Zeewater

13.7 Bezoeken

http://www.vliz.be/

14 Bijlagen

14.1 Temperatuursensor

DS18B20
Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

DESCRIPTION

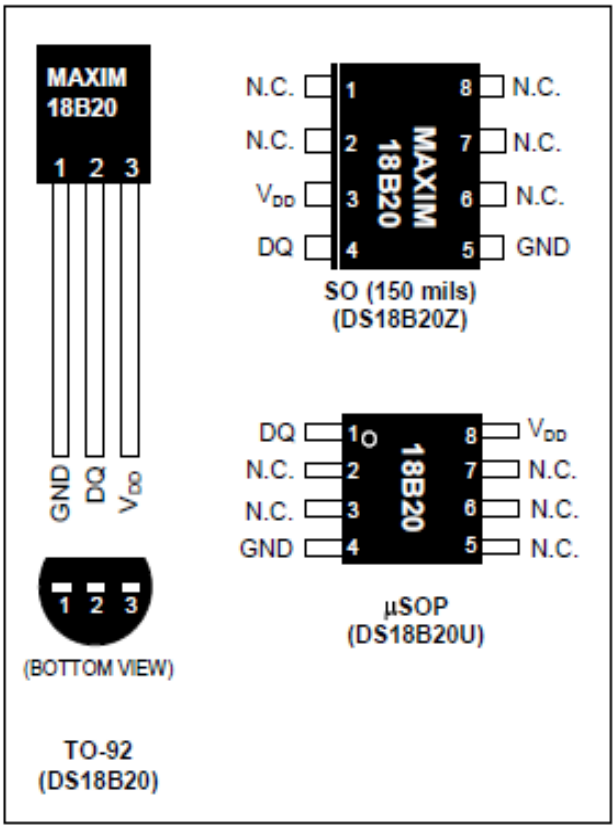
The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to +125°C and is accurate to ±0.5°C over the range of -10°C to +85°C. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

FEATURES

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Each Device has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in an On-Board ROM
- Multidrop Capability Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications
- Requires No External Components
- Can Be Powered from Data Line; Power Supply Range is 3.0V to 5.5V
- Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
- ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer Resolution is User Selectable from 9 to 12 Bits
- Converts Temperature to 12-Bit Digital Word in 750ms (Max)
- User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings
- Alarm Search Command Identifies and Addresses Devices Whose Temperature is Outside Programmed Limits (Temperature Alarm Condition)
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin µSOP, and 3-Pin TO-92 Packages
- Software Compatible with the DS1822
- Applications Include Thermostatic Controls, Industrial Systems, Consumer Products, Thermometers, or Any Thermally Sensitive System

PIN CONFIGURATIONS



1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

REV: 042208

ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 µSOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 µSOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55°C to +125°C	8 µSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+T&R	-55°C to +125°C	8 µSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20

+Denotes a lead-free package. A "+" will appear on the top mark of lead-free packages.
T&R = Tape and reel.
**TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.*

PIN DESCRIPTION

PIN			NAME	FUNCTION
SO	µSOP	TO-92		
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	V_{DD}	Optional V_{DD}. V_{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the *Powering the DS18B20* section.)
5	4	1	GND	Ground

OVERVIEW

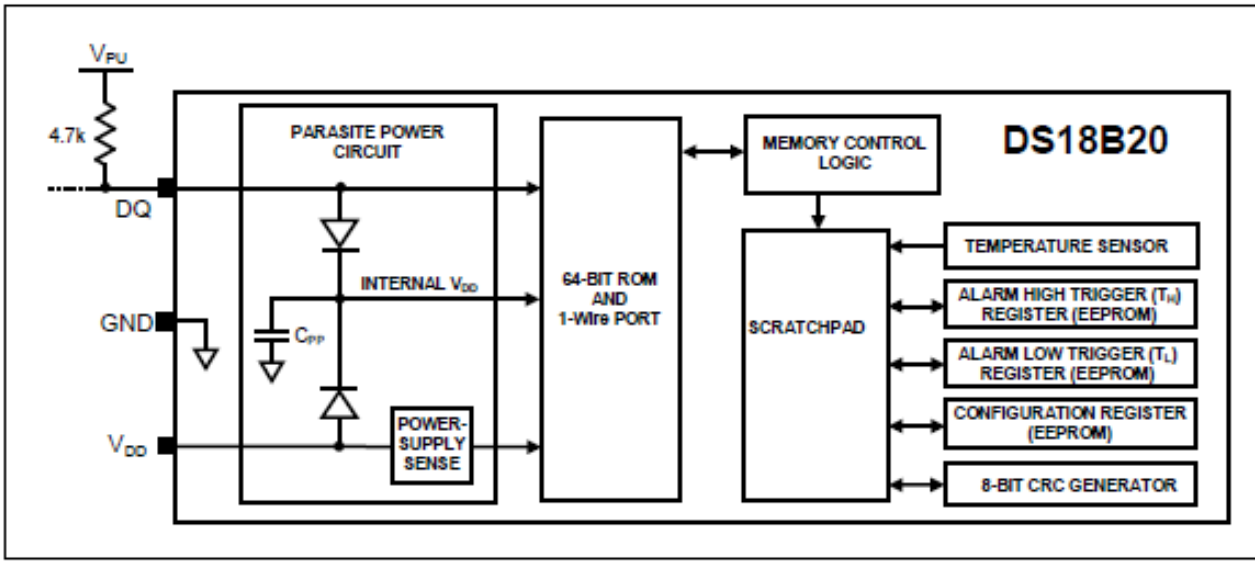
Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_H and T_L) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T_H, T_L, and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim's exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one

bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "time slots," is covered in the *1-Wire Bus System* section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{PP}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on V_{DD}.

Figure 1. DS18B20 Block Diagram



OPERATION—MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slots" (see the *1-Wire Bus System* section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *Powering the DS18B20* section.

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. Table 1 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

Figure 2. Temperature Register Format

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

S = SIGN

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

**The power-on reset value of the temperature register is +85°C.*

OPERATION—ALARM SIGNALING

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_H and T_L registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_H and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the *Memory* section.

Figure 3. T_H and T_L Register Format

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
S	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the T_H and T_L comparison since T_H and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to T_L or higher than or equal to T_H, an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T_H or T_L settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

POWERING THE DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the V_{DD} pin, or it can operate in "parasite power" mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18B20's parasite-power control circuitry, which "steals" power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor (C_{PP}) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the V_{DD} pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and C_{PP} can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the *DC Electrical Characteristics* and *AC Electrical Characteristics*). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by C_{PP}. To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10µs (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t_{CONV}) or data transfer (t_{WR} = 10ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the V_{DD} pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a "read time slot". During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

Figure 4. Supplying the Parasite-Powered DS18B20 During Temperature Conversions

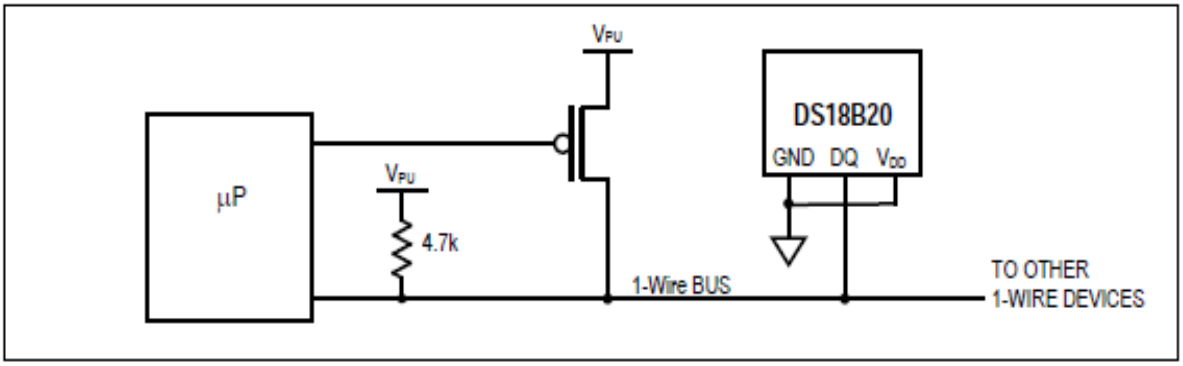
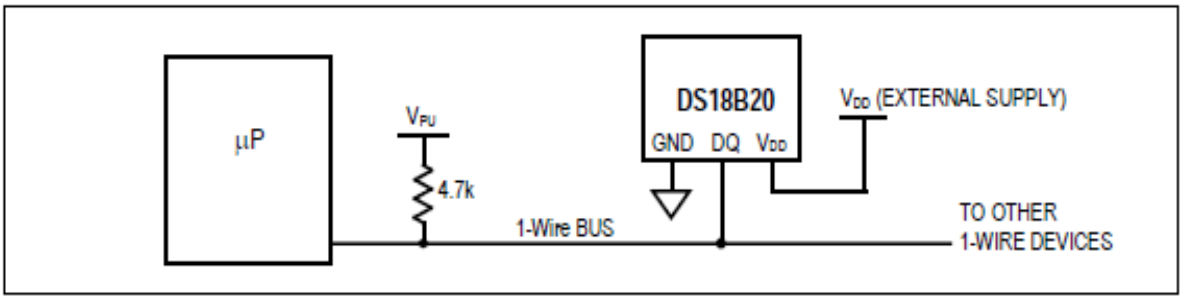


Figure 5. Powering the DS18B20 with an External Supply



64-BIT LASERED ROM CODE

Each DS18B20 contains a unique 64–bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20's 1-Wire family code: 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the *CRC Generation* section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the *1-Wire Bus System* section.

Figure 6. 64-Bit Lasered ROM Code

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER		8-BIT FAMILY CODE (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

MEMORY

The DS18B20's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T_H and T_L) and configuration register. Note that if the DS18B20 alarm function is not used, the T_H and T_L registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the *DS18B20 Function Commands* section.

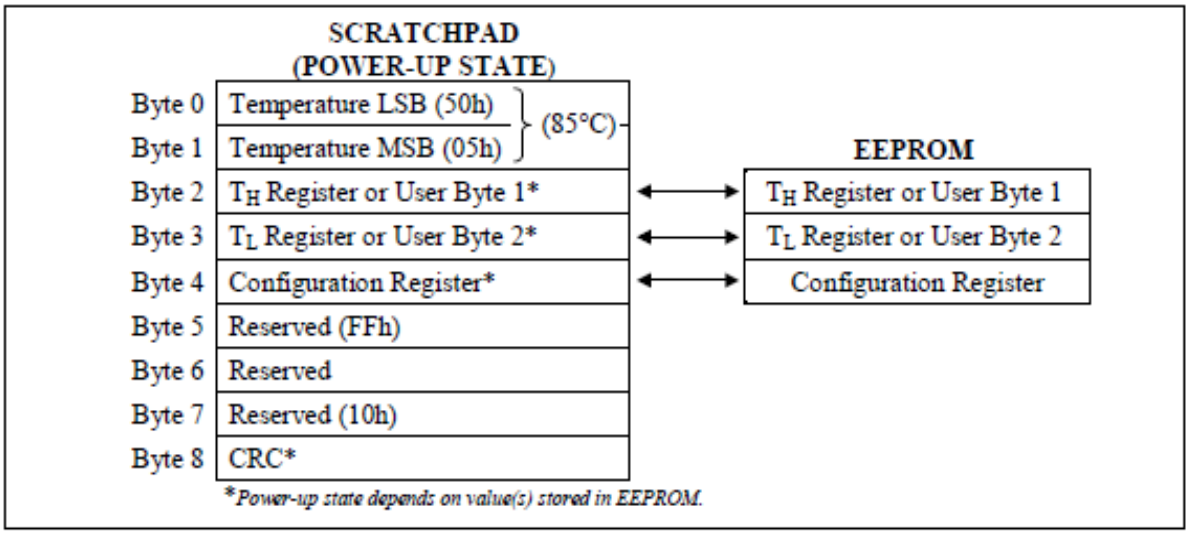
Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to T_H and T_L registers. Byte 4 contains the configuration register data, which is explained in detail in the *Configuration Register* section. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the CRC code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates this CRC using the method described in the *CRC Generation* section.

Data is written to bytes 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T_H, T_L and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E^2 [B8h] command. The master can issue read time slots following the Recall E^2 command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

Figure 7. DS18B20 Memory Map



CONFIGURATION REGISTER

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in Figure 8. The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in Table 2. The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

Figure 8. Configuration Register

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Table 2. Thermometer Resolution Configuration

R1	R0	RESOLUTION (BITS)	MAX CONVERSION TIME	
0	0	9	93.75ms	($t_{CONV}/8$)
0	1	10	187.5ms	($t_{CONV}/4$)
1	0	11	375ms	($t_{CONV}/2$)
1	1	12	750ms	(t_{CONV})

CRC GENERATION

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

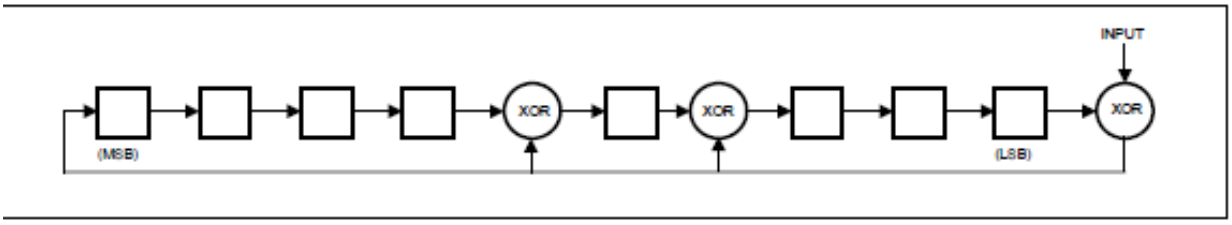
The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in Figure 9. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should shifted into the shift register. After shifting in the 56th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the re-calculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Maxim 1-Wire cyclic redundancy check

is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*.

Figure 9. CRC Generator



1-WIRE BUS SYSTEM

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a "single-drop" system; the system is "multidrop" if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

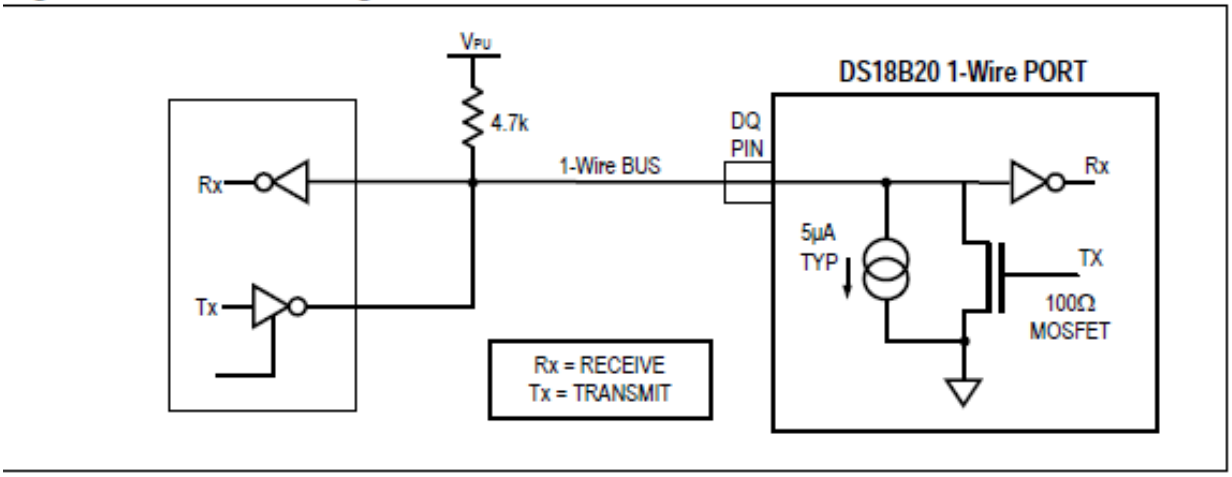
The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to "release" the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 10.

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5kΩ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480µs, all components on the bus will be reset.

Figure 10. Hardware Configuration



TRANSACTION SEQUENCE

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

Step 1. Initialization

Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)

Step 3. DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

INITIALIZATION

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the *1-Wire Signaling* section.

ROM COMMANDS

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in Figure 11.

SEARCH ROM [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices. If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM command (see below) can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to the *iButton® Book of Standards* at www.maxim-ic.com/ibuttonbook. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

READ ROM [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

MATCH ROM [55h]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

iButton is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

SKIP ROM [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case, time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

ALARM SEARCH [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. See the *Operation—Alarm Signaling* section for an explanation of alarm flag operation.

DS18B20 FUNCTION COMMANDS

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in Table 3 and illustrated by the flowchart in Figure 12.

CONVERT T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10µs (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion (t_{CONV}) as described in the *Powering the DS18B20* section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

WRITE SCRATCHPAD [4Eh]

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written into the T_H register (byte 2 of the scratchpad), the second byte is written into the T_L register (byte 3), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

READ SCRATCHPAD [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

COPY SCRATCHPAD [48h]

This command copies the contents of the scratchpad T_H, T_L and configuration registers (bytes 2, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10µs (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the *Powering the DS18B20* section.

RECALL E^2 [B8h]

This command recalls the alarm trigger values (T_H and T_L) and configuration data from EEPROM and places the data in bytes 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots following the Recall E^2 command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

READ POWER SUPPLY [B4h]

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. See the *Powering the DS18B20* section for usage information for this command.

Table 3. DS18B20 Function Command Set

COMMAND	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-Wire BUS ACTIVITYAFTER COMMAND IS ISSUED	NOTES
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 (T_H, T_L, and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies T_H, T_L, and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E^2	Recalls T_H, T_L, and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

Note 1: For parasite-powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.
Note 2: The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.
Note 3: All three bytes must be written before a reset is issued.

Figure 11. ROM Commands Flowchart

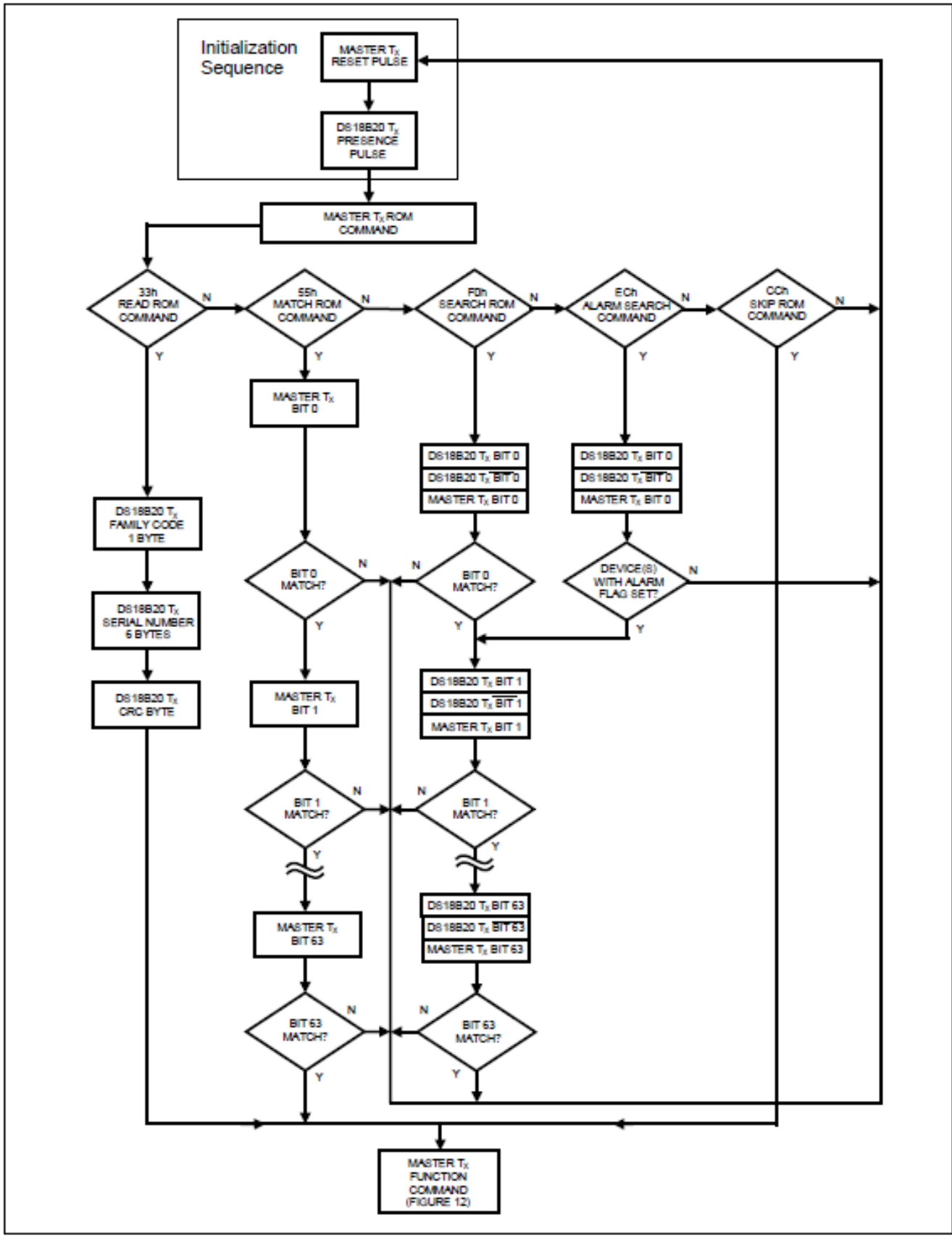
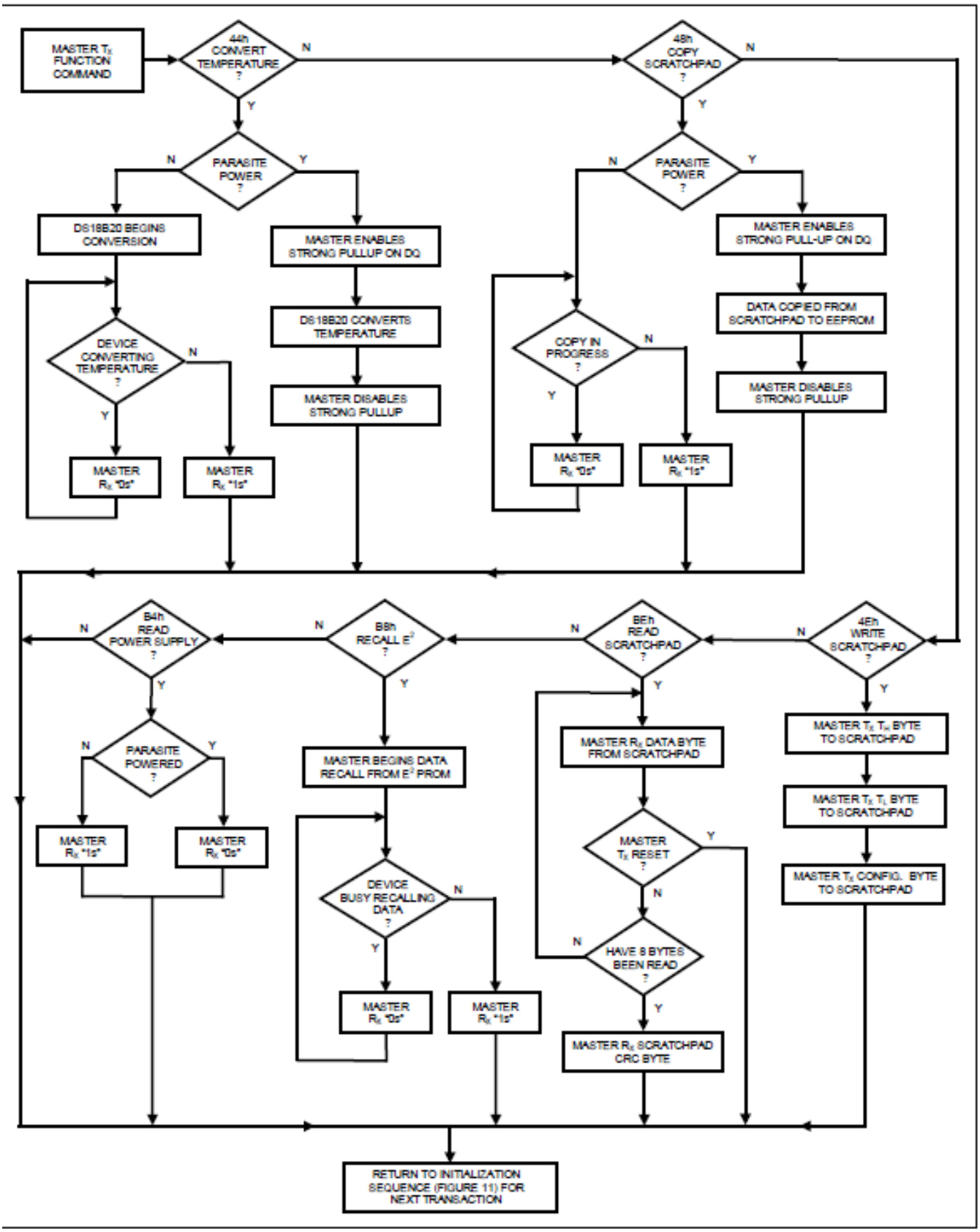


Figure 12. DS18B20 Function Commands Flowchart



1-WIRE SIGNALING

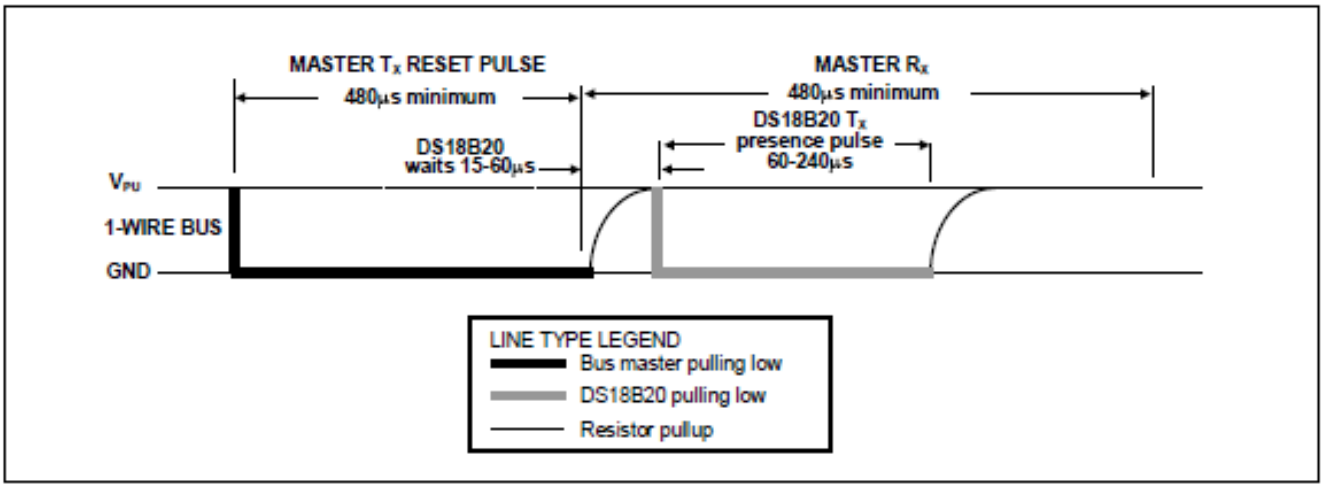
The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to ensure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all these signals, with the exception of the presence pulse.

INITIALIZATION PROCEDURE—RESET AND PRESENCE PULSES

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 13. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (Tx) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480µs. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (Rx). When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18B20 detects this rising edge, it waits 15µs to 60µs and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60µs to 240µs.

Figure 13. Initialization Timing



READ/WRITE TIME SLOTS

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

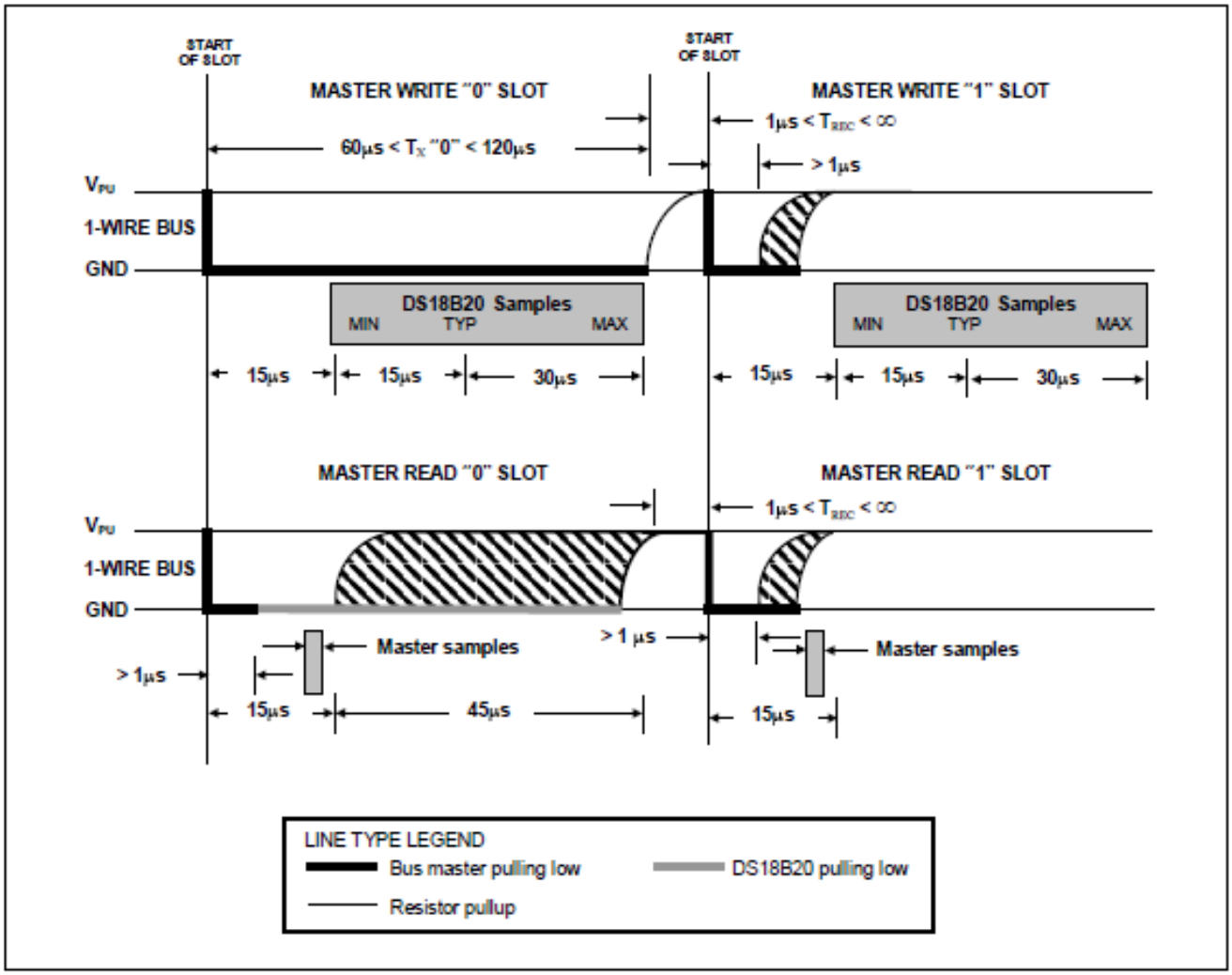
WRITE TIME SLOTS

There are two types of write time slots: "Write 1" time slots and "Write 0" time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15µs. When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60µs).

The DS18B20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15µs to 60µs after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the line is low, a 0 is written to the DS18B20.

Figure 14. Read/Write Time Slot Timing Diagram



READ TIME SLOTS

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E^2 [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the *DS18B20 Function Commands* section.

All read time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 1µs and then releasing the bus (see Figure 14). After the master initiates the read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resister. Output

data from the DS18B20 is valid for 15µs after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15µs from the start of the slot.

Figure 15 illustrates that the sum of T_{INIT}, T_{RC}, and T_{SAMPLE} must be less than 15µs for a read time slot. Figure 16 shows that system timing margin is maximized by keeping T_{INIT} and T_{RC} as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the 15µs period.

Figure 15. Detailed Master Read 1 Timing

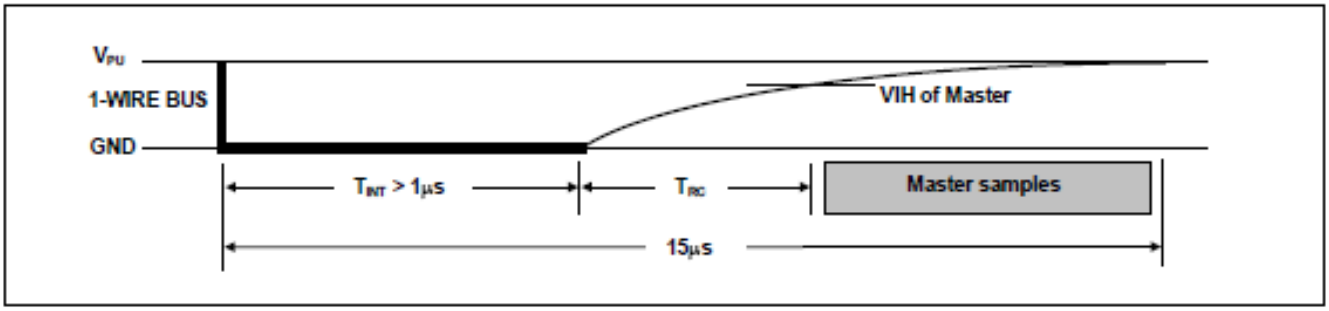
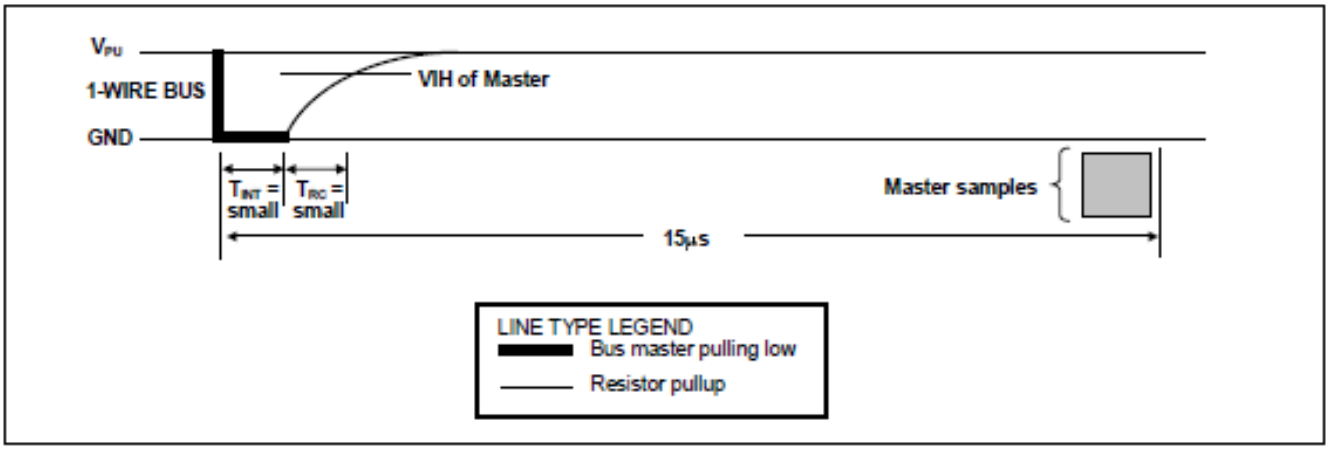


Figure 16. Recommended Master Read 1 Timing



RELATED APPLICATION NOTES

The following application notes can be applied to the DS18B20 and are available on our website at www.maxim-ic.com.

Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products
Application Note 122: Using Dallas' 1-Wire ICs in 1-Cell Li-Ion Battery Packs with Low-Side N-Channel Safety FETs Master
Application Note 126: 1-Wire Communication Through Software
Application Note 162: Interfacing the DS18x20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment
Application Note 208: Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor
Application Note 2420: 1-Wire Communication with a Microchip PICmicro Microcontroller
Application Note 3754: Single-Wire Serial Bus Carries Isolated Power and Data

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with *Application Note 74: Reading and Writing iButtons via Serial Interfaces* can be downloaded from the Maxim website.

DS18B20 OPERATION EXAMPLE 1

In this example there are multiple DS18B20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18B20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{CONV}).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

DS18B20 OPERATION EXAMPLE 2

In this example there is only one DS18B20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the T_H, T_L, and configuration registers in the DS18B20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
Tx	3 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad (T_H, T_L, and config).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground ..... -0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range ..... -55°C to +125°C
Storage Temperature Range ..... -55°C to +125°C
Solder Temperature ..... Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; V_{DD}=3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{DD}	Local Power	+3.0		+5.5	V	1
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite Power	+3.0		+5.5	V	1,2
		Local Power	+3.0		V_{DD}		
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C	3
		-55°C to +125°C			±2		
Input Logic-Low	V_{IL}		-0.3		+0.8	V	1,4,5
Input Logic-High	V_{IH}	Local Power	+2.2		The lower of 5.5 or V_{DD} + 0.3	V	1, 6
		Parasite Power	+3.0				
Sink Current	I_L	V_{IO} = 0.4V	4.0			mA	1
Standby Current	I_{DDS}			750	1000	nA	7,8
Active Current	I_{DD}	V_{DD} = 5V		1	1.5	mA	9
DQ Input Current	I_{DQ}			5		µA	10
Drift				±0.2		°C	11

NOTES:

1) All voltages are referenced to ground.
2) The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU}. In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.
3) See typical performance curve in Figure 17.
4) Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.
5) To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.
6) Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.
7) Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.
8) To minimize I_{DDS}, DQ should be within the following ranges: GND ≤ DQ ≤ GND + 0.3V or V_{DD} – 0.3V ≤ DQ ≤ V_{DD}.
9) Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
10) DQ line is high ("high-Z" state).
11) Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with V_{DD} = 5.5V.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS—NV MEMORY

(-55°C to +100°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t_{WR}			2	10	ms
EEPROM Writes	N_{EEWR}	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t_{EEDR}	-55°C to +55°C	10			years

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}	9-bit resolution			93.75	ms	1
		10-bit resolution			187.5		
		11-bit resolution			375		
		12-bit resolution			750		
Time to Strong Pullup On	t_{SPON}	Start Convert T Command Issued			10	µs	
Time Slot	t_{SLOT}		60		120	µs	1
Recovery Time	t_{REC}		1			µs	1
Write 0 Low Time	t_{LOW0}		60		120	µs	1
Write 1 Low Time	t_{LOW1}		1		15	µs	1
Read Data Valid	t_{RDV}				15	µs	1
Reset Time High	t_{RSTH}		480			µs	1
Reset Time Low	t_{RSTL}		480			µs	1,2
Presence-Detect High	t_{PDHIGH}		15		60	µs	1
Presence-Detect Low	t_{PDLOW}		60		240	µs	1
Capacitance	$C_{IN/OUT}$				25	pF	

NOTES:

1) See the timing diagrams in Figure 18.
2) Under parasite power, if t_{RSTL} > 960µs, a power-on reset may occur.

Figure 17. Typical Performance Curve

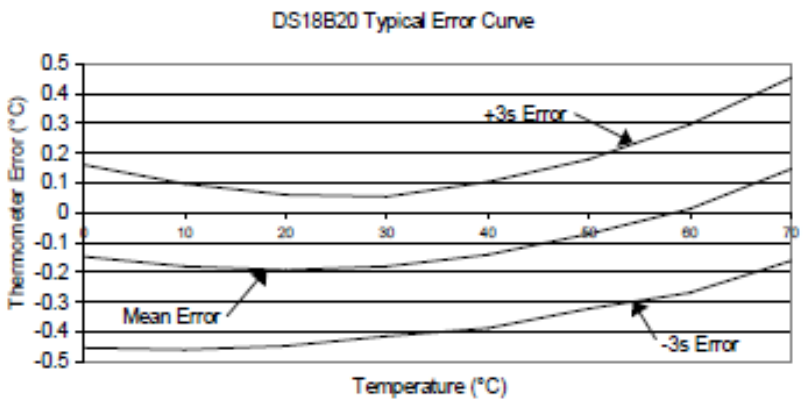
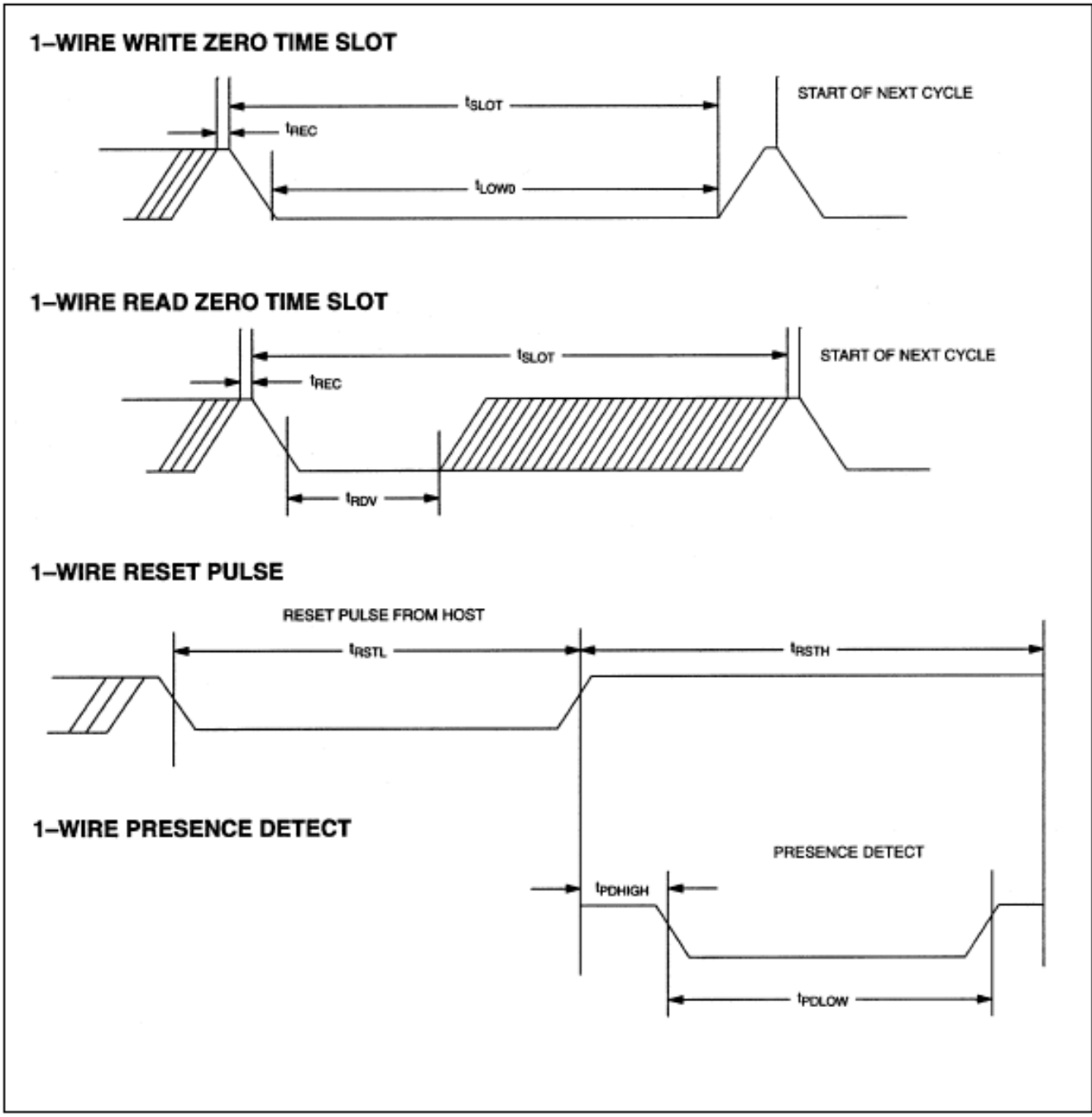


Figure 18. Timing Diagrams



REVISION HISTORY

REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
030107	In the *Absolute Maximum Ratings* section, removed the reflow oven temperature value of +220°C. Reference to JEDEC specification for reflow remains.	19
101207	In the *Operation—Alarm Signaling* section, added "or equal to" in the desciption for a TH alarm condition	5
	In the *Memory* section, removed incorrect text describing memory.	7
	In the *Configuration Register* section, removed incorrect text describing configuration register.	8
042208	In the *Ordering Information* table, added TO-92 straight-lead packages and included a note that the TO-92 package in tape and reel can be ordered with either formed or straight leads.	2

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600

© 2008 Maxim Integrated Products

Maxim is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

14.2 Mosfet

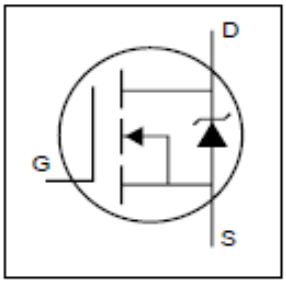
International
IOR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = 55V

$R_{DS(on)}$ = 8.0mΩ

I_D = 110A⑤

Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

TO-220AB

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	110 ⑤	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10V	80	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	390	
P_D @T_C = 25°C	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current①	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy①	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to + 175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 srew	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

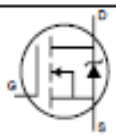
	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com 1

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	V_{GS} = 0V, I_D = 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.057	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D = 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	8.0	mΩ	V_{GS} = 10V, I_D = 62A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	44	—	—	S	V_{DS} = 25V, I_D = 62A④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V
		—	—	250		V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150°C
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V_{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V_{GS} = -20V
Q_g	Total Gate Charge	—	—	146	nC	I_D = 62A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	35		V_{DS} = 44V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	54		V_{GS} = 10V, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	V_{DD} = 28V
t_r	Rise Time	—	101	—		I_D = 62A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	50	—		R_G = 4.5Ω
t_f	Fall Time	—	65	—		V_{GS} = 10V, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	3247	—	pF	V_{GS} = 0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	781	—		V_{DS} = 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	211	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	—	1050⑥	264⑦	mJ	I_{AS} = 62A, L = 138μH

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode)①	—	—	390		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	T_J = 25°C, I_S = 62A, V_{GS} = 0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	69	104	ns	T_J = 25°C, I_F = 62A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	143	215	nC	di/dt = 100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L = 138μH R_G = 25Ω, I_{AS} = 62A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ 62A, di/dt ≤ 207A/μs, V_{DD} ≤ $V_{(BR)DSS}$, T_J ≤ 175°C

④ Pulse width ≤ 400μs; duty cycle ≤ 2%.

⑤ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.

⑥ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑦ This is a calculated value limited to T_J = 175°C.

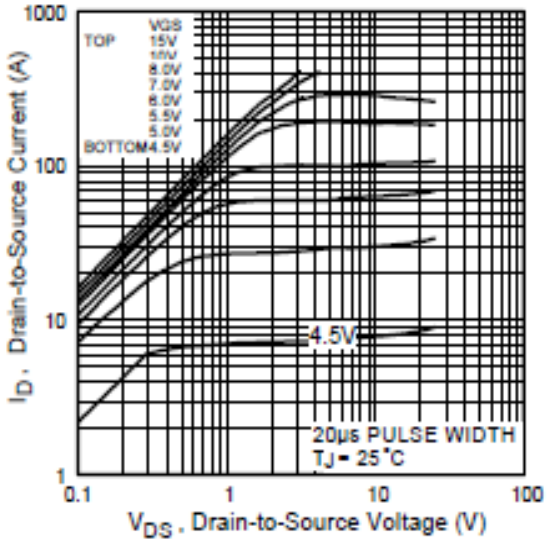


Fig 1. Typical Output Characteristics

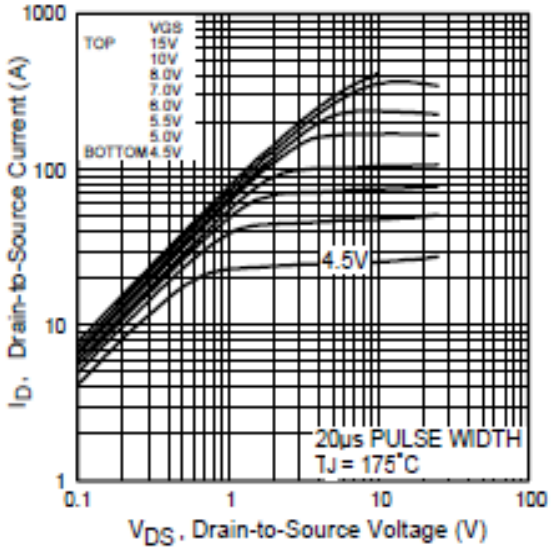


Fig 2. Typical Output Characteristics

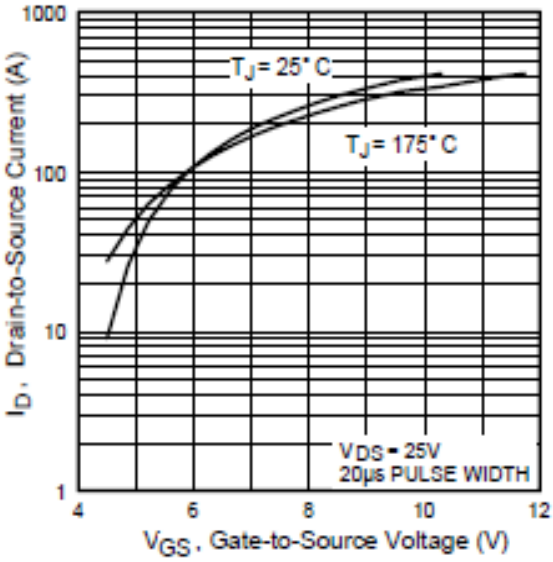


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

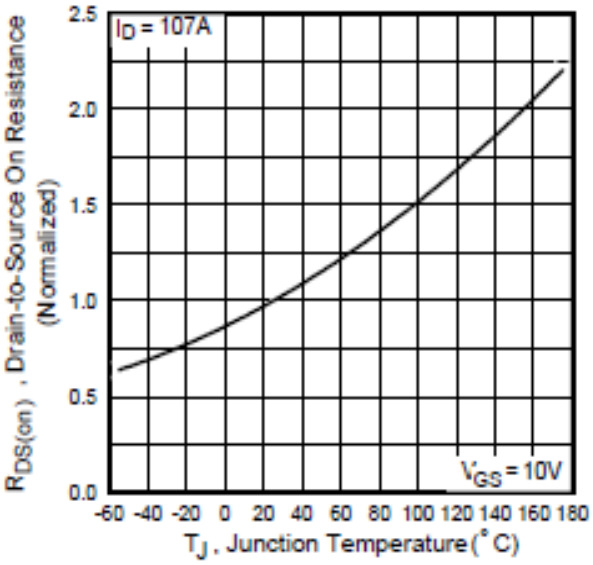


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

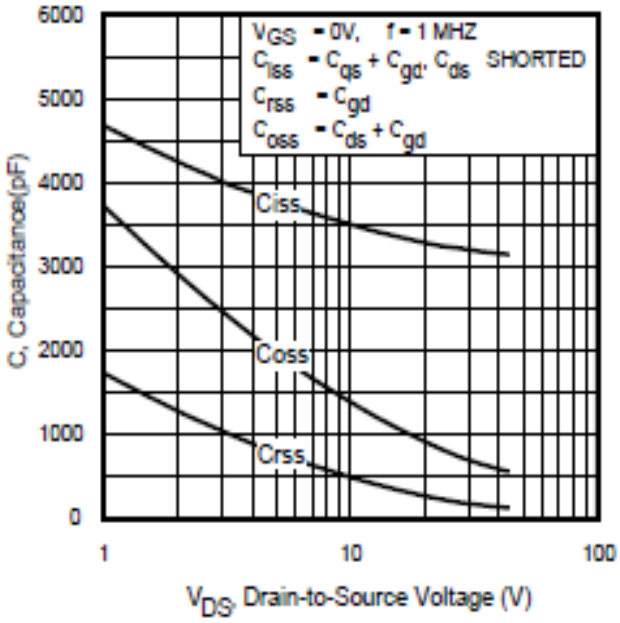


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

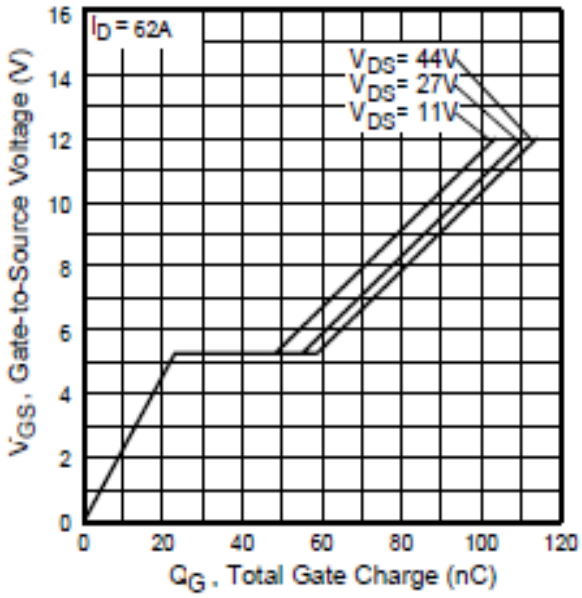


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

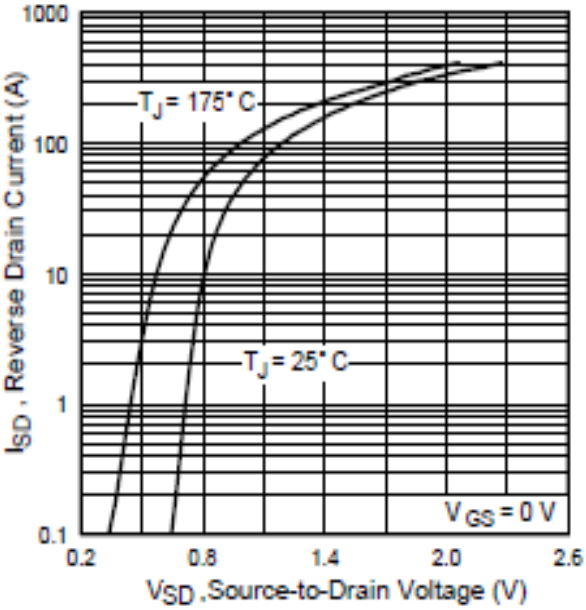


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

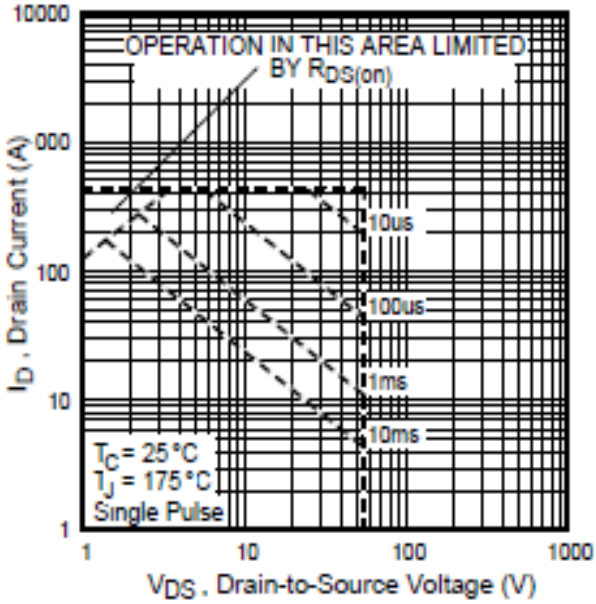


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

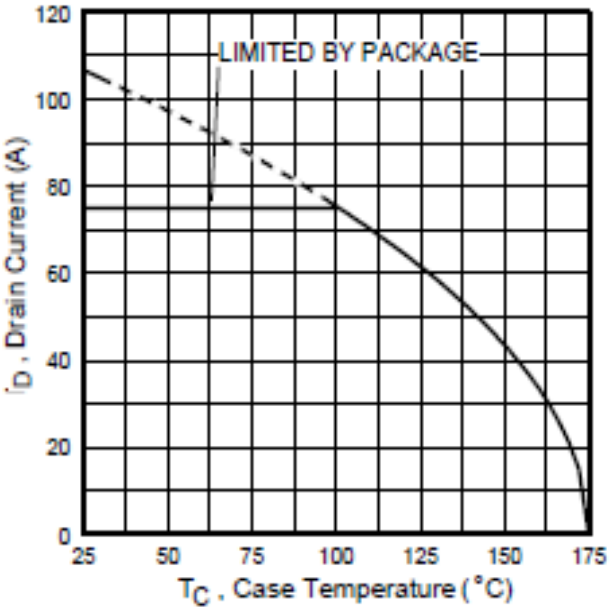


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

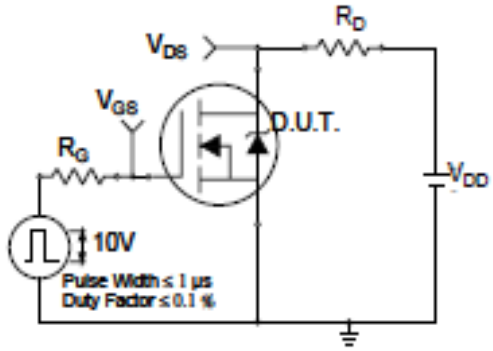


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

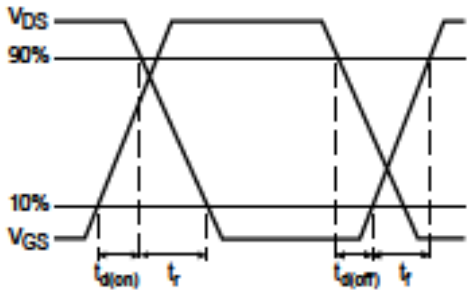


Fig 10b. Switching Time Waveforms

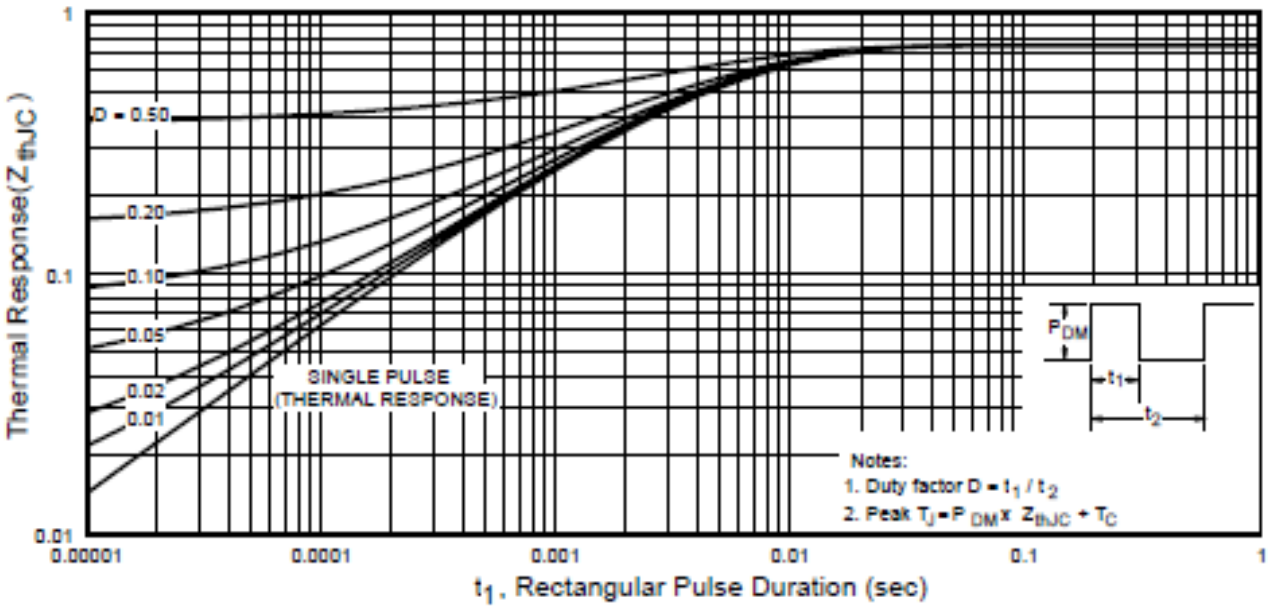


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

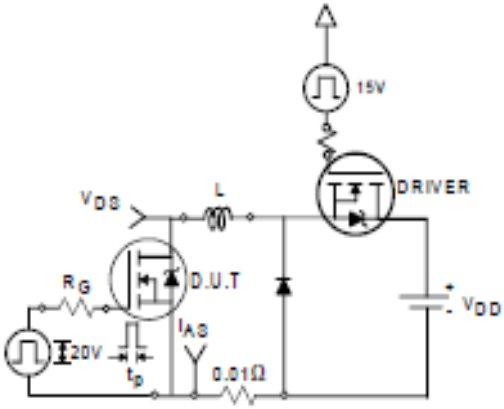


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

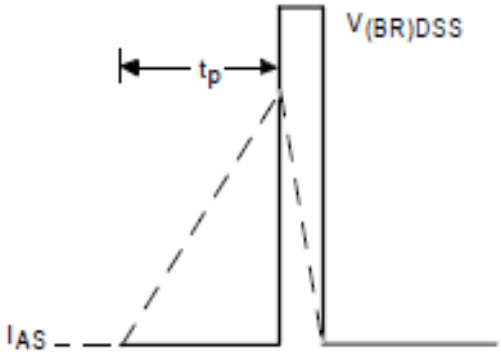


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

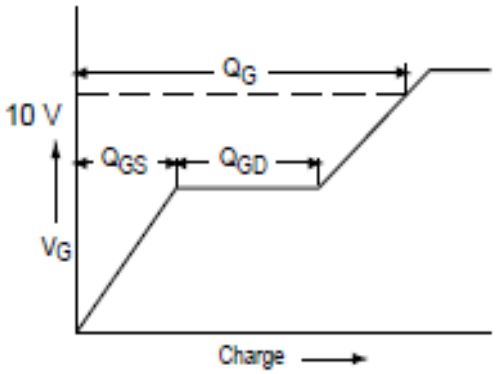


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

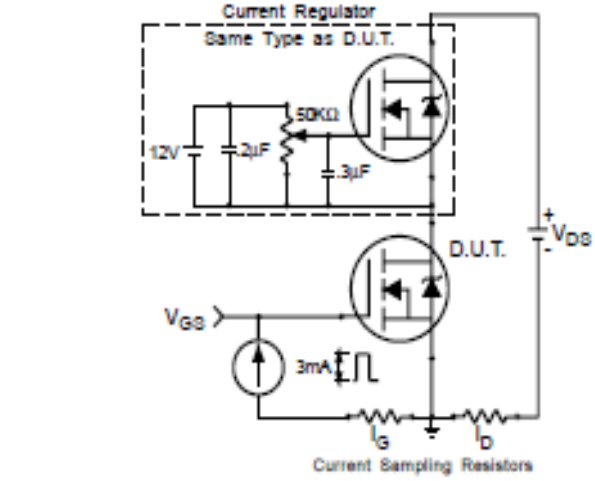


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

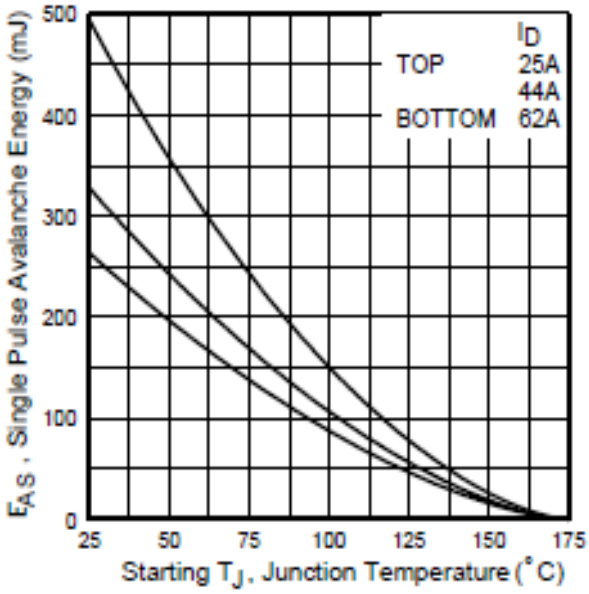
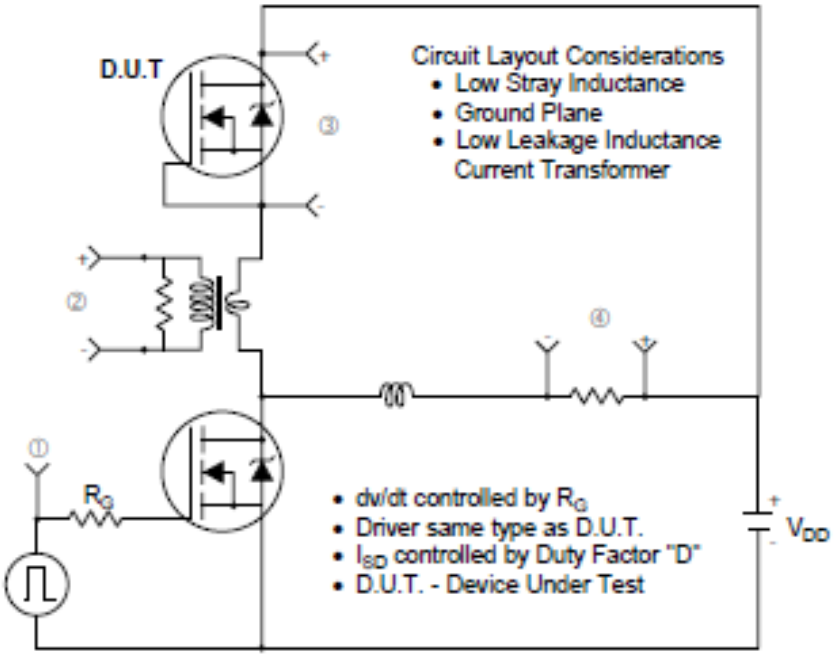
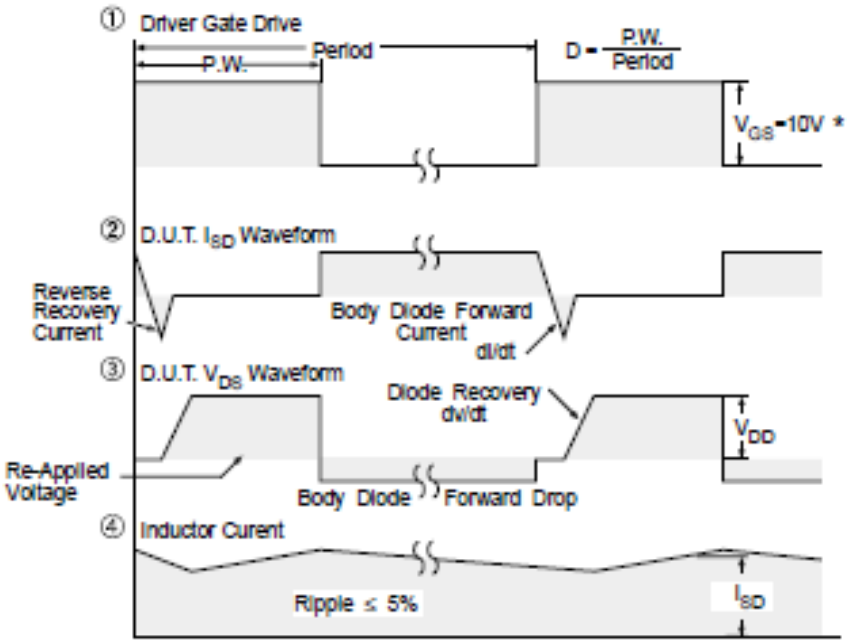


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit





* V_{GS} = 5V for Logic Level Devices

Fig 14. For N-Channel HEXFETS

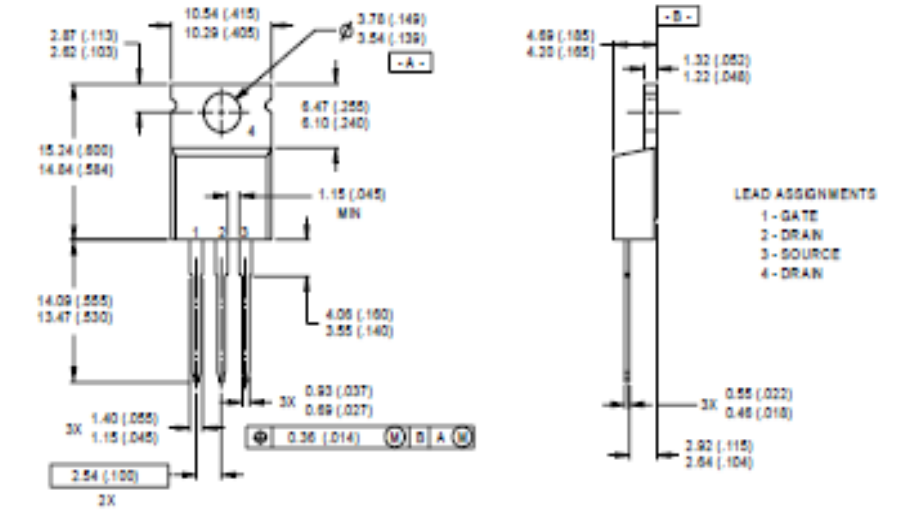
IRF3205

International
IOR Rectifier

Package Outline

TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



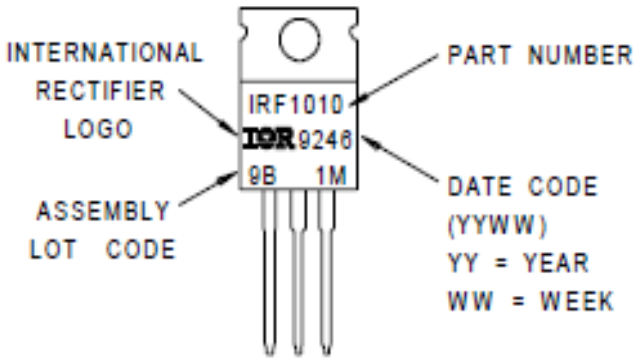
NOTES:

1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2 CONTROLLING DIMENSION : INCH
3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.
4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.

Part Marking Information

TO-220AB

EXAMPLE : THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the automotive [Q101] market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IOR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903
Visit us at www.irf.com for sales contact information.01/01

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

MPX5700 Series

0 to 700 kPa (0 to 101.5 psi)
15 to 700 kPa (2.18 to 101.5 psi)
0.2 to 4.7 V Output

The MPX5700 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element

ORDERING INFORMATION

Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Name
		None	Single	Dual	Gauge			
Unibody Package (MPX5700 Series)								
MPX5700A	867	•					•	MPX5700A
MPX5700AP	867B		•				•	MPX5700AP
MPX5700AS	867E		•				•	MPX5700A
MPX5700ASX	867F		•				•	MPX5700A
MPX5700D	867	•				•		MPX5700D
MPX5700DP	867C			•		•		MPX5700DP
MPX5700GP	867B		•		•			MPX5700GP

Differentia

14.3 Druksensor

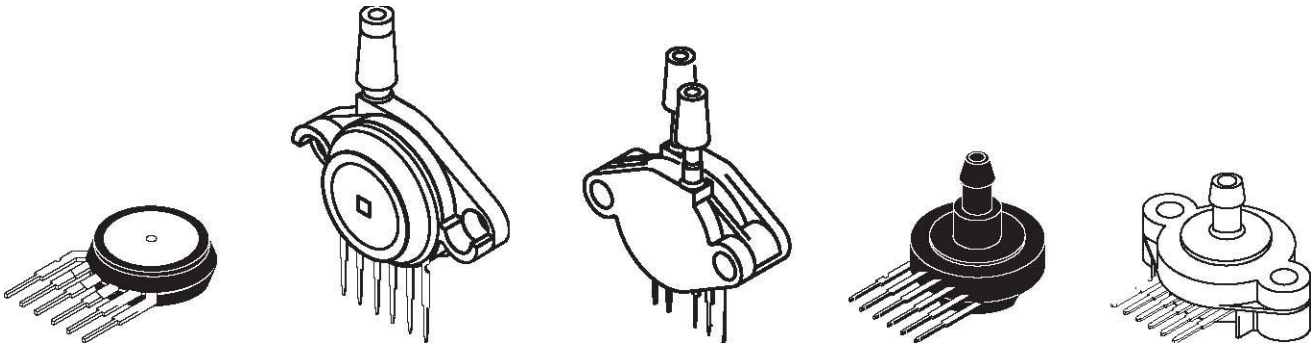
Data Sheet: Technical Data

1. MPX5700GP1 has 90 degree lead form.

UNIBODY PACKAGES

MPX5700A/D MPX5700AP/GP/GP1 MPX5700DP MPX5700AS/GS MPX5700ASX CASE 867-08 CASE 867B-04 CASE 867C-05 CASE 867E-03 CASE 867F-03

© 2007-2009, 2012 Freescale Semiconductor, Inc. All rights reserved.



Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range(1)	Gauge, Differential: MPX5700D Absolute: MPX5700A	P_{OP}	0 15	— —	700 700	kPa
Supply Voltage(2)		V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current		I_O	—	7.0	10	mAdc
Zero Pressure Offset(3)	Gauge, Differential (0 to 85°C) Absolute (0 to 85°C)	V_{off}	0.088 0.184	0.2 —	0.313 0.409	Vdc
Full Scale Output(4)	(0 to 85°C)	V_{FSO}	4.587	4.7	4.813	Vdc
Full Scale Span(5)	(0 to 85°C)	V_{FSS}	—	4.5	—	Vdc
Accuracy(6)	(0 to 85°C)	—	—	—	±2.5	%V_{FSS}
Sensitivity		V/P	—	6.4	—	mV/kPa
Response Time(7)		t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output		I_{O+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time(8)		—	—	20	—	ms

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics (V_S = 5.0 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2. Decoupling circuit shown in required to meet electrical specifications.)

1. Device is ratiometric within this specified excitation range.
2. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
3. Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
4. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
5. Accuracy (error budget) consists of the following: Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range. Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied. Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C. TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C. TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C. Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS}, at 25°C.
6. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
7. Warm-up Time is defined as the time required for the device to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.

MPX5700

Parametrics	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure(2) (P2 ⍰ 1 Atmosphere)	$P1_{max}$	2800	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +125	⍰C
Operating Temperature	T_A	-40 to +125	⍰C

Maximum Ratings

Table 2. Maximum Ratings[1]

1. Maximum Ratings apply to Case 867 only. Extended exposure at the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.
2. This sensor is designed for applications where P1 is always greater than, or equal to P2. P2 maximum is 500 kPa.
3. Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.

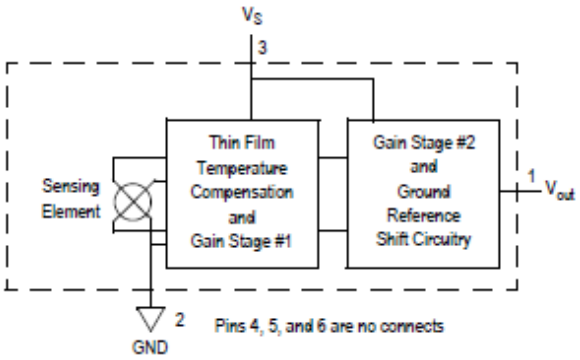


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

On-chip Temperature Compensation and Calibration

Figure 3. illustrates both the Differential/Gauge and the Absolute Sensing Chip in the basic chip carrier (Case 867). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the sensor diaphragm. (For use of the MPX5700D in a high-pressure cyclic application, consult the factory.)

The MPX5700 series pressure sensor operating characteristics, and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Figure 2. shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum, and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 0□ to 85□C using the decoupling circuit shown in . The output will saturate outside of the specified pressure range.

shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

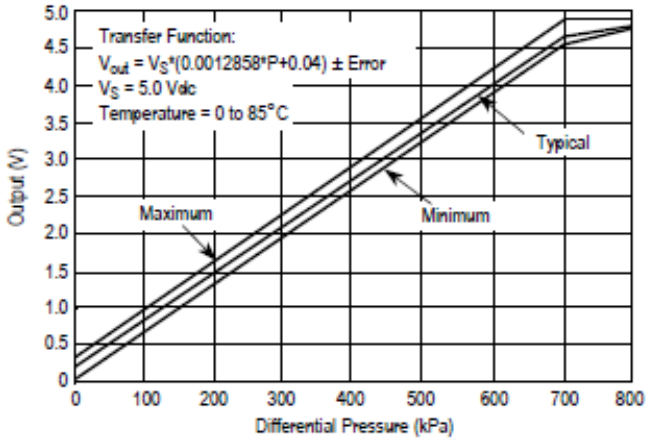


Figure 2. Output vs. Pressure Differential

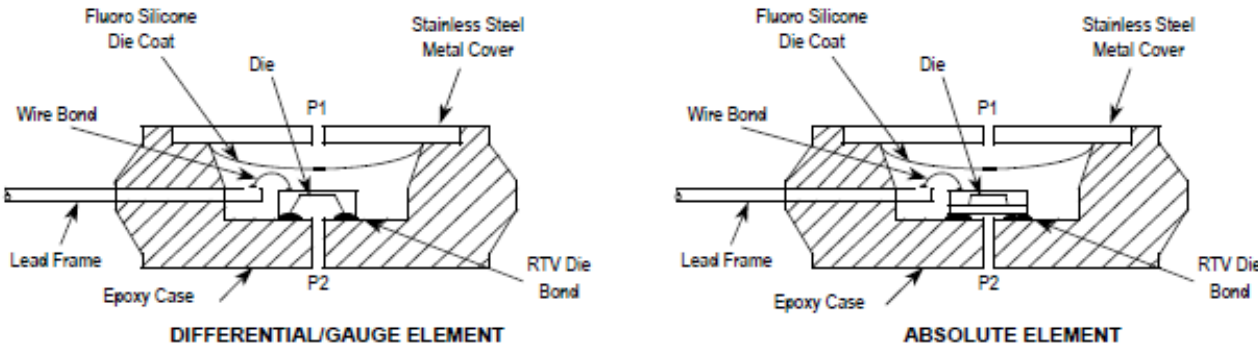


Figure 3. Cross-Sectional Diagrams (not to scale)

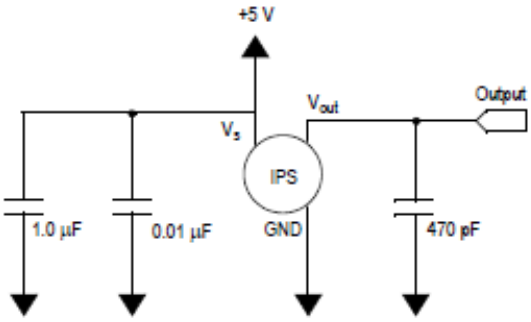


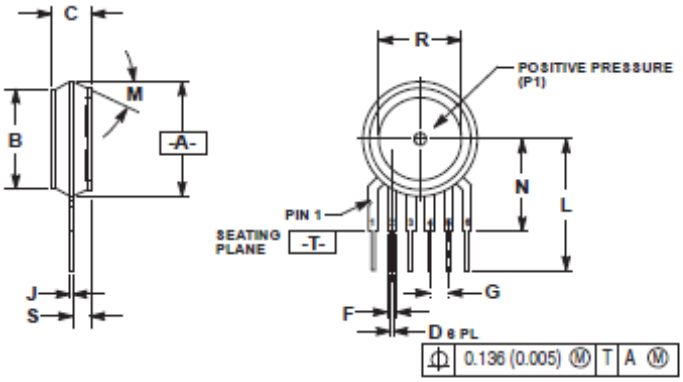
Figure 4. Recommended Power Supply Decoupling and Output Filtering (For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646)

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX5700A/D	867	Stainless Steel Cap
MPX5700DP	867C	Side with Part Marking
MPX5700GP/AP	867B	Side with Port Attached
MPX5700GS/AS	867E	Side with Port Attached
MPX5700ASX	867F	Side with Port Attached

Freescale designates the two sides of the pressure sensor pressure sensor is designed to operate with positive as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The differential pressure applied, P1 > P2. Pressure (P1) side is the side containing fluorosilicone gel The Pressure (P1) side may be identified by using the which protects the die from harsh media. The Freescale MPX following table.

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION -A- IS INCLUSIVE OF THE MOLD STOP RING. MOLD STOP RING NOT TO EXCEED 16.00 (0.630).

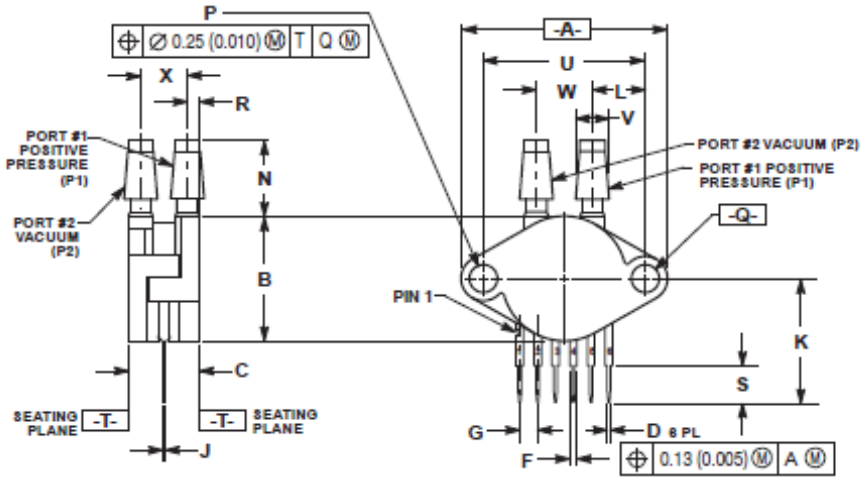
	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.630	15.11	16.00
B	0.514	0.534	13.06	13.56
C	0.200	0.220	5.08	5.59
D	0.027	0.033	0.68	0.84
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.40
L	0.695	0.725	17.65	18.42
M	30° NOM		30° NOM	
N	0.475	0.495	12.07	12.57
R	0.430	0.450	10.92	11.43
S	0.090	0.105	2.29	2.66

STYLE 1:
PIN 1. VOUT
2. GROUND
3. VCC
4. V1
5. V2
6. VEX

STYLE 2:
PIN 1. OPEN
2. GROUND
3. -VOUT
4. VSUPPLY
5. +VOUT
6. OPEN

STYLE 3:
PIN 1. OPEN
2. GROUND
3. +VOUT
4. +VSUPPLY
5. -VOUT
6. OPEN

CASE 867-08
ISSUE N
BASIC ELEMENT

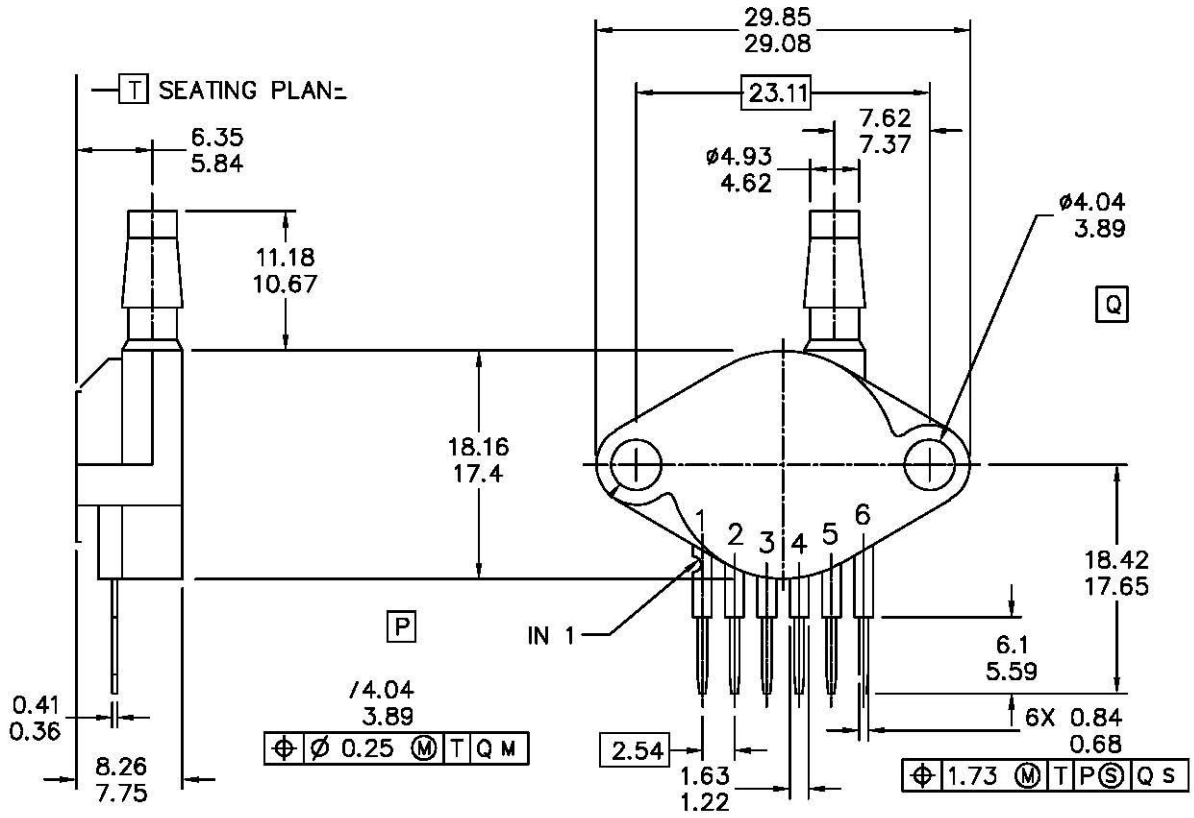


NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.145	1.175	29.08	29.85
B	0.685	0.715	17.40	18.16
C	0.405	0.435	10.29	11.05
D	0.027	0.033	0.68	0.84
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.695	0.725	17.65	18.42
L	0.290	0.300	7.37	7.62
N	0.420	0.440	10.67	11.18
P	0.153	0.159	3.89	4.04
Q	0.153	0.159	3.89	4.04
R	0.063	0.083	1.60	2.11
S	0.220	0.240	5.59	6.10
U	0.910 BSC		23.11 BSC	
V	0.182	0.194	4.62	4.93
W	0.310	0.330	7.87	8.38
X	0.248	0.278	6.30	7.06

STYLE 1:
PIN 1. VOUT
2. GROUND
3. VCC
4. V1
5. V2
6. VEX

CASE 867C-05
ISSUE F
PRESSURE AND VACUUM SIDES PORTED (DP)



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERTICAL	DOCUMENT NO: 98ASB42796B	REV: G
TITLE: SENSOR, 6 LEAD UNIBODY CELL, AP & GP 01ASB09087B		CASE NUMBER: 867B-04	28 JUL 2005
		STANDARD: NON-JEDEC	

PACKAGE DIMENSIONS

PAGE 1 OF 2

CASE 867B-04 ISSUE G PRESSURE SIDE PORTED (AP, GP)

NOTES:

1. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
2. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994.
3. 867B-01 THRU -3 OBSOLETE, NEW STANDARD 867B-04.

STYLE 1:

PIN 1: V OUT
2: GROUND
3: VCC
4: V1
5: V2
6: V EX

PACKAGE DIMENSIONS

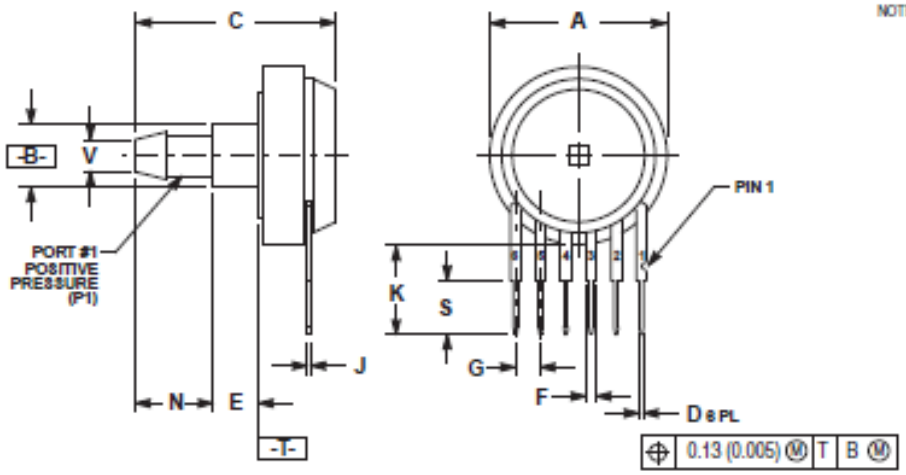
PAGE 2 OF 2

CASE 867B-04 ISSUE G PRESSURE SIDE PORTED (AP, GP)

MPX5700

© FREESCALE SEMICONDUCTOR INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MILLIMETERS	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE: SENSOR, 6 LEAD UNIBODY CELL, AP & GP 01ASB09087B	DOCUMENT NO: 98ASB42796B	REV: G
	CASE NUMBER: 867B-04	28 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC	

PACKAGE DIMENSIONS

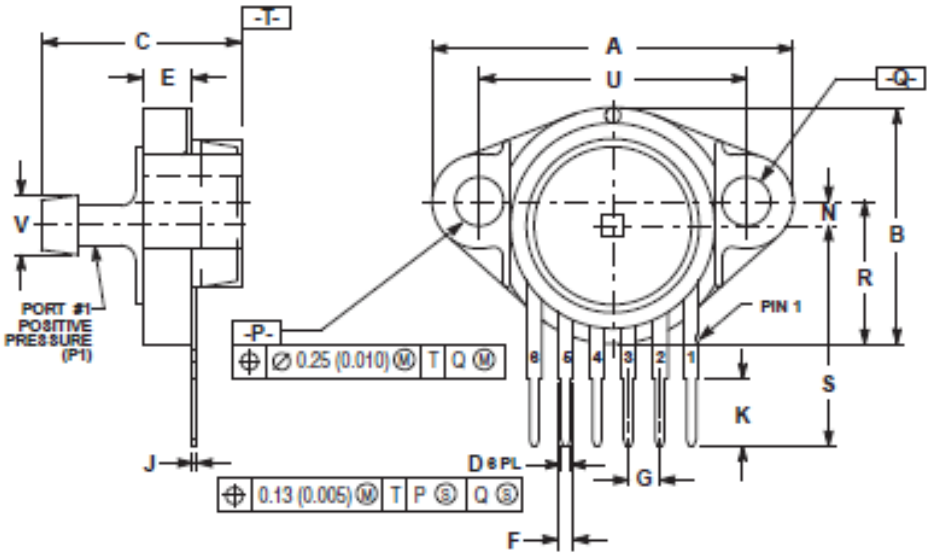


NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES MIN	INCHES MAX	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX
A	0.690	0.720	17.53	18.28
B	0.245	0.255	6.22	6.48
C	0.780	0.820	19.81	20.82
D	0.027	0.033	0.69	0.84
E	0.178	0.186	4.52	4.72
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.345	0.375	8.76	9.53
N	0.300	0.310	7.62	7.87
S	0.220	0.240	5.59	6.10
V	0.182	0.194	4.62	4.93

STYLE 1:
PIN 1. V_{OUT}
2. GROUND
3. V_{CC}
4. V1
5. V2
6. V_{CC}

CASE 867E-03
ISSUE D
PRESSURE SIDE PORTED (AS, GS)



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES MIN	INCHES MAX	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX
A	1.080	1.120	27.43	28.45
B	0.740	0.760	18.80	19.30
C	0.630	0.650	16.00	16.51
D	0.027	0.033	0.68	0.84
E	0.160	0.180	4.06	4.57
F	0.048	0.064	1.22	1.63
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.014	0.016	0.36	0.41
K	0.220	0.240	5.59	6.10
N	0.070	0.080	1.78	2.03
P	0.150	0.160	3.81	4.06
Q	0.150	0.160	3.81	4.06
R	0.440	0.460	11.18	11.68
S	0.695	0.725	17.65	18.42
U	0.840	0.860	21.34	21.84
V	0.182	0.194	4.62	4.93

STYLE 1:
PIN 1. V_{OUT}
2. GROUND
3. V_{CC}
4. V1
5. V2
6. V_{CC}

CASE 867F-03
ISSUE D
PRESSURE SIDE AXIAL PORT (ASX)

Revision number	Revision date	Description of changes
10	10/2012	• On page 1, added a table note to the Ordering Information table indicating that the device MPX5700GP1 has 90 degree lead form.

Table 3. Revision History

How to Reach Us:

Home Page:
freescale.com

Web Support:
freescale.com/support

Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use Freescale products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document.

Freescale reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Freescale makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Freescale assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. “Typical” parameters that may be provided in Freescale data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including “typicals,” must be validated for each customer application by customer’s technical experts. Freescale does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Freescale sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address: freescale.com/salestermsandconditions.

Freescale, the Freescale logo, Energy Efficient Solutions logo, are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc., Reg. U.S. Pat. & Tm. Off. Xtrinsic is a trademark of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners. © 2012 Freescale Semiconductor, Inc.

14.4 Code

```
/*

 Code voor GIP 6IW: de ROV ©

 2015-2016

 Arduino Leonardo

 Benjamin Vandewalle

 Arne De Temmerman

*/


//LIBS

#include <OneWire.h>



//SENSOREN

OneWire  ds(13);  //OneWire bus on pin D7


const uint8_t tempSensWater[] = { 0x28, 0x9E, 0x62, 0xDD, 0x06, 0x00, 0x00, 0x63 }; //temperature of water 28 9E 62 DD 6 0 0
63



unsigned long currentTime;

int gem, seconds, minutes;

float tempWater; //current temperatures


//MOTOREN

const int PWM_1 = 3;

const int dir_11 = 2;

const int PWM_2 = 11;

const int dir_21 = 10;
```

```
const int PWM_3 = 5;

const int dir_31 = 4;



//VARIABLEN

int speed_1 = 0;

int speed_2 = 0;

int speed_3 = 0;

byte Step = 10;

unsigned long time_0 = 0;



void setup() {


  Serial.begin(9600);


  pinMode(dir_11, OUTPUT);


  pinMode(PWM_1, OUTPUT);

  pinMode(dir_21, OUTPUT);


  pinMode(PWM_2, OUTPUT);

  pinMode(dir_31, OUTPUT);


  pinMode(PWM_3, OUTPUT);



}
```

```
void loop() {



 uint8_t dataBuff[9];
 if (millis() - currentTime > 2000)
 {


  ds.reset();
  ds.select(tempSensWater);


  ds.write(0xBE); //read scratchpad (with converted temperature)
  for (uint8_t i = 0; i < 9; i++) {
    dataBuff[i] = ds.read();  //readout 9 bytes (8+CRC)
  }
  //check CRC for valid data
  if (dataBuff[8] == OneWire::crc8(dataBuff, 8)) {


    //convert the data to temperature
    int16_t curTemp = (dataBuff[1] << 8) | dataBuff[0];
    int16_t setTemp = (dataBuff[3] << 8) | dataBuff[2];
    uint8_t conf = (dataBuff[4] >> 5) & 0x3;
    switch (conf) {
      case 0:  //9-bit resolution
        curTemp = curTemp & ~7;
        setTemp = setTemp & ~7;
        break;
      case 1:  //10-bit resolution
        curTemp = curTemp & ~3;
```

```
      setTemp = setTemp & ~3;
      break;
    case 2:  //11-bit resolution
      curTemp = curTemp & ~1;
      setTemp = setTemp & ~1;
      break;
    default: //12-bit resolution
      break;
   }
   tempWater = float(curTemp) / 16.0;

  }//for
  //issue a new conversion
  dataBuff[0] = 0xCC; //skip ROM, so call all addresses on bus
  dataBuff[1] = 0x44; //convert temperature to scratchpad
  ds.reset();
  ds.write_bytes(dataBuff, 2);      //write to scratchpad
  delay(10);                  //wait for 10ms
  currentTime = millis();
 }



 seconds = (millis() - time_0) / 1000;
 minutes = seconds / 60;
 seconds %= 60;



 if (Serial.available()) {
```

```
int inByte = Serial.read();


switch (inByte) {

  case '8':
    speed_1 += Step;
    speed_2 += Step;
    break;

  case '5':
    speed_1 -= Step;
    speed_2 -= Step;
    break;

  case'4':
    speed_1 -= Step;
    speed_2 += Step;
    break;

  case '6':
    speed_1 += Step;
    speed_2 -= Step;
    break;

  case '7':
    speed_1 = 0;
    speed_2 = 0;
    break;
```

```
  case '9':
    gem = (speed_1 + speed_2) / 2 - ((speed_1 + speed_2) / 2) % Step;
    speed_1 = gem;
    speed_2 = gem;
    break;

  case '+':
    speed_3 += Step;
    break;

  case '-':
    speed_3 -= Step;
    break;

  case '*':
    speed_3 = 0;
    break;

  case'r':
    time_0 = millis();
    break;

  default:
    ;
}
speed_1 = constrain(speed_1, (254 % Step) - 254, 254 - (254 % Step));
speed_2 = constrain(speed_2, (254 % Step) - 254, 254 - (254 % Step));
speed_3 = constrain(speed_3, (254 % Step) - 254, 254 - (254 % Step));
```

```
analogWrite(PWM_1, abs(speed_1));
analogWrite(PWM_2, abs(speed_2));
analogWrite(PWM_3, abs(speed_3));

if (speed_1 >= 0)
{
  digitalWrite(dir_11, LOW);

}
else
{
  digitalWrite(dir_11, HIGH);

}

if (speed_2 >= 0)
{
  digitalWrite(dir_21, HIGH);

}
else
{
  digitalWrite(dir_21, LOW);

}

if (speed_3 >= 0)
{
```

```
    digitalWrite(dir_31, LOW);

  }
  else
  {
    digitalWrite(dir_31, HIGH);

  }
}

Serial.print("Time:  ");
Serial.print(minutes);
Serial.print(":");
Serial.print(seconds);
Serial.print("  Temperature: ");
Serial.print(tempWater, 1);
Serial.print("C   ");
Serial.print(speed_1);
Serial.print("   ");
Serial.print(speed_2);
Serial.print("   ");
Serial.println(speed_3);

}
```

14.5 Logboeken

14.5.1 Derynck Simon

NAAM: Simon Derynck		
Datum	Beschrijving	Tijd
2/09/15	Idee/ontwerp	8:30-10:10
5/09/15	Ontwerp / keuze onderdelen	13:30-18:30
6/09/15	Ontwerp / keuze onderdelen / berekeningen	13:30-17:30
7/09/15	Keuze onderdelen/ berekeningen	19:00-21:00
12/09/15	Ontwerp / berekeningen / ppt eerste voorstelling	9:15-12:00
16/09/15	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ppt eerste voorstelling	10:25-12:05
16/09/15	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ppt eerste voorstelling	14:00-18:00
19/09/15	ptt eerste voorstelling	13:30-18:00
21/09/15	Voorbereiding Eerste voorstelling	18:00-22:00
1/10/15	Taakverdeling	2 uur
6/10/15	Onderzoek arduino	2 uur
10/10/15	Groep: onderzoek schroeven	4 uur

27/10/15	School:Systeem der staalname	2 uur
28/10/15	School: staalname en schroeven	4 uur
29/10/15	School: van alles wat	6 uur
30/10/15	Programmeren servo en staalname	4 uur
3/11/15	Staalname: weinig kunnen doen door probleem met trace parts en 3D-modellen	2 uur
4/11/15	Groep: testen webcam in water en effluent, beginnen aan tekst schroeven	4,5 uur
9-13/11/15	School & thuis	
18/11/15	Groep: powerpoint	3 uur
21/11/15	Groep: powerpoint	4 uur
9/01/16	Met Aaron: Site & chemie (spectrometrie)	4 uur
12/01/16	Overlopen ingediende documenten in les met D.V.	1 uur
20/01/16	Tekst schroeven voor GIP-boek	2 uur
26/01/16	Tekst schroeven voor GIP-boek verbeterd	30 min
27/01/16	School: logboek aangevuld & bijleren programmeren arduino	2 uur
17/02/16	Met aaron: chemie	4 uur

25/02/16	Chemie verbeterd	1,5 uur
29/02/16	Brainstorm ppt 3	1 uur
3/03/16	GIP in klas (elektriciteit)	2 uur
5/03/16	Groep: GIP-boek & ppt 3	3 uur
8/03/16	Labo met pompjes voor vermogen/rendement	2 uur
10/03/16	GIP in klas	1 uur
12/03/16	Powerpoint 3 samen met Aaron	4 uur
13/03/16	Powerpoint 3 + voorlopig GIP-boek afgewerkt	3 uur
Week 14-20/03	GIP-boek	8 uur
Week 21-27/03	(projectweek) GIP-boek + constructie	32 uur
Week 11-17/04	GIP-boek	3 uur
Week 18-24/04	GIP-boek	3 uur
Week 25/04-1/05	GIP-boek	3 uur
Week 2-8/05	GIP-boek	8 uur
Week 9-15/05	GIP-boek	3 uur
Week 16-22/05	GIP-boek	5 uur

Week 23-29/05	GIP-boek	1 uur
Week 30/05-5/06	GIP-boek	11 uur
6/06/16	GIP-boek	4 uur
7/06/16	GIP-boek	5 uur
8/06/16	GIP-boek	4 uur
9/06/16	GIP-boek	2 uur

14.5.2 Desmet Florian

NAAM: *Florian Desmet*		
Datum	Beschrijving	Tijd
02/09/2015	Idee/ontwerp	8:30-10:10
05/09/2015	Ontwerp / keuze onderdelen	13:30-18:30
06/09/2015	Ontwerp / keuze onderdelen / berekeningen	13:30-17:30
07/09/2015	Keuze onderdelen/ berekeningen	19:00-21:00
12/09/2015	Ontwerp / berekeningen / ppt eerste voorstelling	9:15-12:00
16/09/2015	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ppt eerste voorstelling	10:25-12:05

16/09/2015	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	14:00-18:00
19/09/2015	ptt eerste voorstelling	13:30-18:00
21/09/2015	Voorbereiding Eerste voorstelling	18:00-22:00
02/10/2015	Vergadering taakverdeling	18:45-20:00
06/10/2015	Opzoeken licht	10:15-12:05
27/10/2015	Projectweek labo titratie	6u
28/10/2015	Projectweek geschiedenis ROV	4u
29/10/2015	Projectweek geschiedenis ROV	5u
30/10/2015	Projectweek geschiedenis ROV	4u
1/11/2015	Vergadering voorlopige stand van zaken en taakverdeling evalueren	1u
22/11/2015	Voorbereiding GiP-presentatie	1u
23/11/2015	Voorbereiding GiP-presentatie	3u
09/01/2016	Thermocline	1u 30
12/01/2016	Evaluatie GIP	1u
14/01/2016	Thermocline	1u
27/01/2016	Thermocline: grootste ρ voor water bij 4°C	2u

13/02/2016	Uitzetting materiaal berekenen	2u
22/02/2016	risicoanalyse	2u
01/03/2016	Verbetering tekst thermocline	2u 30
02/03/2016	Verbetering tekst thermocline	2u
03/03/2016	Verbetering tekst thermocline	1u
10/03/2016	Risicoanalyse	1u
14/03/2016	Voorbereiding 3e GiP-presentatie	2u
18/03/2016	Verbetering thermocline H-bruggen	2u
21/03/2016	Lijst technische termen	2u
21/03/2016	Geschiedenis ROV eerste commerciële ROV's	6u
22/03/2016	Risicoanalyse afwerken	1u
22/03/2016	Ges ROV verdere carrière commerciële ROV's	2u
22/03/2016	Labo spectrometrie	4u
23/03/2016	Aanvullen en uittypen logboek	1u
	Bedrijfsbezoek DECO	4u
	Thermocline en geschiedenis helpen plaatsen in GiP-boek	1u

09/05/2016 – 12/05/2016	Praktische realisatie en voorbereiding opendeurdag	8u
13/05/2016	Voorbereiding opendeurdag	6u
16/05/2016	Opendeurdag	3u
19/05/2016	Praktische realisatie en laden voor metal awards	1u
20/05/2016	GP metal awards	7u
06/06/2016	Benaming afbeeldingen GiP boek	1u
08/06/2016	Powerpoint eindpresentatie	1u

14.5.3 De Temmerman Arne

NAAM: Arne De Temmerman		
Datum	Beschrijving	Tijd
2/09/15	Idee/ontwerp	8:30-10:10
5/09/15	Ontwerp / keuze onderdelen	13:30-18:30
6/09/15	Ontwerp / keuze onderdelen / berekeningen	13:30-17:30
7/09/15	Keuze onderdelen/ berekeningen	19:00-21:00
12/09/15	Ontwerp / berekeningen / ptt eerste voorstelling	9:15-12:00

16/09/15	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	10:25-12:05
16/09/15	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	14:00-18:00
19/09/15	ptt eerste voorstelling	13:30-18:00
21/09/15	Voorbereiding Eerste voorstelling	18:00-22:00
23/09/15	Berekeningen	4
22/09/15	1ste pwp	1.5
1/10/15	Vergadering/takenverdeling	1
4/10/15	Berekening	6
2/10/15	Ontwerp aanpassen	3
7/10/15	Ontwerp	2
8/10/15	Berekeningen	3
10/10/15	Gip vergadering	3
15/10/15	Berekeningen	4
24/10/15	Berekeningen	3
27/10/15	Berekeningen	2
28/10/15	Berekeningen	4

29/10/15	Berekeningen	5
30/10/15	Berekeningen	4
4/11/15	Vergadering	5
5/11/15	Berekeningen	5
8/11/15	Arduino	6
17/11/15	Logboek	1
5/1/16	Arduino	3
6/1/16	Arduino	
13/1/16	Arduino	2
16-17-20/01/16	Chemie	12
29-31/01/16	Arduino motoren	2u
Februari	Arduino, code schrijven en testen Berekening Elektronica, sensoren schakelen Chemie	30u 5u 10u 5u
Maart	Arduino	20u

	Chemie	3u
April	Rov maken, Tekeningen, solid edge, behuizing tekenen Controle, herbereken Arduino	10u 20u 5u 3u
Mei	Arduino Gp-awards, opendeur Teksten schrijven, verbeteren Rov maken,	20u 12u 30u 15u
juni	Gipboek, logboek in orde stellen, teksten afwerken, verbeteren, gip voorstelling	15u

14.5.4 Schoonbaert Flor

NAAM: Flor Schoonbaert		
Datum	Beschrijving	Tijd
2/09/'15	Idee/ontwerp	8:30-10:10
5/09/'15	Ontwerp / keuze onderdelen	13:30-22:30
6/09/'15	Ontwerp / keuze onderdelen / berekeningen	13:30-21:30
7/09/'15	Keuze onderdelen/ berekeningen	19:00-21:00

12/09/’15	Ontwerp / berekeningen / ptt eerste voorstelling	9:15-12:00
16/09/’15	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	10:25-12:05
16/09/’15	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	14:00-18:00
19/09/’15	ptt eerste voorstelling	13:30-18:00
21/09/’15	Voorbereiding Eerste voorstelling	18:00-22:00
1/10/’15	Taakverdeling	18:00-19:30
7/10/’15	Verder werken aan ontwerp en drijfvermogen verbeteren	10:20-12:00
7/10/’15	Verbeteren van drijfvermogen en ontwerp verbeteren	14:15-18:00
8/10/’15	Rexroth profielen afhalen en verwerken in ontwerp	17:00-19:45
15/10/’15	Verbeteren van drijfvermogen in ontwerp	19:00-20:00
26/10/’15 tot 30/10/’15 (projectweek)	Het ontwerp optimaliseren en het maken van de kostenraming	08:25-16:00

27/10/’15	Maken van een kostenraming	10:25-12:05
28/10/’15	Verder werken aan kostenraming	10:25-12:05
29/10/’15	Veranderen ontwerp	10:25-12:05 13:15-16:00
29/10/’15	Verder afwerken nieuw ontwerp	18:00-21:00
30/10/’15	Opzoekwerk i.v.m. drijfvermogen	18:00-21:00
31/10/’15	Verbeteren drijfvermogen nieuw ontwerp	19:00-22:00
03/11/’15	Berekenen stabiliteit en drijfvermogen	14:00-16:00
04/11/’15	Kostenraming aanpassen/testen camera	13:30-18:00
11/11/’15	Aanpassen thrusters - bilgepompen	13:00-16:30
13/11/415	Overleggen over GIP voorstelling	15:10-16:00

15/11/’15	Aanpassen ontwerp: drijfvermogen aanpassen	17:00-22:00
18/11/’15	Kostenraming updaten/maken van ppt voorstelling	13:00-17:00
19/11/’15	Beugels plaatsen en bezoek Oostende voorbereiden	18:30-23:00
29/12/’15	Bepalen zwaartepunt en drijfpunt	17:00-19:00
30/12/’15	Bestellijst maken	13:30-17:00
04/01/’16	Verslag over zuurgraad, waterdichte doorvoering	17:00-21:00
05/01/’16	Waterdichte doorvoering bespreken, evolutie ontwerpen	17:00-22:30
06/01/’16	Bestellen thrusters en schroeven	10:20-12:00
13/01/’16	Straalbuis rond schroeven bespreken met praktijkleerkrachten en verbeteren	10:20-12:00
20/01/’16	Aangepaste straalbuis in samenstelling thruster plaatsen	10:20-12:00

27/01/’16	Bespreken en bestellen stukken elektronica	10:20-12:00
03/02/’16	Ombouwen van 1 thruster, koppelstuk aanpassen en de hele samenstelling van de thruster op punt zetten	10:20-12:00
06/02/’16	Verslag stabiliteit en waterdichte doorvoering verbeteren	11:30-15:00
09/02/’16	Verslag materialenkeuze maken	14:00-19:00
14/02/’16	Verslag ombouwen van de thrusters maken	13:00-15:00
17/02/’16	2D tekeningen maken van zijwanden, beschermkapjes en koppelstukken	14:00-18:00
02/03/’16	Elektronicabehuizing bespreken met een vertegenwoordiger van het bedrijf SPIE	10:25-11:15
02/03/’16	2D tekeningen aanpassen en verbeteren, 3D elektronicabehuizing aanpassen, materialenkeuze aanpassen	14:00-17:00
13/03/’16	Voorstelling voorbereiden	13:30-16:00
14/03/’16	Berekeningen momenten afwerken/bespreken	13:15-14:55
14/03/’16	Berekeningen momenten invoegen in document van plaatsing thrusters en dit document uitbreiden en verbeteren	18:00-22:30
15/03/’16	GIP voorstelling	17:30-20:00

18/03/'16	Plaatsing en keuze thruster en stabiliteit samenvoegen in 1 document, keuze van de thrusters in het document van materiaalkeuze plaatsen	10:25-12:05
19/03/'16	Het nieuwe document 'stabiliteit van de ROV onder water' bijwerken, ontwerp bijwerken	13:00-17:00
21/03/'16	Verder uitwerken van het document ivm met de stabiliteit	8:30-16:50
22/03/'16	Materiaalkeuze aanpassen en uitbreiden	8:30-12:05
23/03/'16	Opzoekwerk ivm met H-bruggen	8:30-12:05
24/03/'16	Profielen op maat zagen en het frame assembleren	8:30-16:00
04/04/'16	Stabiliteit aanpassen aan verbetering	14:00-15:00
25/04/'16	GIP uitleggen aan dhr. Geeraert	13:15-14:55
26/04/'16	Evolutie ontwerpen beschrijven, elektrische schakeling samenstellen en testen	10:25-12:05
27/04/'16	3D-samenstelling bijwerken, tekeningen sorteren	10:25-12:05
27/04/'16	3D-samenstelling afwerken, 2D-tekeningen	14:00-16:00
03/05/'16	Elektronica schakelen en bekijken hoe te plaatsen in de ROV	17:00-19:20

03/05/’16	Elektronica paneel maken	20:00-21:30
04/05/’16	Nagaan als het paneel in de ROV past en of het mogelijk is om de elektronica zo te bevestigen	10:20-12:00
04/05/’16	Elektronica paneel afwerken	14:00-17:00
06/05/’16	Gaten maken en draadtappen voor wartels in flenzen	11:30-12:30
09/05/’16	Bouten en moeren plaatsen in 3D tekening Properties invullen	19:00-23:00
10/05/416	Kabelleren van ROV Samenstelling in 2D maken	10:25-13:10
10/05/’16	Verder kabelleren ROV en testen	17:00-19:00
10/05/’16	Properties verder aanvullen en samenstelling in 2D verbeteren	20:30-23:30
11/05/’16	2D-tekeningen overlopen en verbeteren	10:20-12:00
11/05/’16	ROV testen op waterdichtheid	14:00-18:00
12/05/’16	Elektronica testen na waterschade	12:05-13:10
13/05/’16	Waterdicht maken van de ROV	10:10-20:00

14/05/'16	Elektronica testen en ROV opnieuw kabelleren en waterdicht maken	10:00-17:00
16/05/'16	Gedrag ROV testen in water en bijsturen ROV voorstellen op opendeurdag	09:00-18:00
18/05/'16	ROV opendoen, elektronica bekijken en schade vaststellen	10:20-12:00
19/05/'16	Elektronica opnieuw testen	12:05-13:10 16:00-20:30
20/05/'16	ROV terug samenstellen, stand klaarzetten voor GP awards, ROV voorstellen op GP awards	08:00-17:30
23/05/'16	Foto's invoegen in documenten	20:30-22:00
05/06/'16	Document laatste ontwerp maken	20:00-23:00
07/06/'16	De wartels opnieuw waterdichtmaken voor GIP voorstelling.	10:25-12:05

14.5.5 Timbremont Hendrik

NAAM: Hendrik Timbremont		
Datum	Beschrijving	Tijd
2/09/2015	Idee/ontwerp	1u20
5/09/2015	Ontwerp / keuze onderdelen	5u
6/09/2015	Ontwerp / keuze onderdelen / berekeningen	4u

7/09/2015	Keuze onderdelen/ berekeningen	2u
12/09/2015	Ontwerp / berekeningen / ptt eerste voorstelling	2u45
16/09/2015	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	1u30
16/09/2015	Aanpassen tekeningen / berekeningen / ptt eerste voorstelling	4u
19/09/2015	ptt eerste voorstelling	5u
20/09/2015	Verzamelen info maritieme bedrijven	2u
21/09/2015	Voorbereiding Eerste voorstelling	2u
23/09/2016	Leren raspberry pi en python; zoeken contactpersonen	2u30
29/09/2015	Oplijsten opdrachten gip	45 min
30/09/2015	Programmeren	2u30
1/10/2015	Verdelen van opdrachten	1u
4/10/2015	Bezoek marinebasis Zeebrugge	30 min
7/10/2015	Algemene zaken	1u40
10/10/2015	Voorbereiden vergadering	30 min
10/10/2015	Vergadering	3u30
21/10/2015	Bedrijfsbezoek VLIZ	
25/10/2015	Verslag VLIZ + taakverdeling projectweek	2u
	Projectweek + vakantie+ week na de vakantie	
	Vergadering	
	vergadering	
21/11/2015	Vergadering	
21/11/2015	Teksten typen	1u30

6/01/2015	Tekst wat is een rov	2u
9-10/01/15	algemeen	
23/01/2015	Fysica, leren programmeren, sensoren	5u
25/01/2015	Programmeren in 011	2u
27/01/2015	Sensoren	5u
6/02/2015	Fysica	1u30
8/02/2015	Fysica + sensoren	van1u30
februari	sensoren fysica	
1/03/2016	testen motoren	
2/03/2016	maken labo + testen staalname	
21/03/2016	teksen tyen	
22/03/2016	verbeteren zicht onder water en lichtverval + labo chemie	
10/04/2016	Tekst maken staalname	1u50
13/04/2016	Assembleren ROV	2u
15/04/2016	Assembleren ROV	1u
16/04/2016	tekst staalname + lampen	1u30
18/04/2016	labo's motoren + assembleren + leidingsverliezen	4u
20/04/2016	tekst sensoren	1u30
20/04/2016	bezoek deco	2u
23/04/2016	tekst deco	
4/05/2016	Assembleren ROV	2u
5/05/2016	tekst sensoren	1u

10/05/2016	Assembleren ROV	2u
11/05/2016	Assembleren ROV+ tekst sensoren	4u
13/05/2016	sensoren afwerken + inleiding fysica + kosten	2u
21/05/2016	kostenlijst + verloopt testen	2u
22/05/2016	verslag testen	
23/05/2016	to-do lijst maken + mensen aanspreken	1u
week 1juni	teksten afwerken	7u
7/06/2016	rov waterdicht maken	2u

14.5.6 Tolpe Aaron

NAAM: Aaron Tolpe		
Datum	Beschrijving	Tijd
2/09/15	Idee/onderwerp	2 uur
5/09/15	Ontwerp/ keuze onderdelen	5 uur
6/09/15	Ontwerp/ Keuze onderdelen/ berekeningen	4 uur
7/09/15	Keuze onderdelen/ berekeningen	2 uur
12/09/15	Aanpassen tekeningen	2uur 45
16/09/15	Ppt eerste voorstelling	4 uur
19/09/15	Ppt eerste voorstelling	4 uur 45

21/09/15	Voorbereiding eerste voorstelling	4 uur
6/10/15	Bijles Website	3 uur
7/10/151	Oefenen op de website	2 uur
10/10/15	Gip vergadering: website	3 uur
27/10/15	Chemie tekst	2 uur
28/10/15	Chemie titratie	4 uur
29/10/15	School: website, chemie	6 uur
30/10/15	School: website, chemie	4 uur
4/11/15	Testen webcam in water	4 uur 30
10/11/15	chemie	2 uur
18/11/15	Tekst chemie	3 uur
24/11/15	Gip voorstelling 2	2 uur
9/01/16	Site + chemie	4 uur
12/01/16	Tekst Howest	1 uur
19/01/16	Labo Howest	1 uur
20/01/16	Labo Howest	2 uur

25/01/16	Arduino bekijken	2 uur
27/01/16	Bijles Arduino	1 uur 30
10/02/16	Chemie verbeteren	1 uur
17/02/16	Chemie met simon	3 uur
25/2/16	Chemie verbeteren	2 uur
29/02/16	Ppt maken	2 uur
03/03/16	Gip in klas	2 uur
05/05/16	Site werken	2 uur
08/03/16	Labo motoren	1 uur
10/03/16	ppt	1 uur
14/03/16	Werken tekst gip voorstelling	1 uur
15/03/16	Gip voorstelling 3	2 uur
21/03/16	Start projectweek: Franse tekst	Schooldag
22/03/16	Labo spectrometrie	Schooldag
23/03/16	Debiet motoren bekijken	Schooldag
24/03/16	Tekst spectrometrie	Schooldag

25/3/16	Einde projectweek: voorbereiden labo spectrometrie	Schooldag
06/04/16	Tekst spectrometrie	2 uur
	Bedrijfsbezoek Deco	4 uur
12/04/16	Spectrometrie	2 uur
19/04/16	Samensteken rov	2 uur
27/04/16	rov motoren testen	2 uur
01/05/16	opdeurdag	5 uur
03/05/16	rov waterdicht maken	2 uur
10/05/16	rov waterdicht maken	2 uur
20/05/16	Gip awards	5 uur
08/06/16	Logboek typen	1 uur
23/06/16	Gip voorstelling 4	4 uur

14.5.7 Vande Walle Benjamin

NAAM: Benjamin Vande Walle		
Datum	Beschrijving	Tijd(uur)

2/09/15	Idee/ontwerp	8:30-10:10
5/09/15	Ontwerp / keuze onderdelen / Elektronica onderzoek	13:30-18:30
6/09/15	Ontwerp / keuze onderdelen / Elektronica onderzoek	13:30-17:30
7/09/15	Informatie Arduino opzoeken	19:00-21:00
12/09/15	ptt eerste voorstelling / Elektronica opzoeken	9:15-12:00
16/09/15	ptt eerste voorstelling / Elektronica opzoeken	10:25-12:05
16/09/15	ptt eerste voorstelling / Elektronica opzoeken	14:00-18:00
19/09/15	ptt eerste voorstelling / Elektronica opzoeken	13:30-18:00
21/09/15	Voorbereiding Eerste voorstelling	18:00-22:00
23/09/15	Arduino, camera, sensoren, motoren opzoeken en berekenen nodig vermogen	4
22/09/15	eerste voorstelling	2
1/10/15	GIP vergadering / takenverdeling	2
2/10/15	Opzoeken Arduino/ motoren / sensoren	
3/10/15	Staalname systeem onderzoeken	2
7/10/15	Staalname systeem / servo met arduino onderzoeken	1
8/10/15	Arduino	2

10/10/15	Gip vergadering	5
11/10/15	Onderzoek Arduino / Motoren / Sensoren / Verlichting	
14/10/15	Onderzoek Arduino / Motoren / Sensoren / Verlichting	2
16/10/15	Onderzoek Arduino / Motoren / Sensoren / Verlichting	3
22/10/15	Onderzoek Arduino / Motoren / Sensoren / Verlichting	4
28/10/15	Onderzoek Arduino / Sevro/ Motoren / Sensoren / Verlichting	3
30/10/15	Camera bepalen	2
4/11/15	Vergadering : testen webcam / Berekeningen van motoren	6
5/11/15	Onderzoek Arduino / Sevro/ Motoren / Sensoren / Verlichting	6
12/11/15	Onderzoek Arduino / Sevro/ Motoren / Sensoren / Verlichting	4
15/11/15	Onderzoek Arduino / Sevro/ Motoren / Sensoren / Verlichting	2
16/11/15	PPT GIP voorstelling voorbereiden	3
22/11/15	PPT GIP voorstelling voorbereiden	4
23/11/15	PPT GIP voorstelling voorbereiden	2
24/11/15	GIP Voorstelling	3

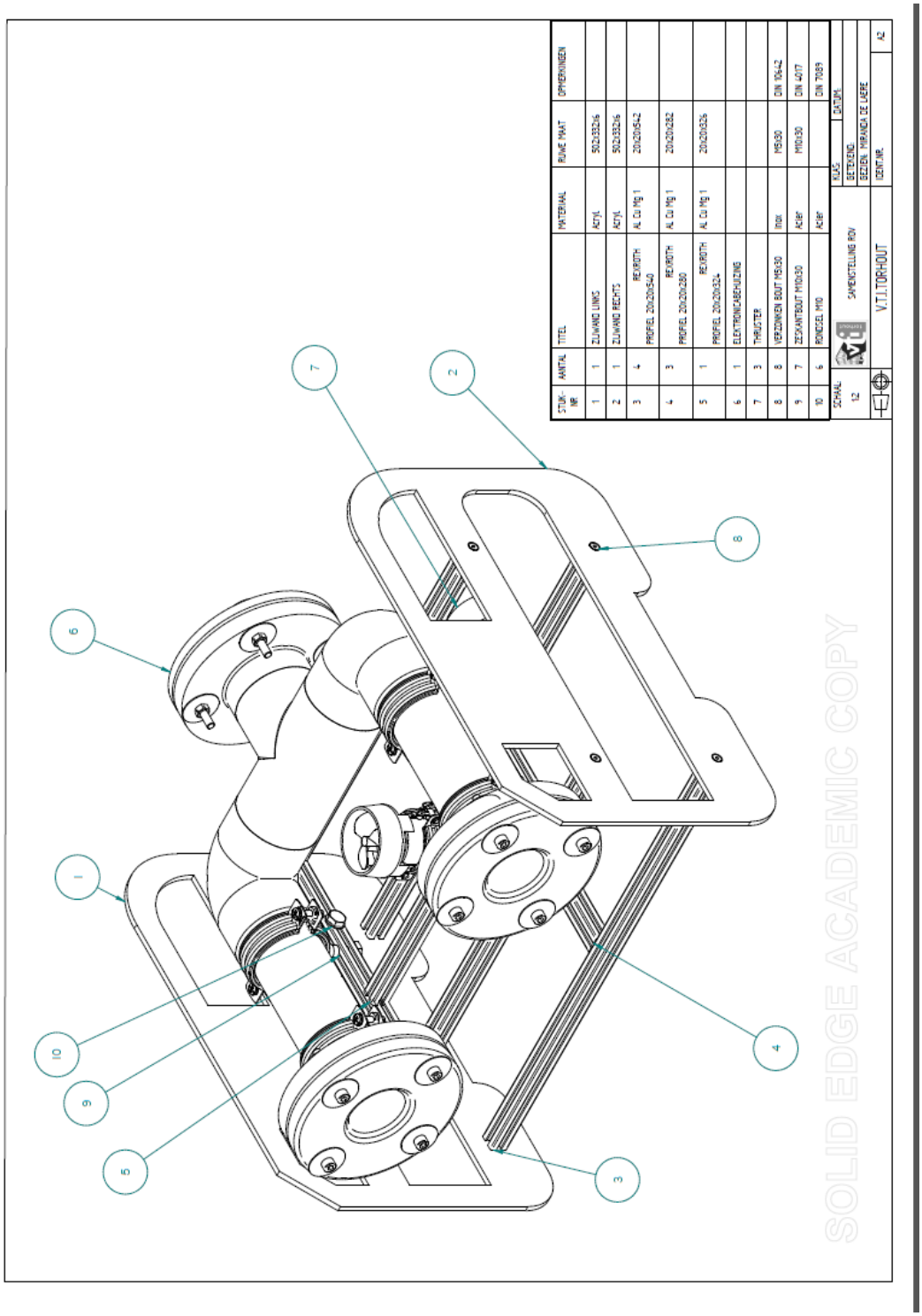
1/5/15	Arduino / Andere motoren zoeken	1
2/5/15	Andere motoren zoeken	2
22/5/15	Naar Brugs Marine Center: motoren	5
23/5/15	Testen motor van Brugs Marine Center	3
30/5/15	Testen motor van Brugs Marine Center	2
6/1/16	Teksten Arduino / sensoren	1
Week 4/1/16	Motoren testen / Arduino / Berekeningen	8
Week 11/1/16	Teksten Arduino / Motoren / Labo's	12
Week 18/1/16	Teksten Arduino / Motoren / Labo's	2
Week 25/1/16	Teksten Arduino / Motoren / Labo's	4
Week 1/2/16	H-Brug onderzoek / Arduino code met H-Brug onderzoeken	6
Week 8/2/16	H-Brug onderzoek / Arduino code met H-Brug onderzoeken	6
Week 15/2/16	H-Brug onderzoek / Arduino code met H-Brug onderzoeken	7
Week 29/2/16-1/3/16	H-Brug onderzoek / Arduino code met H-Brug onderzoeken / Voorstelling voorbereiden	6

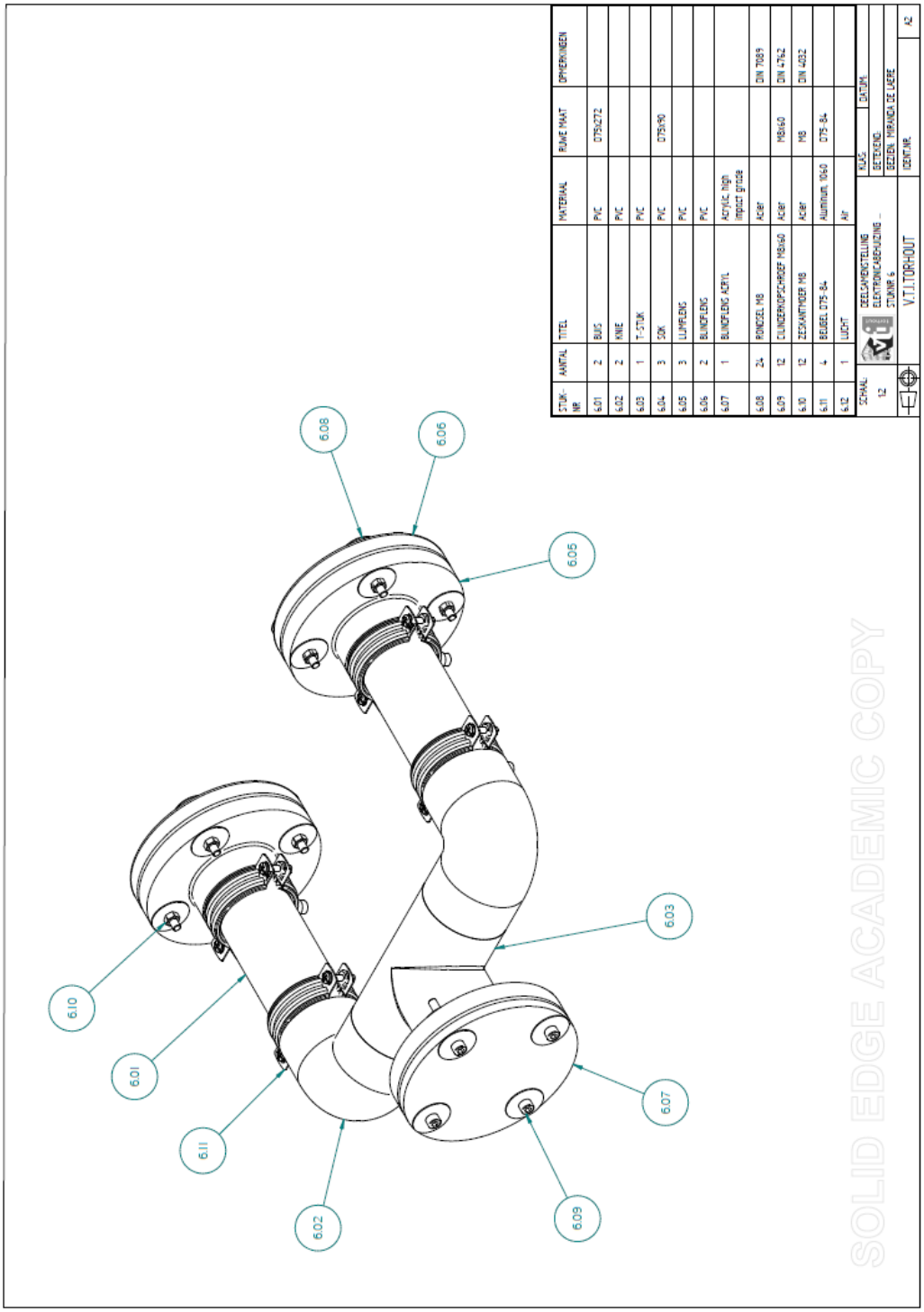
Week 7/3/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Voorstelling voorbereiden	8
Week 14/3/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / GIP voorstelling	10
Week 21/3/16	Projectweek: Volledige schakeling testen en problemen oplossen	20
Week 28/3/16-1/4/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	10
Week 11/4/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	8
Week 18/4/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	5
Week 25/4/16-1/5/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren / Opendeurdag	5
Week 2/5/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	7
Week 9/5/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	5
Week 16/5/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren / GP-Awards	6
Week 23/5/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	6

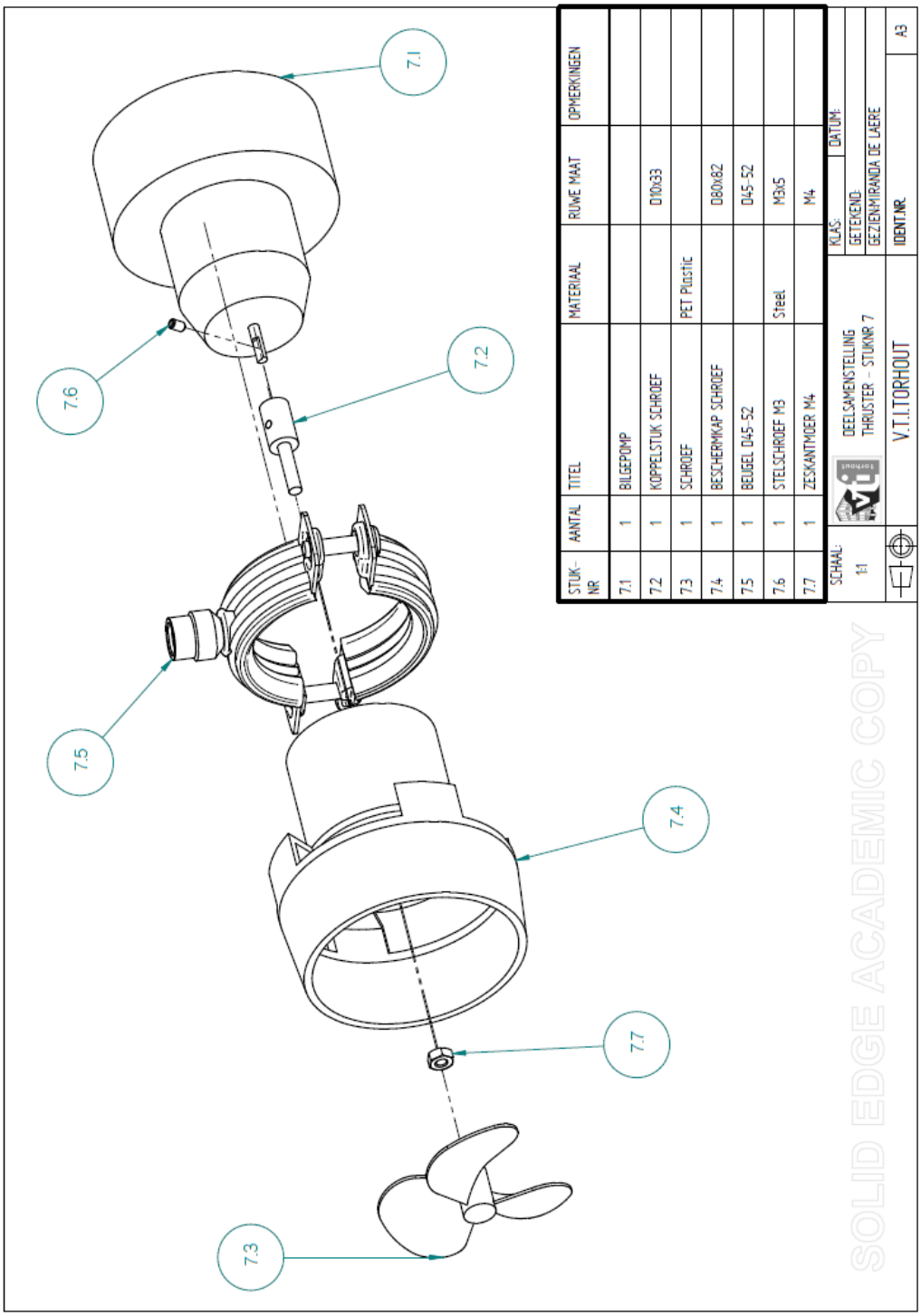
Week 30/5/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren	4
Week 6/6/16	Volledige schakeling testen en problemen oplossen / Waterdicht maken / Teksten H-Brug en motoren / Afwerken	2

14.6 Tekeningen

14.6.1 2D's

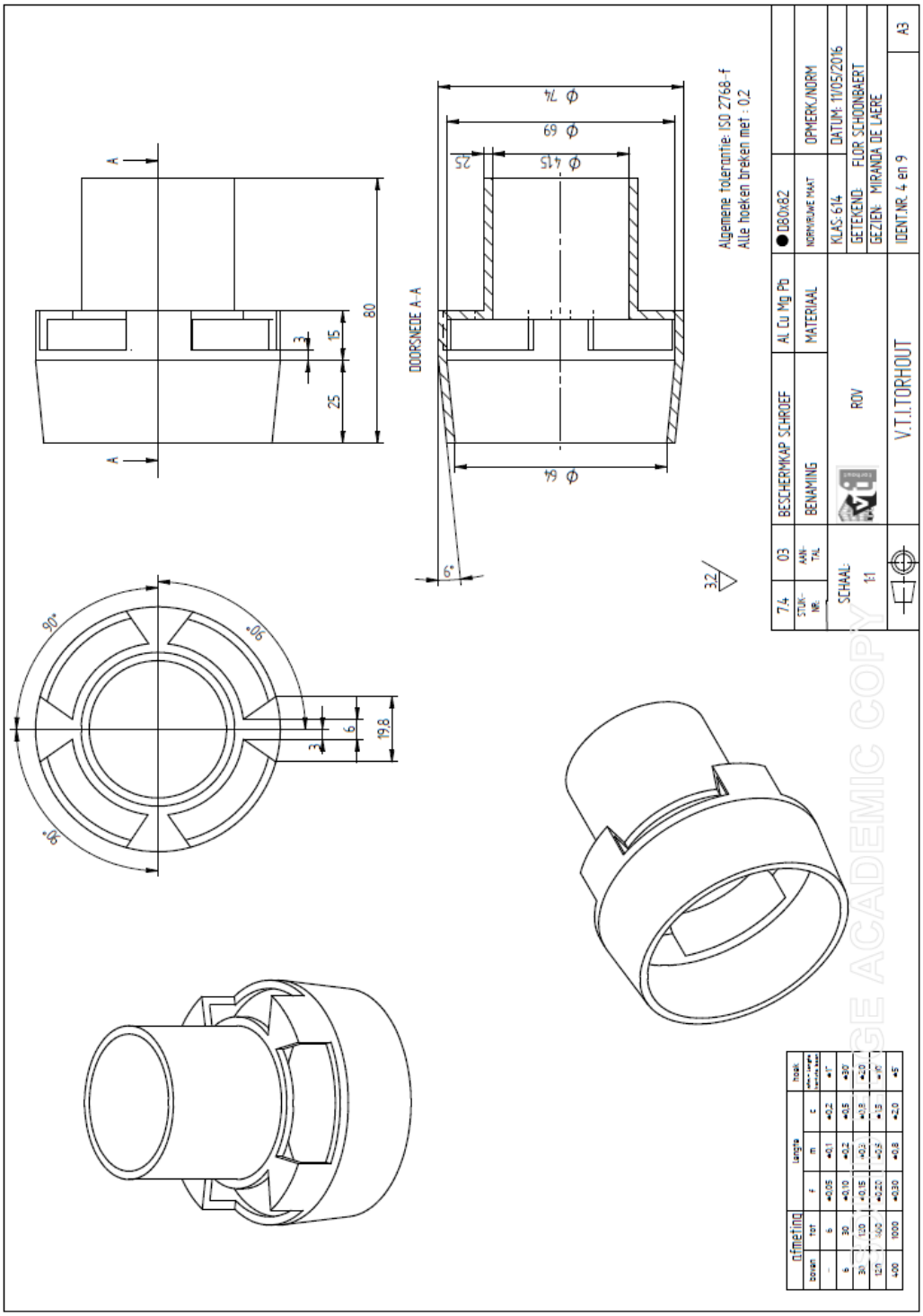


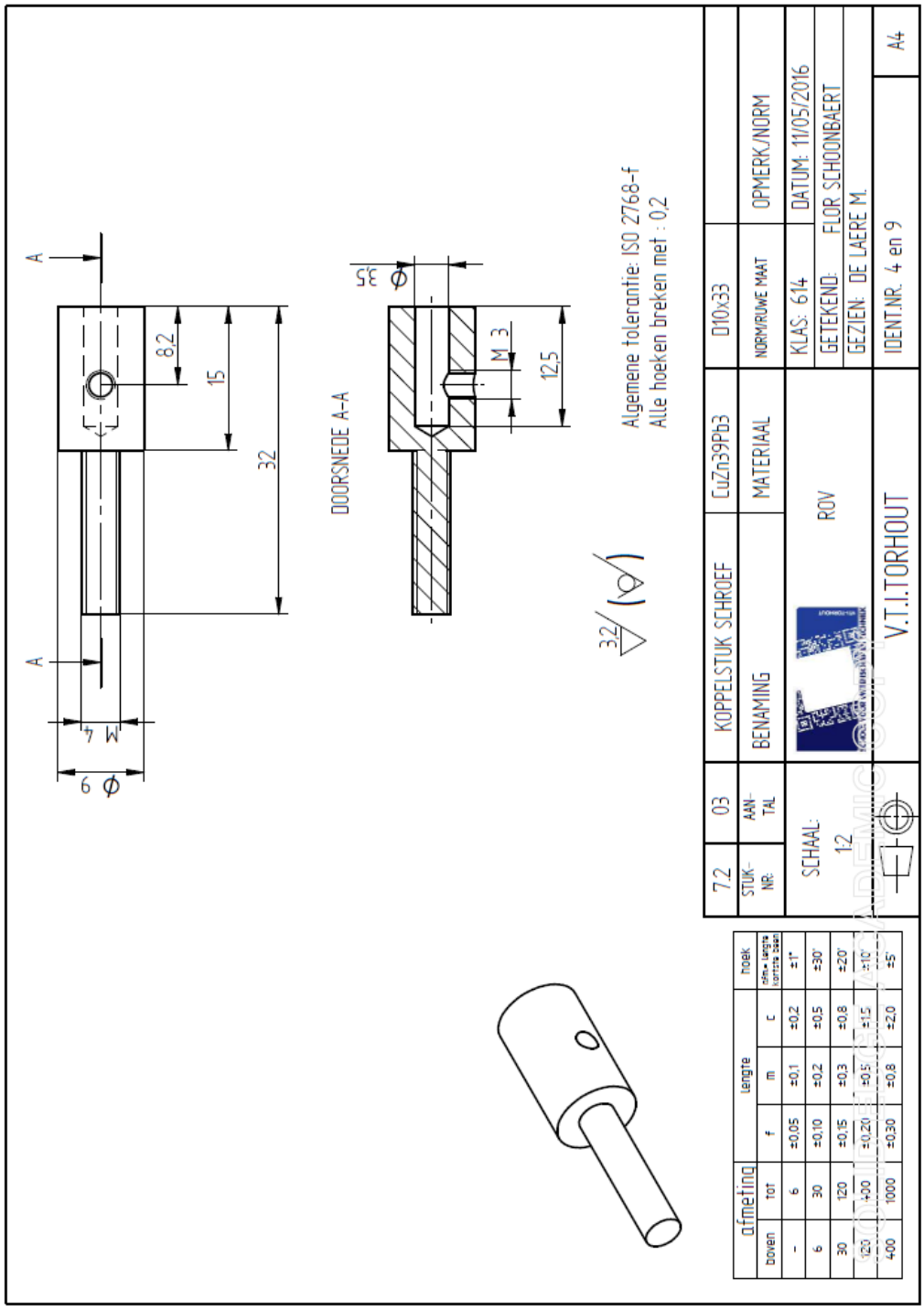

STUK-NR
AANTAL
TITEL
MATERIAAL
RUWE MAAT
OPMERKINGEN
6.01 2 BUIS PVC D75x272
6.02 2 KNIE PVC
6.03 1 T-STUK PVC
6.04 3 SOK PVC D75x90
6.05 3 LUMPLENS PVC
6.06 2 BUNDELENS PVC
6.07 1 BUNDELENS ACRYL Acrylic high impact grade
6.08 24 RONDSEL M8 Acier DIN 7089
6.09 12 CILINDERKOPSCHROEF M8x60 Acier M8x60 DIN 4762
6.10 12 ZESKANTMOER M8 Acier M8 DIN 4032
6.11 4 BEUGEL D75-84 Aluminium 1060 D75-84
6.12 1 LUCHT Air
SCHAAL 1:2
CEELSAMENSTELLING ELECTRONICABEHUZING - STUKNR 6
V.T.TORHOUT
KLAS
GETEKEND
DATUM
SELLEN VIRANDA DE LUGRE
IDENT.NR.
A2
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

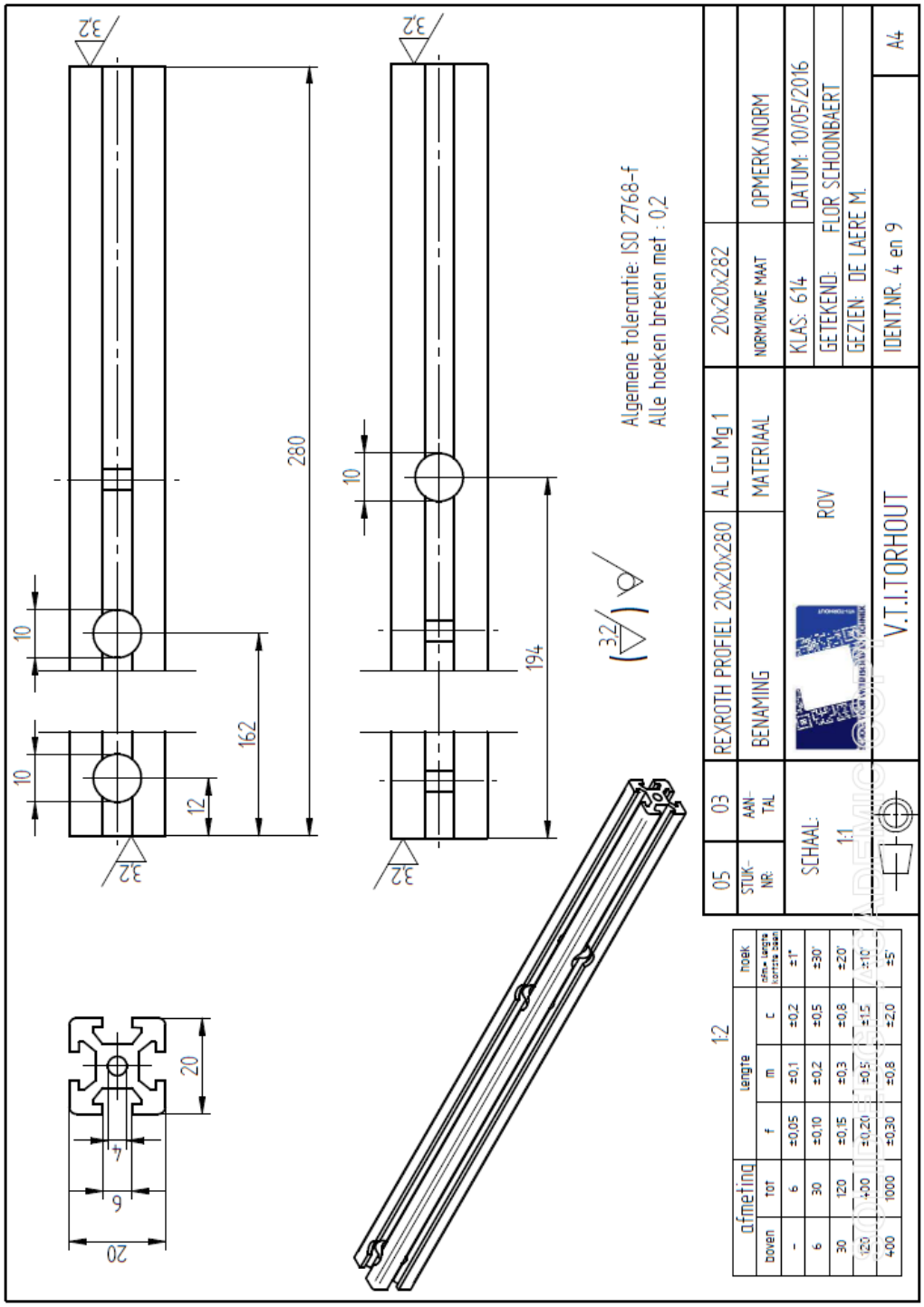


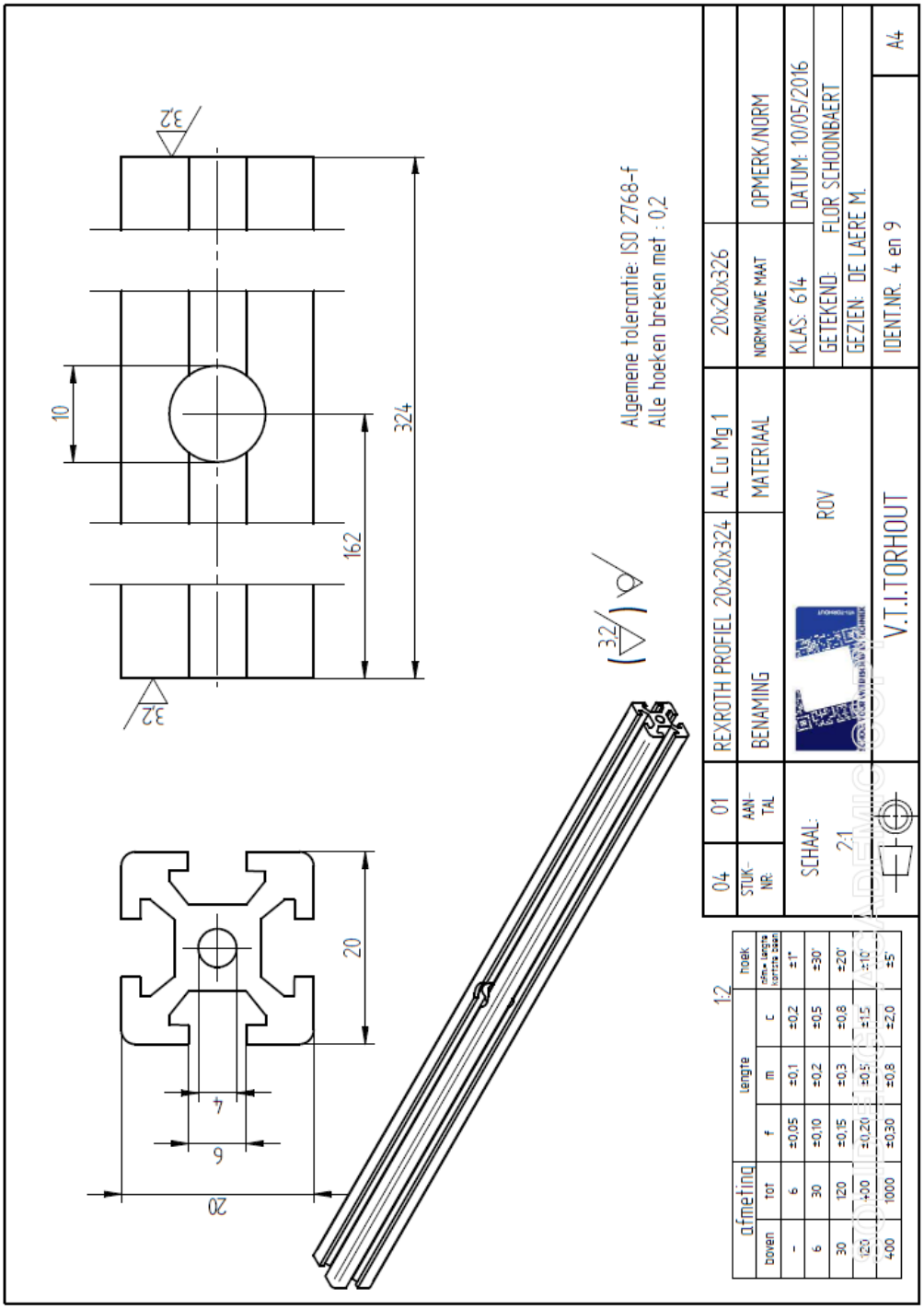
STUK-NR	AANTAL	TITEL	MATERIAAL	RUWE MAAT	OPMERKINGEN
7.1	1	BILGEPOMP			
7.2	1	KOPPELSTUK SCHROEF		D10x33	
7.3	1	SCHROEF	PET Plastic		
7.4	1	BESCHERMKAP SCHROEF		D80x82	
7.5	1	BEUGEL D45-52		D45-52	
7.6	1	STELSCHROEF M3	Steel	M3x5	
7.7	1	ZESKANTMOER M4		M4	

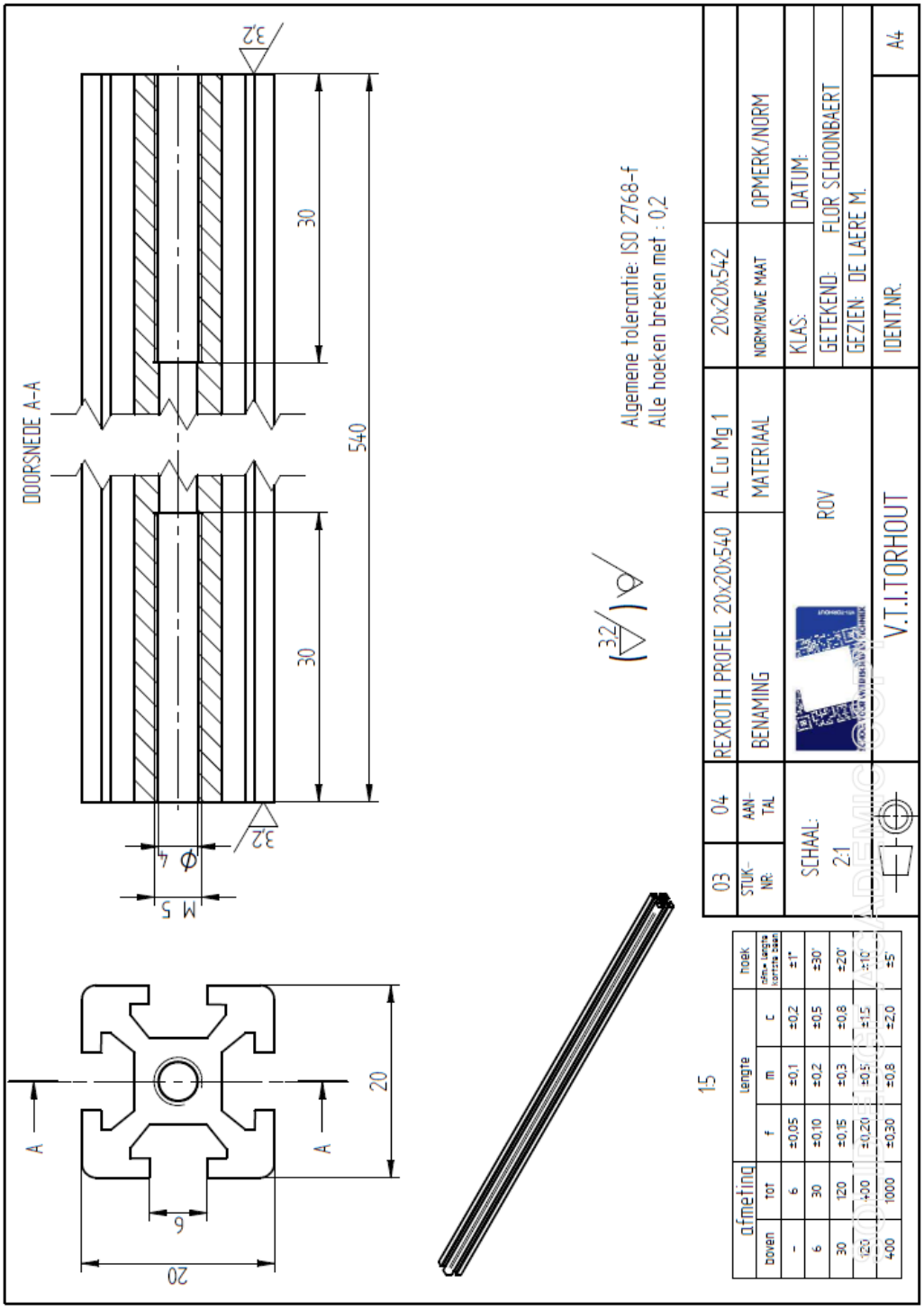
SCHAAL: 1:1
DEELSAMENSTELLING
THRUSTER - STUKNR 7
V.T.I.TORHOUT
KLAS:
DATUM:
GETEKEND:
GEZIENMIRANDA DE LAERE
IDENT.NR.
A3

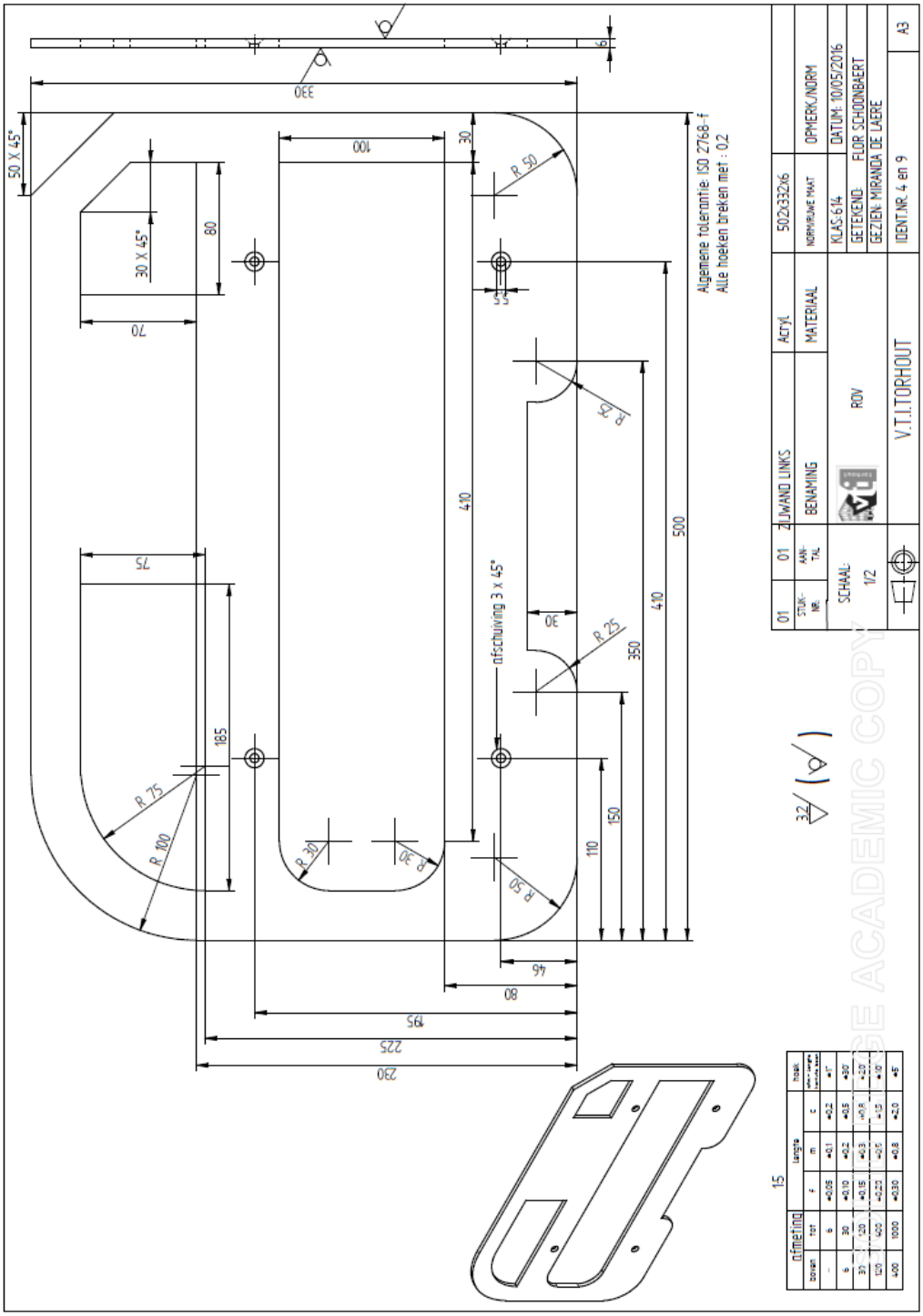

A
A
80
15
3
25
DOORSNEDE A-A
Φ 74
Φ 69
Φ 41,5
25
Φ 64
6°
Algemene tolerantie: ISO 2768-f
Alle hoeken breken met : 0,2
32
90°
90°
90°
90°
19,8
6
3
7.4
STUK-NR.
03
AAN-TAL
BESCHERMKAP SCHROEF
BENAMING
AL Cu Mg Pb
MATERIAAL
Ø80x82
NORMALIWE MAAT
OPMERK./NORM
SCHAAL: 1:1
ROV
KLAS: 614
DATUM: 11/05/2016
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: MIRANDA DE LAERE
V.T.I.TORHOUT
IDENT.NR. 4 en 9
A3
afmeting
boven
tot
f
m
c
hoek
ACADEMIC COPY

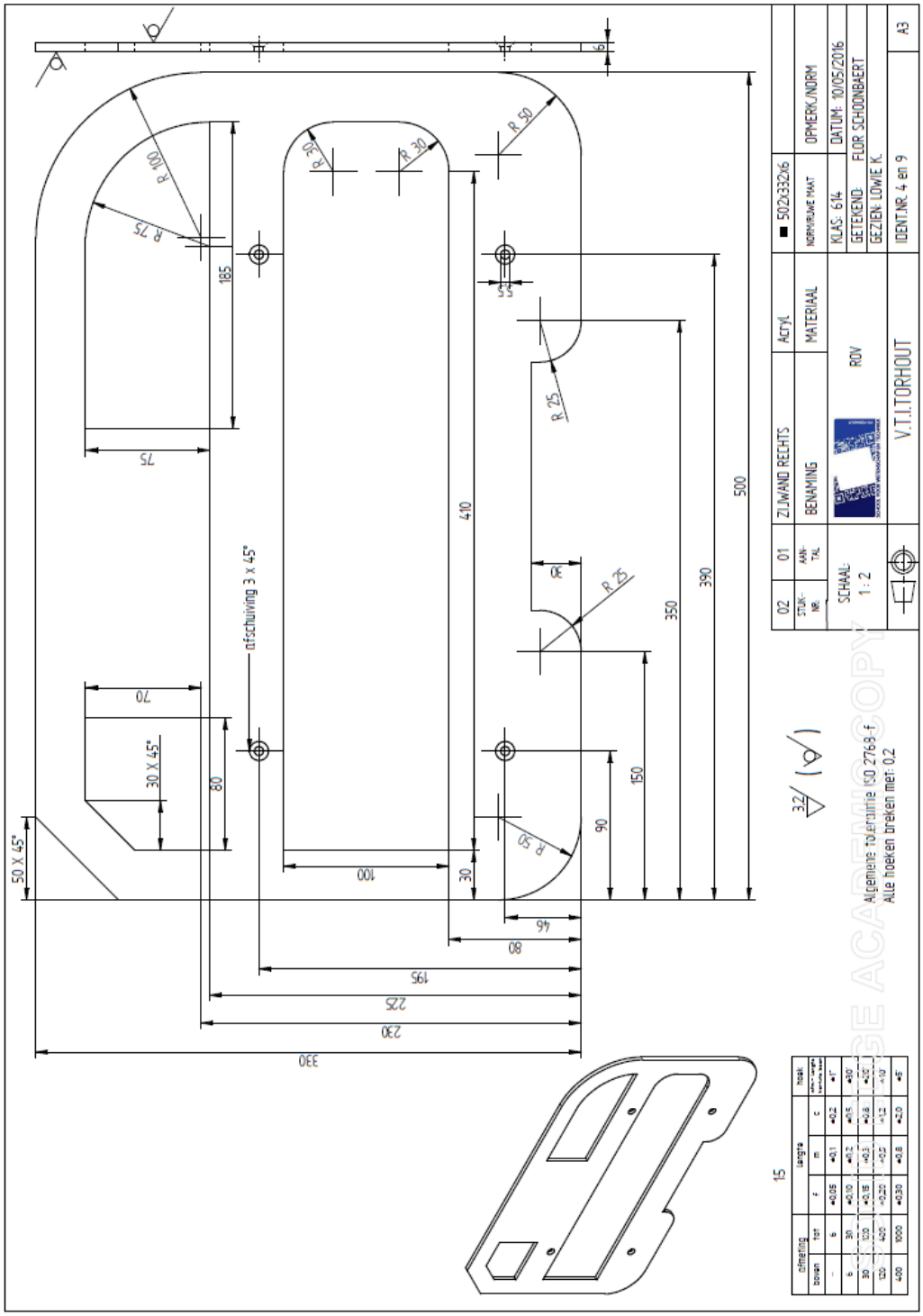
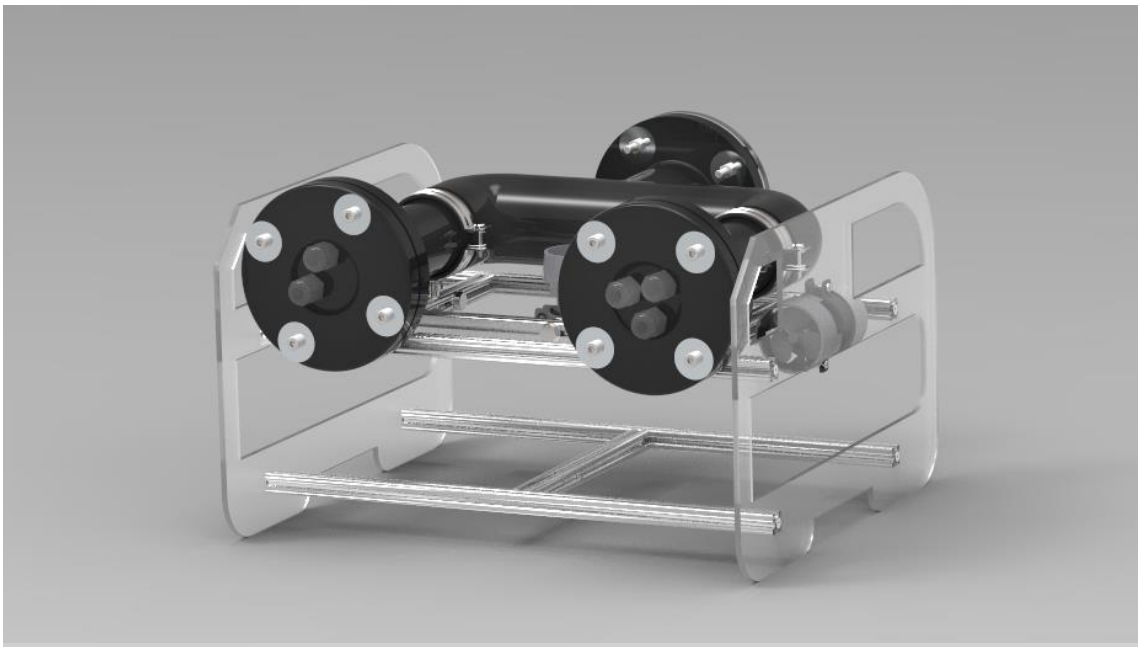
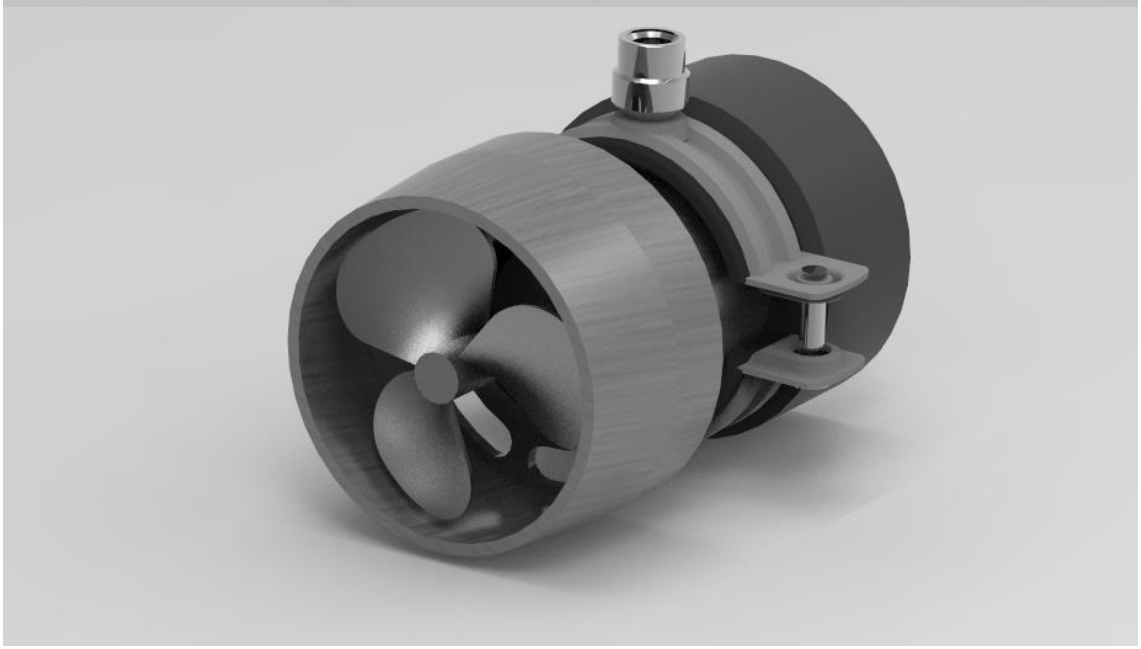
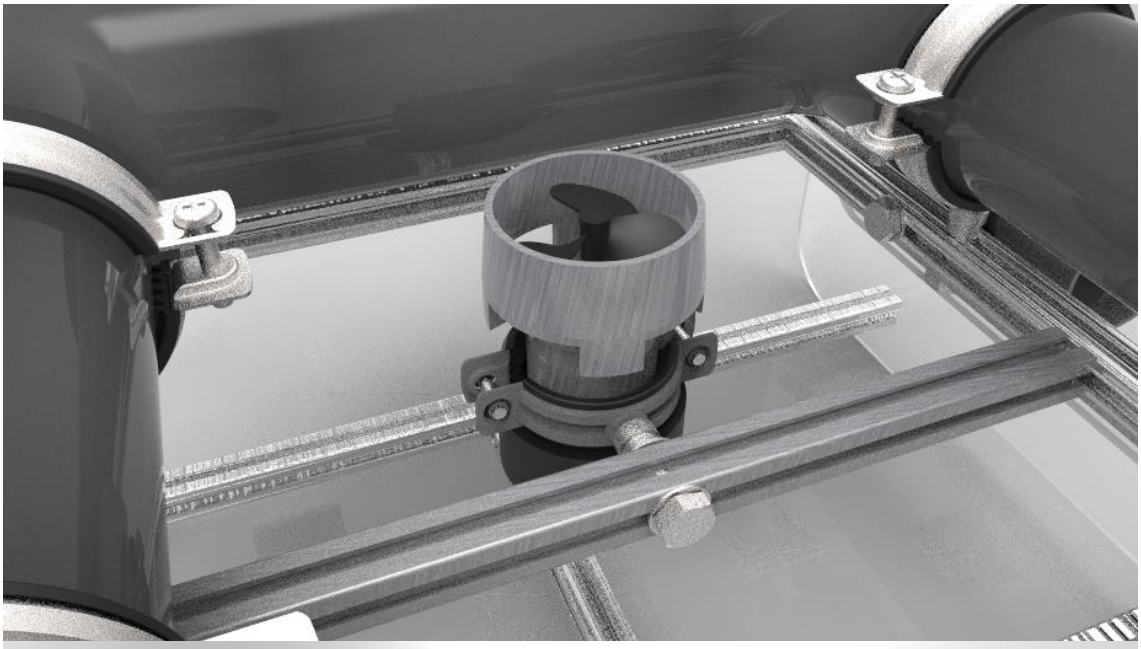
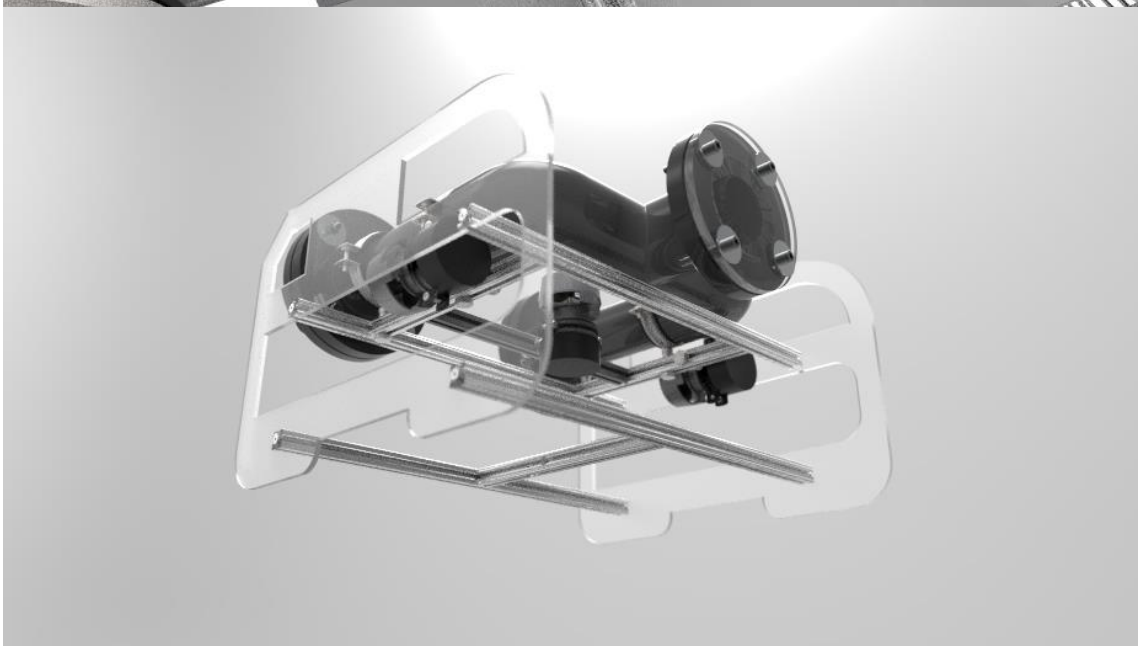
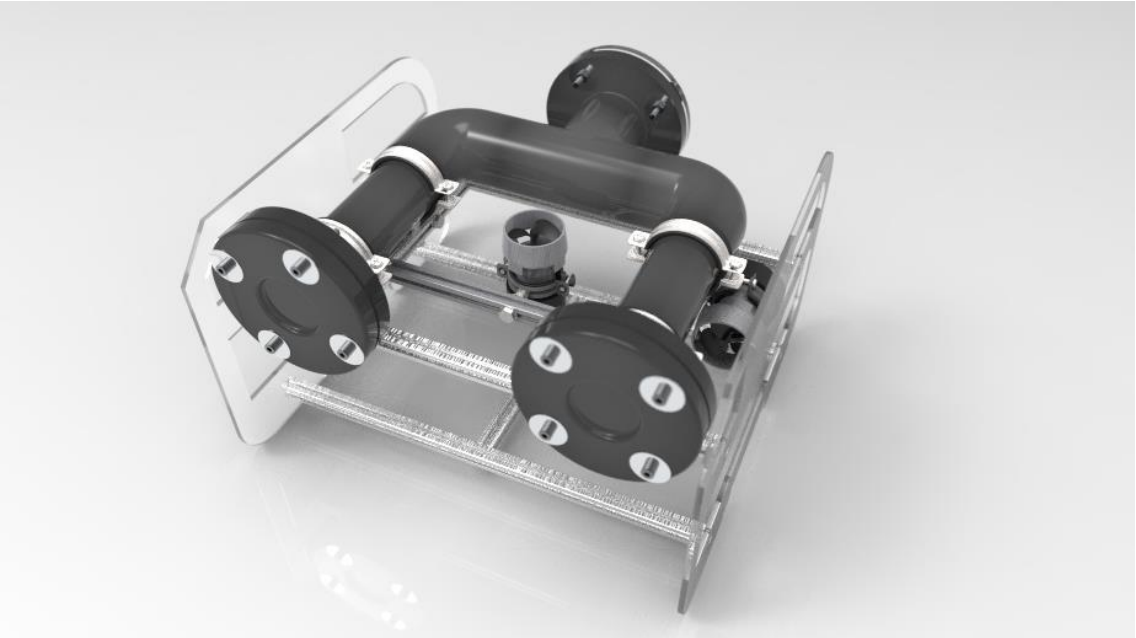
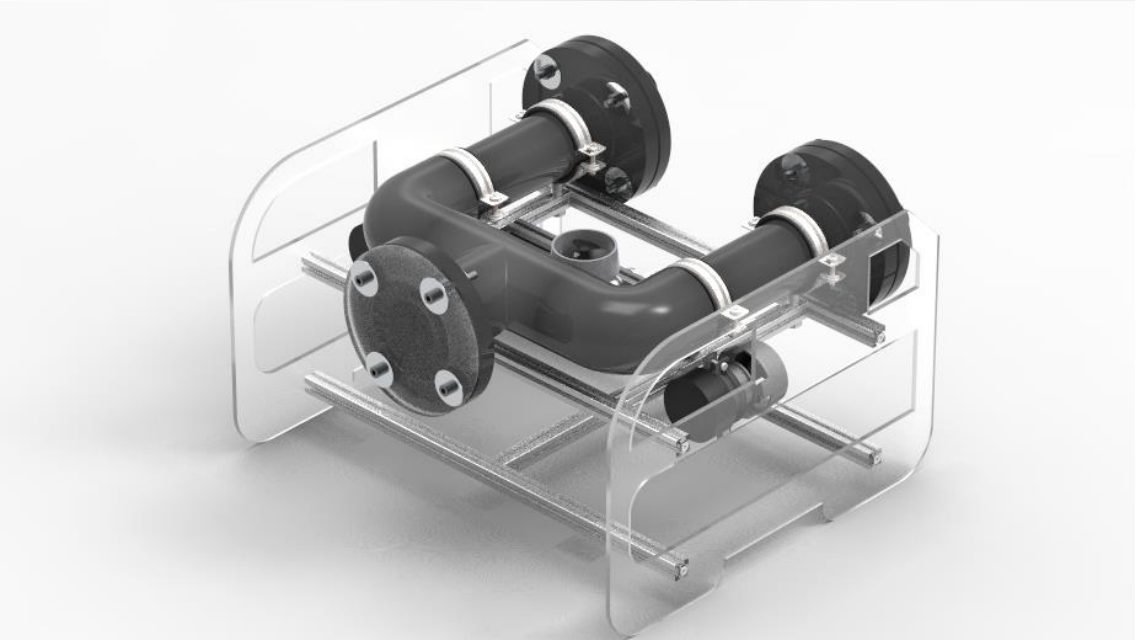

A
A
8,2
15
32
M 4
6 Φ
DOORSNEDE A-A
5,5 Φ
M 3
12,5
Algemene tolerantie: ISO 2768-f
Alle hoeken breken met : 0,2
32
7,2
STUK-NR:
03
AAN-TAL
KOPPELSTUK SCHROEF
BENAMING
CuZn39Pb3
MATERIAAL
D10x33
NORM/RUWE MAAT
OPMERK./NORM
SCHAAL: 1:2
ROV
KLAS: 614
DATUM: 11/05/2016
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: DE LAERE M.
V.T.I.TORHOUT
IDENT.NR. 4 en 9
A4
afmeting
boven
tot
lengte
f
m
c
hoek
±0,05
±0,1
±0,2
±1°
6
30
±0,10
±0,2
±0,5
±30'
30
120
±0,15
±0,3
±0,8
±20'
120
400
±0,20
±0,5
±1,5
±10'
400
1000
±0,30
±0,8
±2,0
±5'


Algemene tolerantie: ISO 2768-f
Alle hoeken breken met : 0,2
280
162
194
10
12
20
4
6
3,2
05
STUK-NR:
03
AAN-TAL
REXROTH PROFIEL 20x20x280
BENAMING
AL Cu Mg 1
MATERIAAL
20x20x282
NORM/RUWE MAAT
OPMERK/NORM
SCHAAL: 1:1
ROV
KLAS: 614
DATUM: 10/05/2016
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: DE LAERE M.
V.T.I.TORHOUT
IDENT.NR. 4 en 9
A4
1:2
afmeting
boven
tot
lengte
f
m
c
hoek
±0,05
±0,1
±0,2
±1°
±0,10
±0,2
±0,5
±30'
±0,15
±0,3
±0,8
±20'
±0,20
±0,5
±1,5
±10'
±0,30
±0,8
±2,0
±5'


Algemene tolerantie: ISO 2768-f
Alle hoeken breken met : 0,2
324
162
10
20
6
4
20
32
32
32
04
STUK-NR.
01
AAN-TAL
REXROTH PROFIEL 20x20x324
BENAMING
AL Cu Mg 1
MATERIAAL
20x20x326
NORM/RUWE MAAT
OPMERK/NORM
SCHAAL: 2:1
ROV
KLAS: 614
DATUM: 10/05/2016
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: DE LAERE M.
V.T.I.TORHOUT
IDENT.NR. 4 en 9
A4
1:2
afmeting
boven
tot
Lengte
f
m
c
hoek
afm= lengte kortste zijde
-
6
±0,05
±0,1
±0,2
±1°
6
30
±0,10
±0,2
±0,5
±30'
30
120
±0,15
±0,3
±0,8
±20'
120
400
±0,20
±0,5
±1,5
±10'
400
1000
±0,30
±0,8
±2,0
±5'


DOORSNEDE A-A
3,2
30
540
30
M 5
Φ 4
A
A
20
6
20
Algemene tolerantie: ISO 2768-f
Alle hoeken breken met : 0,2
(3,2)
15
03
STUK-NR.
04
AAN-TAL
REXROTH PROFIEL 20x20x540
BENAMING
AL Cu Mg 1
MATERIAAL
20x20x542
NORMVRIJWE MAAT
OPMERK/NORM
SCHAAL: 2:1
ROV
KLAS:
DATUM:
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: DE LAERE M.
V.T.I.TORHOUT
IDENT.NR.
A4
afmeting
boven
tot
lengte
f
m
c
hoek
1
6
±0,05
±0,1
±0,2
±1°
6
30
±0,10
±0,2
±0,5
±30'
30
120
±0,15
±0,3
±0,8
±20'
120
400
±0,20
±0,5
±1,5
±10'
400
1000
±0,30
±0,8
±2,0
±5'


330
6
50 X 45°
30 X 45°
80
70
100
30
R 50
55
Algemene tolerantie: ISO 2768-f
Alle hoeken breken met : 0.2
R 25
410
500
75
afschuiving 3 x 45°
30
R 25
410
350
185
R 75
R 100
R 30
R 30
R 50
110
150
46
80
95
225
230
32
15
Acryl
50/2332/16
OPMERK./NORM
01
01
2L
JWAND LINKS
STUK-NR.
AAN-TAL
BENAMING
MATERIAAL
NORMPRUVE MAAT
KLAS: 614
DATUM: 10/05/2016
ROV
SCHAAL: 1/2
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: MIRANDA DE LAERE
V.T.I.TORHOUT
IDENT.NR. 4 en 9
A3
afmeting
hoek
langte
boven
tot
f
m
c
ACADEMIC COPY


R 100
R 75
185
75
R 30
R 30
R 50
R 25
R 25
R 50
410
500
390
350
150
90
30
30
100
80
46
195
225
230
330
70
30 X 45°
80
50 X 45°
afschuiving 3 x 45°
32
Algemene tolerantie ISO 2768-f
Alle hoeken breken met: 0,2
Acryl
ZIJWAND RECHTS
BENAMING
MATERIAAL
ROV
KLAS: 614
GETEKEND: FLOR SCHOONBAERT
GEZIEN: LOWIE K.
DATUM: 10/05/2016
OPMERK./NORM
IDENT.NR. 4 en 9
V.T.I.TORHOUT
SCHAAL: 1 : 2
A3
15

14.6.2 Gerenderde 3D's