

Smart City

Probleemoplossen en Ontwerpen, Deel 2

Groep 6

Aaron Vandenberghe, Dieter Demuyne, Jolien Barbier
Mathis Bossuyt, Rani Jans en Sarah De Meester

o.l.v. Benjamin Maveau Kevin Truyaert en Martijn Boussé

Academiejaar 2020 – 2021

Inhoudsopgave

1	Klantenvereisten	3
2	Hardwareontwerp	3
	2.1 Ontwerpspecificaties	3
	2.2 Ontwerpskeuze	5
	2.3 Assemblage	8
3	Softwareontwerp	9
	3.1 Experimenten	9
	3.2 Definitieve programma's	10
4	Discussie	12
	4.1 Resultaten demo	12
	4.2 Financiële kant	13
5	Besluit	13

Inleiding

Vandaag de dag zijn zelfrijdende auto's een actueel thema. Heel wat bedrijven zoals Tesla, BMW en Mercedes zijn volop bezig met de ontwikkeling van deze autonome wagens. Dit vanwege de vele voordelen. Een zelfsturende auto heeft namelijk een veel snellere reactie dan reactiesnelheid van de mens. Hierdoor zullen ongevallen vermeden worden. Bovendien zullen er ook minder files zijn, waardoor er een mogelijke oplossing ontstaat voor de mobiliteitsproblemen. Daarnaast kiest een autonome auto voor de kortste weg. Hierdoor legt de auto minder kilometers af. Dit betekent dat deze soort auto's zowel instaan voor verkeersveiligheid als voor een milieubewuster autotransport [13, 11]. De moeite waard dus om deze revolutionaire vooruitgang onder de loep te nemen en er zelf mee aan de slag te gaan.

Voor dit project betekent dit dat een zelfsturend autootje in staat moet zijn om zich volgens een voorgeprogrammeerde route door een modelstad te bewegen. Dit is het idee van de 'Smart City'. Deze 'Slimme Stad' is een stad waarbij informatietechnologie gebruikt wordt om de stad te beheren en te besturen [15]. Doorheen deze route, zal de auto verschillende obstakels tegenkomen. De bedoeling is hierbij dat deze hindernissen worden herkend en het autootje een bijpassende actie uitvoert. Hoe dit kan worden geïmplementeerd zal aan bod komen in dit verslag. Daarnaast wordt het ontwerpproces uitvoerig uitgelegd. Hierin wordt het aanschaffen van onderdelen en de vereisten toegelicht.

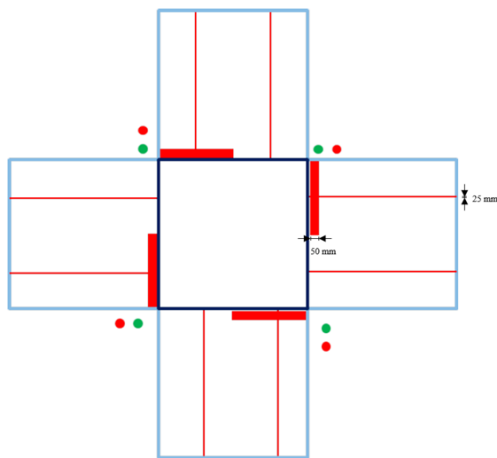
1 Klantenvereisten

De klant wenst een auto dat op een parcours lijnen volgt en aan een stoplijn stopt. Verder moeten verkeerslichten kunnen geïnterpreteerd worden. Het autootje moet ook andere wagens kunnen detecteren en tijdig stoppen als deze te dicht komen, om op die manier aanrijdingen te vermijden.

2 Hardwareontwerp

2.1 Ontwerpspecificaties

De modelstad bestaat uit enkele straten en negen identieke kruispunten. De auto zal 25 keer een kruispunt moeten kunnen oversteken. De straten zijn telkens 1 meter lang. Op het parcours met grijze ondergrond zijn er twee soorten zwarte lijnen te vinden: volglijnen en stoplijnen. Op het kruispunt zelf zijn er geen lijnen. Het autootje zal deze lijnen moeten kunnen interpreteren en een onderscheid kunnen maken tussen deze twee soorten. Het verschil tussen deze twee lijnen zit hem in de dikte. Volglijnen zijn 25 mm dik, stoplijnen 50 mm. De auto moet de lijnen van 25 mm dik volgen en stoppen bij de lijnen van 50 mm dik. Het moet dus een sensor bevatten die deze lijnen kan herkennen, meer bepaald een reflectiesensor. De auto komt een stoplijn tegen bij het naderen van een kruispunt. Hier zal het moeten stoppen en een verkeerslicht moeten interpreteren. Het feit dat het verkeerslicht om 7,5 cm hoogte staat, speelt een rol bij het bepalen van de hoogte van de auto. De auto moet dus voorzien zijn van een kleursensor of een camera die de twee verschillende kleuren van het stoplicht kan onderscheiden. Bij een rood licht moet de auto blijven stil



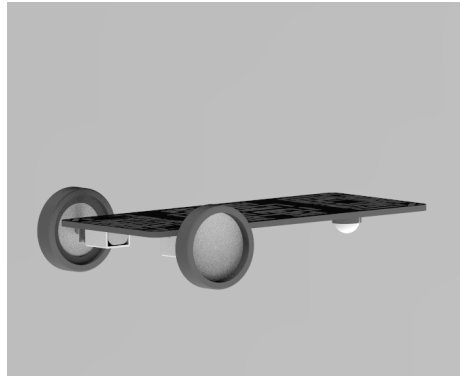
Figuur 1: Kruispunt

staan aan de stoplijn, bij groen moet hij weer starten. In wat volgt wordt eerst besproken hoe het parcours er uit ziet. Daarna wordt uitgelegd hoe dit probleem praktisch zal worden opgelost met betrekking op de auto.

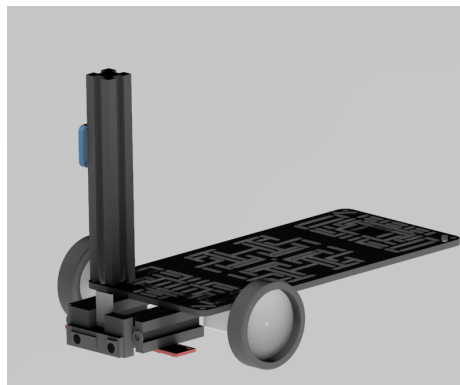
De modelstad bestaat uit rechte straten en 25 identieke kruispunten. De straten zijn telkens 1 meter lang. De ondergrond van het parcours is grijs. Hierop zijn twee soorten zwarte lijnen te vinden: volglijnen en stoplijnen. Op het kruispunt zelf zijn er geen lijnen. Het autootje moet de lijnen kunnen interpreteren en een onderscheid kunnen maken tussen deze twee soorten. Het verschil tussen deze twee lijnen is de oriëntatie en de dikte. Volglijnen zijn 25 mm dik en zijn verticaal gelegen. Stoplijnen hebben een dikte van 50 mm en zijn horizontaal geplaatst. Aangezien het autootje de lijnen moet kunnen herkennen en correct interpreteren zal de auto een sensor nodig hebben, meer bepaald een reflectiesensor. Enkele bij het naderen van een kruispunt komt de auto een stoplijn tegen. Bij zo een stoplijn staat een verkeerslicht met een hoogte van 7,5 cm. Deze afmeting speelt een rol bij het bepalen van de hoogte van de auto. Verder moet de auto het verkeerslicht foutloos interpreteren. Bijgevolg moet de auto voorzien zijn van een kleurensensor of een camera die de twee verschillende kleuren van het stoplicht kan onderscheiden. Bij een rood licht moet de auto blijven stil staan aan de stoplijn, bij groen moet hij weer starten.

Om een botsing te voorkomen, moet het autootje voorgaande wagens kunnen detecteren en tijdig stoppen wanneer deze te dichtbij komen. Wanneer de wagen achteraan wordt aangereden, is het in fout. Dit impliceert dat enkel voorliggers een probleem kunnen vormen. Om dit probleem op te lossen moet het wagentje uitgerust zijn met een afstandssensor. Deze sensor detecteert voorliggers en verzendt vervolgens een signaal zodat de motoren vertragen. Er moet dus ook gezorgd worden voor een zo kort mogelijke remafstand.

Verder moet de auto aan een aanvaardbare snelheid voortbewegen. De tandwielmotoren rond de wielen zorgen voor de aandrijving. Daarbij is het belangrijk dat het autootje een beperkte massa heeft, maximaal 500 gram. Dit zal ervoor zorgen dat het op een veilige manier voortbeweegt aan een snelheid van ongeveer 10 cm/s. Hierdoor blijft ook de remafstand beperkt.



Figuur 2: Chassis met wielen, kogelwiel en motoren



Figuur 3: Chassis met wielen, kogelwiel, motoren en sensoren

Ten slotte is het uit veiligheid dat men vanop afstand kan ingrijpen wanneer er iets fout loopt, zoals een aanrijding. Dit betekent dat de auto naast het autonoom rijden ook bestuurbaar moet zijn met een toetsenbord.

2.2 Ontwerpskeuze

Chassis

Als eerste wordt de chassis besproken. Voor deze auto wordt een rechthoekige variant gebruikt met als afmetingen 80 mm op 172 mm [8].

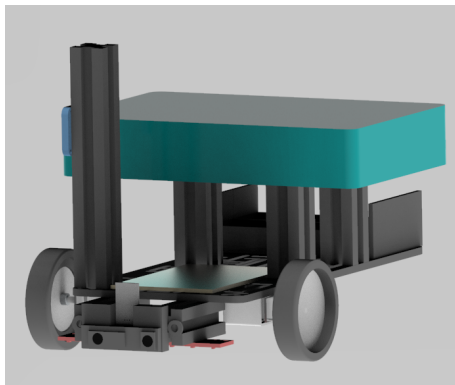
Deze is handig in gebruik wegens de verscheidene groottes van de groeven. Bovendien is de rechthoekige vorm zeer gemakkelijk om alle componenten van de auto vast te hechten. Een ronde chassis is hiervoor minder geschikt [6]. Ook zijn er in deze laatste groeven aanwezig voor de wielen. Dit impliceert dat er minder ruimte is om andere onderdelen te assembleren op het onderstel.

Wielen

Een goede keuze voor de wielen zijn die met een diameter en dikte van respectievelijk 42 mm en 19 mm. Figuur 6 geeft een idee hoe ze eruit zien.



Figuur 4: Chassis met wielen, kogelwiel, motoren, sensoren en makerbeams



Figuur 5: De afgewerkte auto



Figuur 6: Wiel met diameter 42 mm en dikte 19 mm
[9].

De dikte van dit wiel is geschikt om voldoende grip te hebben. Bij dunneren banden is er minder grip. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat de auto niet snel genoeg kan remmen bij zowel obstakels als stoplijnen [2]. Daarnaast is de diameter evenredig met de versnelling en de nodige kracht. Een kleiner wiel impliceert namelijk een kleinere kracht en een kleine versnelling. Een groot wiel daarentegen levert een grote versnelling maar heeft een grote kracht nodig. Het is dus belangrijk dat de middenweg wordt genomen om een goede snelheid te behalen zonder al te veel moeite.

De auto van dit project is een driewieler. Dit heeft enkele voordelen. Eerst en vooral is dit eenvoudiger om te draaien. Bij een vierwieler zijn er namelijk twee vaste punten. Hierdoor ontstaat er meer wrijving waardoor de auto minder vlot kan draaien. Bijgevolg is het dus gemakkelijker een driewieler te laten afslaan. Deze heeft bij het afslaan maar één vast punt waarrond de andere wielen draaien. Ten tweede reduceert een driewieler de kosten van het project een klein beetje. Een vierde wiel is niet noodzakelijk om aan te schaffen. Op deze manier is er nog een kleine marge in het budget voor eventuele wijzigingen tijdens het project. Als derde wiel wordt voor de auto gekozen voor een kogelwiel. Dit wiel biedt als voordeel flexibelere te zijn in draaibewegingen dan een normaal wiel.

Motoren

Aansluitend hierbij spelen de tandwielmotoren ook een belangrijke rol. Motoren met een groot tandwiel starten zeer gemakkelijk maar behalen geen al te grote snelheid. Kleine tandwielen hebben dan weer de omgekeerde eigenschap. Het is dus van belang dat er een tandwielen worden gebruikt met een gemiddelde grootte namelijk de motor met verhouding 50:1. Niet alleen de grootte speelt een rol, maar ook de kracht van de motor. Hiervoor wordt het best gekozen voor de "High Power"(HP). Deze motoren hebben een grote efficiëntie. Een bijkomend voordeel is het gewicht dat slechts 9,5 gram bedraagt [4]. Hoe minder de onderdelen wegen, hoe minder kracht je nodig hebt om de auto te laten rijden.

Door het gebruik van deze motoren is er nood aan motorbeugels zodat de ze aan de chassis vastgemaakt kunnen worden. Aangezien de motoren een breedte van 12 mm en een hoogte van 10 mm hebben, is het logisch dat de beugels met afmetingen 12 mm op 10 mm worden genomen [7]. Verder is een dubbele aandrijfmotor essentieel om de tandwielmotoren met de microcontroller te verbinden. In dit project wordt gekozen voor de Dual Drive DRV8833 [5].

Microcontroller

De microcontroller is cruciaal voor de werking van de auto. Het zorgt ervoor dat het autootje de taken correct uitvoert. De keuze van de microcontroller gaat in dit project naar NI MyRIO in plaats van Raspberry Pi [3],[14]. Dit is omdat deze zowel met analoge als digitale signalen kan werken. Bij Raspberry Pi zijn er enkel digitale inputs beschikbaar. Dit heeft implicaties voor de keuze van de sensoren, waarvoor ik verwijs naar het onderdeel over sensoren in 2.2. Daaruit volgt dat alles in LabVIEW geprogrammeerd wordt. Deze software en microcontroller zijn ervoor gemaakt om samen te werken. Dit biedt veel voordelen tijdens de implementatie. In sectie 3 wordt hier dieper op ingegaan. Daarnaast heeft dit ook invloed op de keuze van het chassis. Achteraf viel het op dat de microcontroller niet paste op het chassis waardoor men het heeft

vastgemaakt met makerbeams.

Sensoren

Zoals al aangehaald is, wordt in dit ontwerp gewerkt met een reflectiesensor en een afstandssensor. Er bestaan twee soorten, namelijk sensoren met digitale output en met analoge output. Zoals hierboven verteld is, kunnen beiden gebruikt worden met de NI MyRIO. De analoge sensoren geven meer info dan de digitale. De digitale kunnen maar één of twee signalen doorgeven aan de microcontroller namelijk nul of een. Ofwel staat de sensor aan ofwel uit. De analoge sensoren geven analoge signalen. Dit soort signaal kan alle waarden aannemen, in tegenstelling tot een digitaal signaal. Langs de andere kant zorgen de analoge sensoren voor meer programmeerwerk [16]. Voor dit project is het beter dat de informatieoverdracht tussen sensor en microcontroller vlot verloopt met behulp van echte waarden. Bij keuze van een analoge sensor is dit dus voldaan, alhoewel er meer programmeerwerk bij komt kijken. De reflectiesensor zal onderaan de auto, dichtbij de grond geplaatst worden zodat de lijnen op het juiste moment zullen herkend worden. Ook is de reflectiesensor iets breder dan de volglijn. Zo zal het vanaf de auto bij een stoplijn komt, andere waarden binnenkrijgen.

Ook om de kleuren groen en rood te herkennen, is er nood aan een sensor of camera. Er is keuze tussen een Raspberry Pi-camera, webcam en kleurensensor voor het interpreteren van de stoplichten. In dit ontwerp wordt gekozen voor de kleurensensor. Deze is compatibel met de NI MyRIO en weegt maar 3,23 gram [1, 10]. Bovendien weegt de webcam 223,6 gram. Hoe minder de wagen weegt, hoe stabiel het is en hoe minder kracht het nodig heeft om een bepaalde snelheid te kunnen halen. De Raspberry Pi-camera is enkel bruikbaar met een Raspberry Pi als microcontroller. Aangezien in dit model wordt gewerkt met een NI MyRIO, is dit dus geen optie [12]. Samengevat: de kleurensensor heeft als voordeel dat het zeer licht is en compatibel is met de NI MyRIO-microcontroller.

LED-lampjes

Als extra optie om LED's te plaatsen omdat het ons het meest haalbaar leek in vergelijking met de andere ideeën. Eerst dachten we eraan om servomotoren te gebruiken maar deze waren schaars en ingewikkeld te modelleren waardoor er risico zou zijn dat het wagentje niet juist werkt.

2.3 Assemblage

Voordat het autootje fysiek geassembleerd wordt, werd dit eerst via de computer gedaan. Aan de hand van de reeds gemaakte 3D-modellen, werd een 3D-model van het autootje gemaakt. Doordat de aparte onderdelen van het autootje al af waren, moesten die enkel nog samengevoegd worden. Het 3D-model zie je in figuren 2, 3, 4 en 5. Door dit model was het gemakkelijker om de wagen in elkaar te zetten omdat er naar iets toegewerkt werd en de plaatsing van de onderdelen zichtbaar was. Er wordt gestart met het chassis. Daar worden dan de motoren met wielen aan de onderkant opgeplaatst. Ook het kogelwiel wordt bevestigd aan de onderkant. Helemaal van voor wordt een steunpaal gezet. Aan de voorkant wordt de reflectiesensor onder de steunpaal vast gemaakt. Ook aan

de voorkant maar dan vooraan op de steunpaal de afstandssensor bevestigd. Aan de zijkant van de paal wordt op een hoogte van 7.5 cm wordt de kleursensor bevestigd. Dit is aan de rechterkant vast gemaakt. Net achter de steunpaal wordt de *dual drive motor* geplaatst. Op het midden van het chassis worden vier makerbeams bevestigd. Dit zorgt voor een platform waarop de microcontroller wordt bevestigd.

3 Softwareontwerp

Om te kunnen implementeren is het belangrijk om informatie in te winnen door onderzoekswerk. Het is dan ook cruciaal dat er specifiek wordt gezocht hoe het materiaal best gebruikt kan worden. Dit is nuttig om de communicatie tussen de sensoren en de NI MyRIO-controller te begrijpen. Ook de spanning dat nodig is om de sensoren te laten te werken is belangrijk. Zo zijn er enkele poorten die precies 5 volt leveren. Dit is perfect, aangezien dit compatibel is met het spanningsverschil van de sensoren. Vervolgens kan het elektrisch circuit opgesteld worden. Dit is handig om te weten welke onderdelen er met elkaar worden verbonden. Eenmaal dit in orde is, kan het programmeerwerk beginnen.

Voor het schrijven van stukjes code, is het ten sterkste aangeraden om over de onderdelen van de auto te beschikken opdat de fragmenten van de code kunnen worden uitgetest. In de subsectie die volgt wordt een korte analyse gegeven van de observaties die volgen uit kleine experimenten. Om de testen mogelijk te maken, moet er eerst contact worden gemaakt tussen een computer en de microcontroller. Dit kan gerealiseerd worden met de 'LED' functie in LabVIEW. Eenmaal er connectie is, branden de lampjes op de microcontroller en kunnen de experimenten van start gaan.

3.1 Experimenten

Signalen ontvangen en versturen

Er zijn vijf experimenten gebeurd. Er zijn twee experimenten geweest om de communicatie met de microcontroller te testen. Bij het eerste experiment werden de lampjes van de microcontroller aan en uitgezet met een schakelaar in LabVIEW. Het ander experiment was om een signaal terug te krijgen van de microcontroller. Er werden twee poorten va, de my Rio met elkaar verbonden en als de microcontroller gekanteld werd, moest een signaal verstuurt worden van de ene poort naar de andere. Er is nu communicatie mogelijk want het kan signalen versturen en ontvangen.

Sensoren

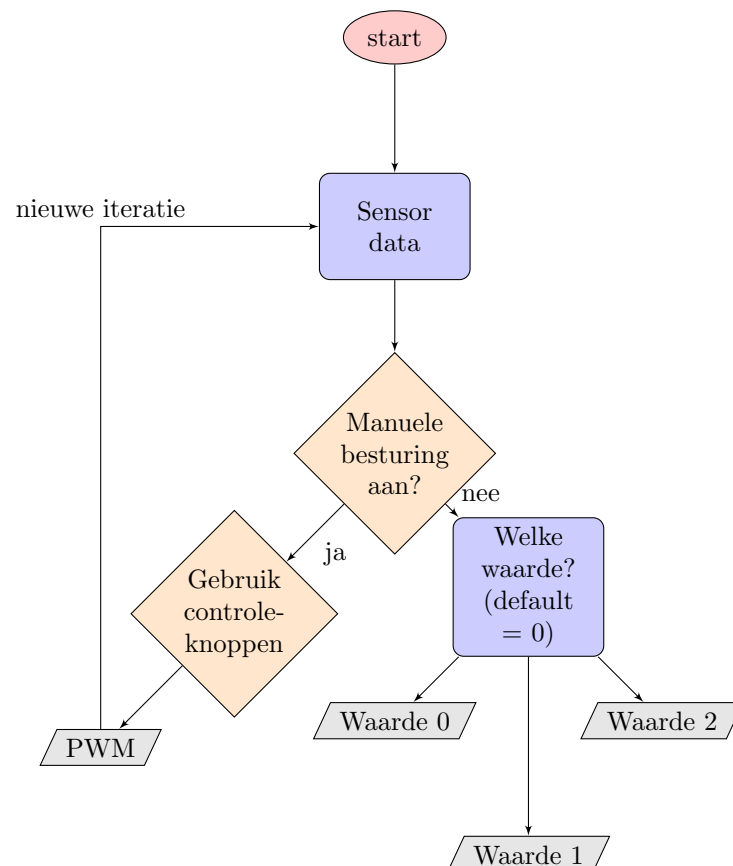
Dan werden er drie experimenten uitgevoerd om de waarden van de sensoren te begrijpen. Als men niet weet wat een bepaalde waarde betekent, kan men het programma niet schrijven. Bij de reflectiesensor werden de waarden van wit, grijs en zwart getest. Voor zwart werden waarden tussen drie en vier terug gegeven. Voor de kleursensor werd er getest met het rood en groen van de verkeerslichten. Bij het rood licht werd ook groen gedetecteerd maar bij een groen licht werd er geen rood gedetecteerd. Er zal dus gebruik gemaakt worden van het rode licht. Voor de afstandssensor werd een boek gehouden en deze

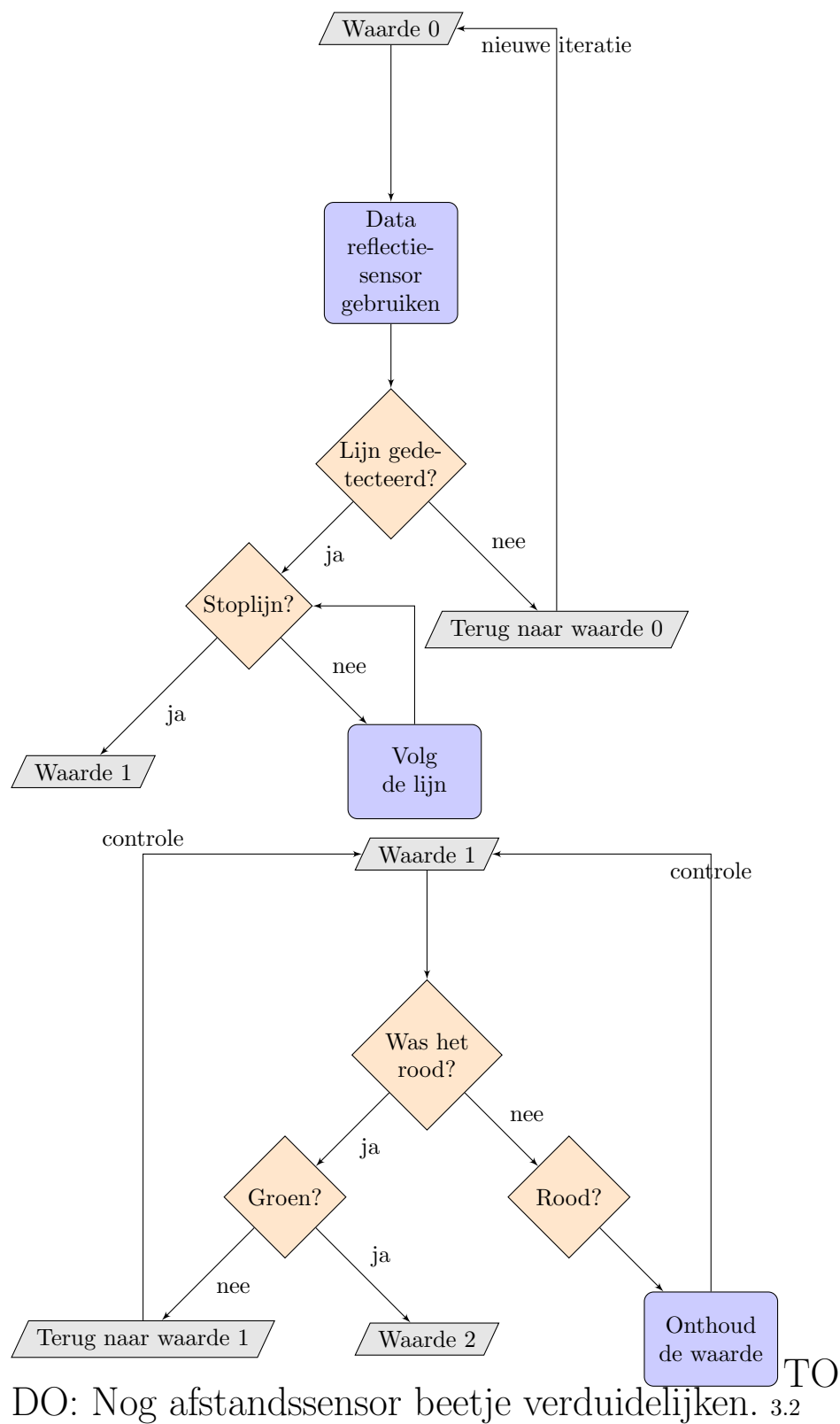
verschoof zodat de waarden op verschillende afstanden gekend was. Er werd een piekwaarde van drie teruggeven bij een afstand van 10 cm. Deze waarden en resultaten werden gebruikt om het eind programma te generen.

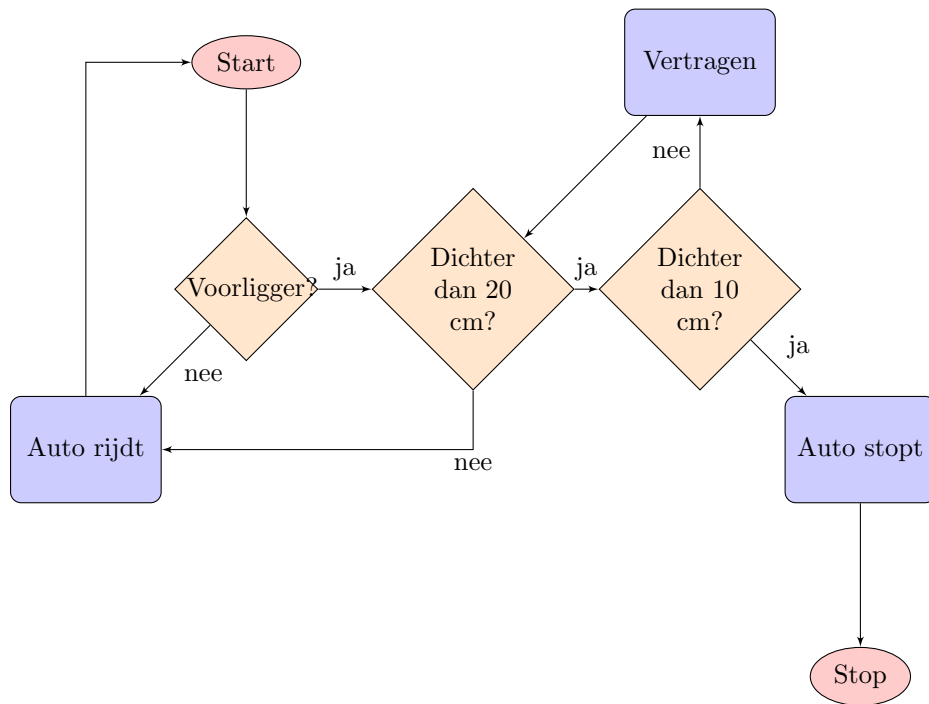
3.2 Definitieve programma's

Om het programma volledig te begrijpen, zal alles chronologisch stap voor stap worden uitgelegd met behulp van verscheidene korte flowcharts.

In het schema 3.2 wordt de opsplitsing tussen de manuele en automatische besturing toegelicht. Bij dit programma is het belangrijk om op te merken dat bij een overschakeling naar de manuele besturing de waarden 0, 1 en 2 telkens worden gereset opdat er steeds manueel kan gereden worden. In het schema wordt ook gebruik van de afkortingen PWM en RGB. Deze staan respectievelijk voor de Engelse woorden Puls width modulation en Red Green Blue. Zodra de overschakeling op de automatische besturing wordt telkens een waarde verstuurd. Voor de waarden 0, 1 en 2 worden verder verduidelijkt in aparte flowchart respectievelijk 3.2, 3.2 en







4 Discussie

4.1 Resultaten demo

Er wordt ook een demonstratie gedaan voor de functionaliteit van het wagentje, om te kijken of het inderdaad doet wat werd gevraagd en hoe efficiënt dat het werkt.

Het wagentje reed tijdens de demo soms van de lijn, het had veel moeite met correcte bochten nemen, en het reed soms door het rood. Dit heeft hoogstwaarschijnlijk te maken met de gebruikte componenten en de algemene bouw van de wagen. Het wagentje kon wel snel genoeg rijden om de afgetippelde baan op een redelijke snelheid af te leggen.

Zo bleek het dat de motoren niet even snel en gelijkmatig draaiden. Ook hadden ze soms niet genoeg kracht om vooruit te rijden, vooral wanneer de wagen op één wiel probeert te draaien. Mogelijks komt dit doordat er te veel wrijving was tussen het kogelwiel en de grond, en/of te weinig wrijving tussen de wielen en de grond. Om toch die ongelijkmatigheid tegen te gaan werden er twee waarden ingevoerd om de snelheid van de te snelste motor te verlagen, en om beide motoren aan te houden zelfs tijdens bochten en aanpassingen, zodat er genoeg kracht was om toch vooruit te kunnen rijden. Dit zorgde echter voor nieuwe problemen. Zelfs met de snelheidsaanpassing reed de aanvankelijke snelste motor niet altijd even snel als werd ingegeven, zoals tijdens bochten, hoogstwaarschijnlijk omdat één wiel meer of minder kracht ondervindt. Ook kan het gebeuren dat een wiel slipt en geen of te weinig grip heeft. Dit, gecombineerd met het feit dat beide wielen aan blijven om vooruit te kunnen gaan, zorgde ervoor dat de wagen soms van de lijn afweek, ook al probeerde het toch om zich

aan te passen om op de lijn te blijven. Door deze problemen moest er dus veel ingegrepen worden via manuele besturing, veelal tijdens bochten.

Ook reed het wagentje soms door een rood licht. Dit komt omdat de kleursensor een ingewikkeld algoritme nodig heeft om te besluiten of het groen of rood is. Er is enkel een heel geringe verandering in rode en groene waarden door de flikkering van het rood of groen licht aan 1 Hz, en het is net die flikkering dat we proberen op te meten. Hier loopt het soms fout, omdat er geen flikkering wordt opgemeten bij het rood licht, ook al is het rood, en de wagen dus door rijdt.

Uit de demo kunnen we besluiten welke verbeteringen en aanpassingen er kunnen worden gemaakt om een beter resultaat te verkrijgen. Zo is het in het vervolg mogelijk om het meer van het gewicht van de wagen op de wielen te laten rusten, en minder op het kogelwiel, of kunnen er meerdere kogelwielen gebruikt worden zodat de kracht meer wordt verdeeld. Daarbij kunnen we krachtigere wielen gebruiken. Het zou ook mogelijk zijn om een camera te gebruiken, samen met een passend algoritme, om de verkeerslichten beter te interpreteren.

4.2 Financiële kant

In het financieel rapport 5 krijgt men een beeld van wat er is aangekocht en hoeveel eenheden hieraan zijn besteed.

In dit project kreeg elke groep 3500 eenheden om te bieden en onderdelen te bestellen voor de auto. Bij de eerste bestelling werden in totaal 1615 eenheden uitgegeven. Na de bieding, waaraan 1350 eenheden werden gespendeerd, bleven er nog 535 eenheden over. Deze 535 eenheden werden besteed aan de mechanische stukken en draden.

5 Besluit

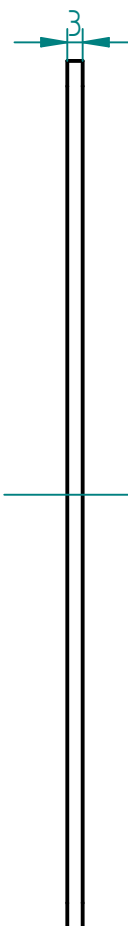
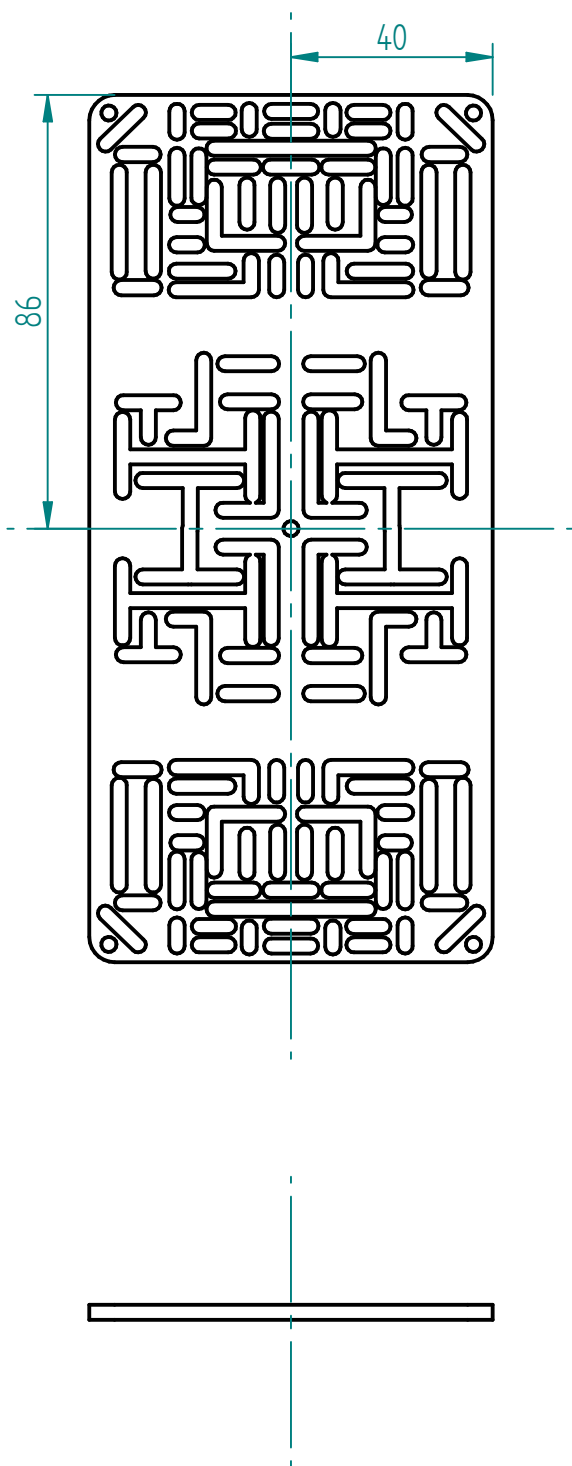
Nog te schrijven.

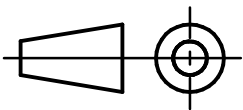
Financieel rapport

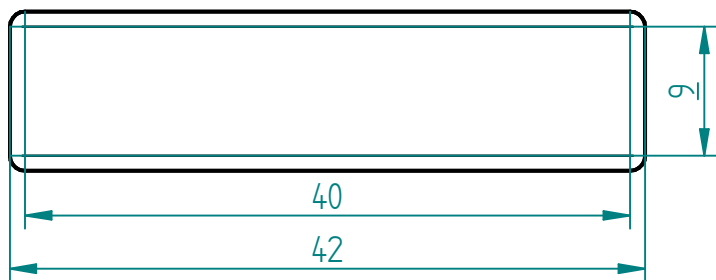
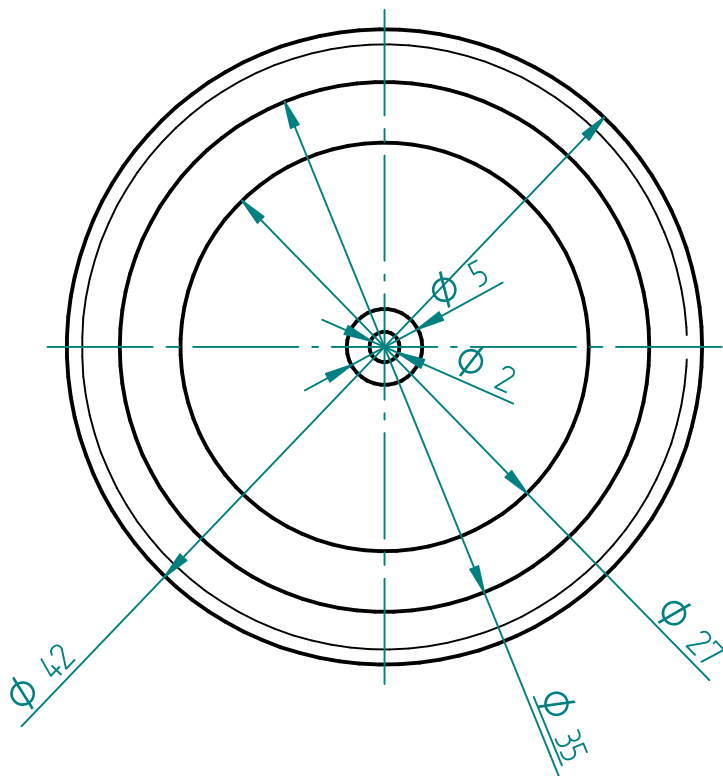
Academiejaar 2020 – 2021

Groep 6

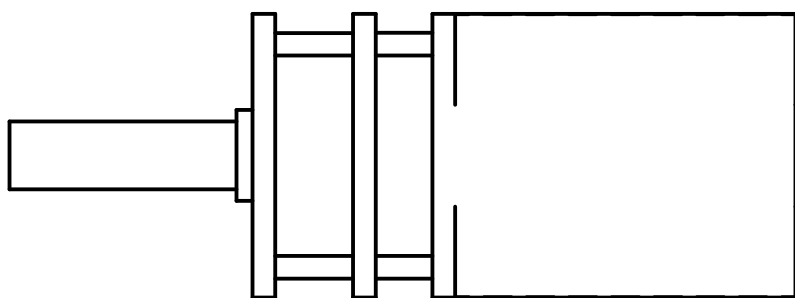
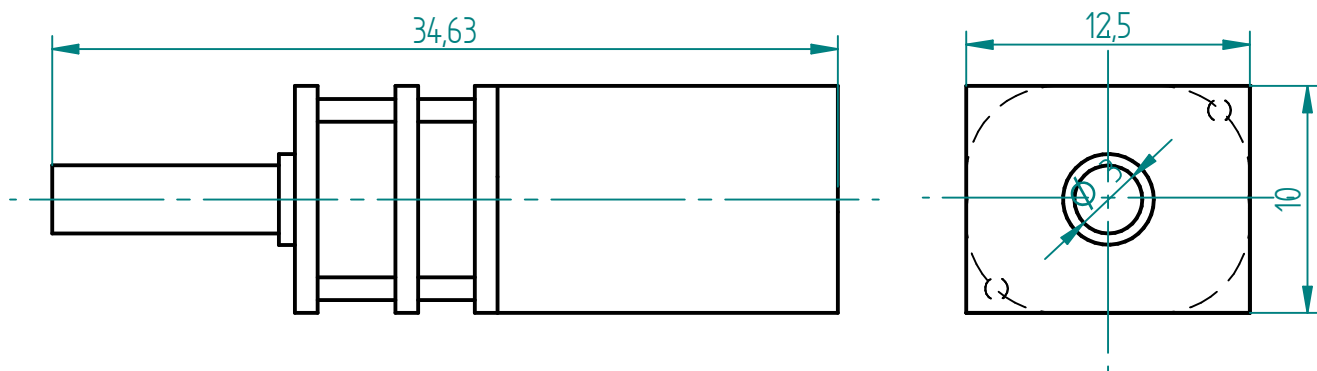
Onderdelen	Prijs per onderdeel	Aantal	Totaal per onderdeel
NI MyRio	240	1	240
Oplaadbare LITHIUM-ION batterij	90	2	180
Robot chassis rechthoekig zwart	70	1	70
Micro Metal Gear Motor 50:1 HP	160	2	320
QTR-8A analoge reflectie sensor array	150	1	150
Optische afstandssensor analoog	160	1	160
Kleurensensor	150	1	150
Tiny breadboard	40	1	40
Dual drive	70	1	70
Wiel 42x19mm	35	2	70
Ball Caster	60	1	60
JST Connector 2p 2mm M haaks	5	1	5
Micro metal gear motor beugel	25	2	50
Printplaat	50	1	50



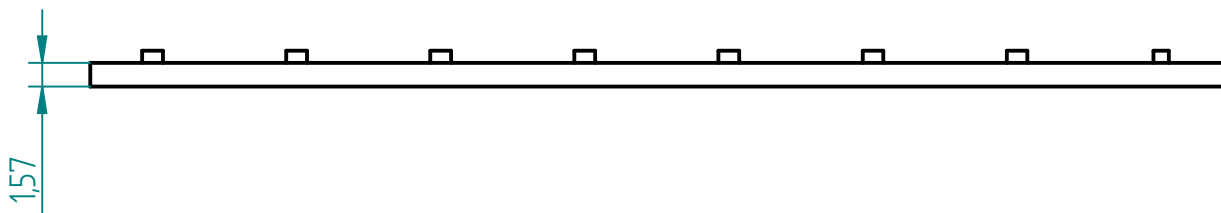
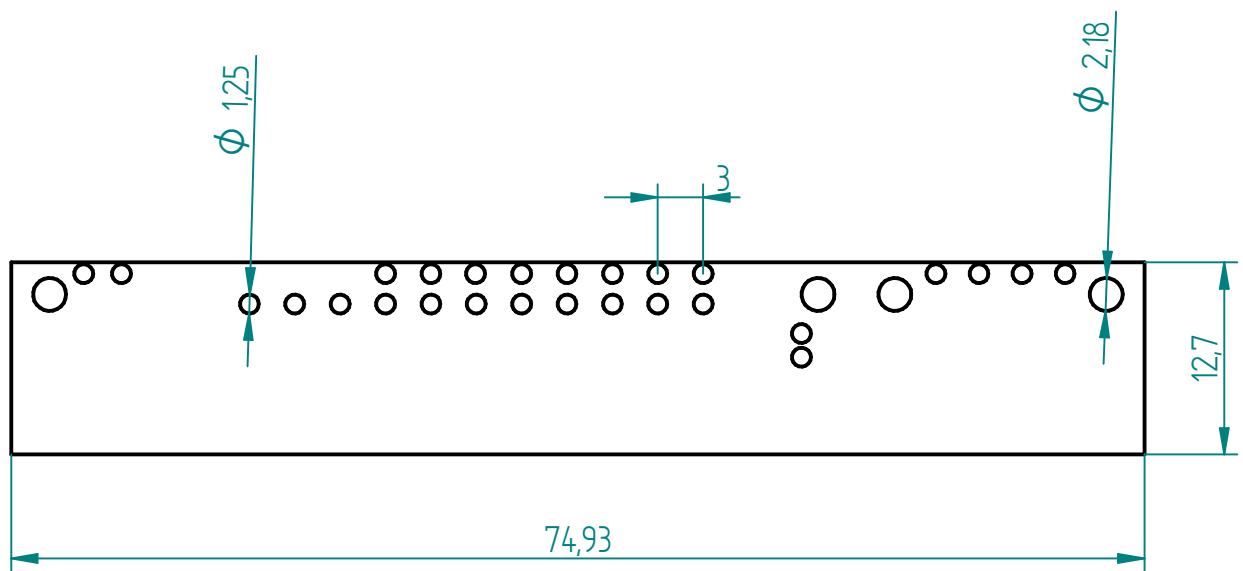
ISO-Symbool	Chassis	1e bach. ir. wet.
		Jaar 20-21
Schaal 1:1,5	SOLID EDGE ACADEMIC COPY	



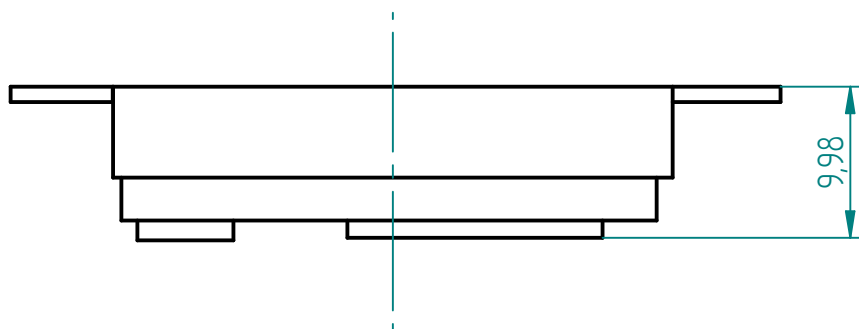
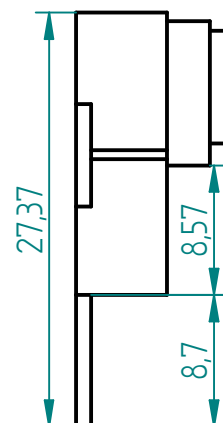
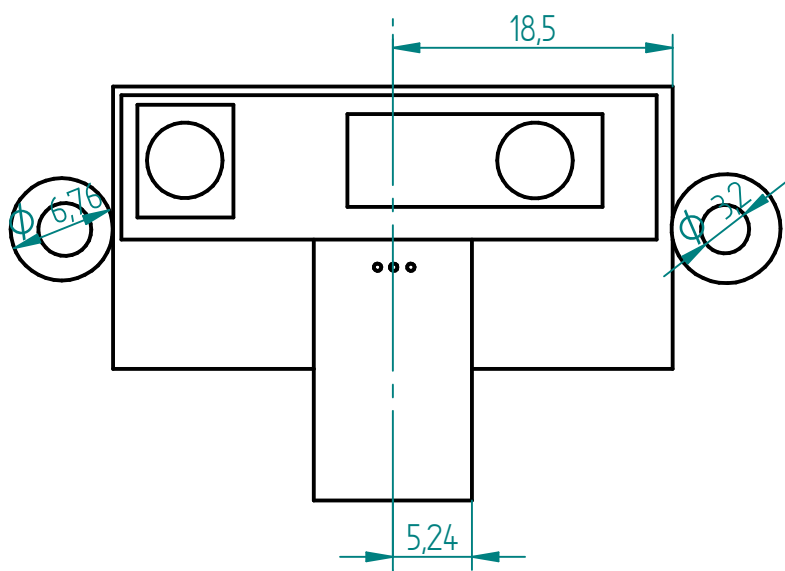
ISO-Symbool	Wiel	1e bach. ir. wet.
		Jaar 20-21
Schaal 2:1	SOLID EDGE ACADEMIC COPY	



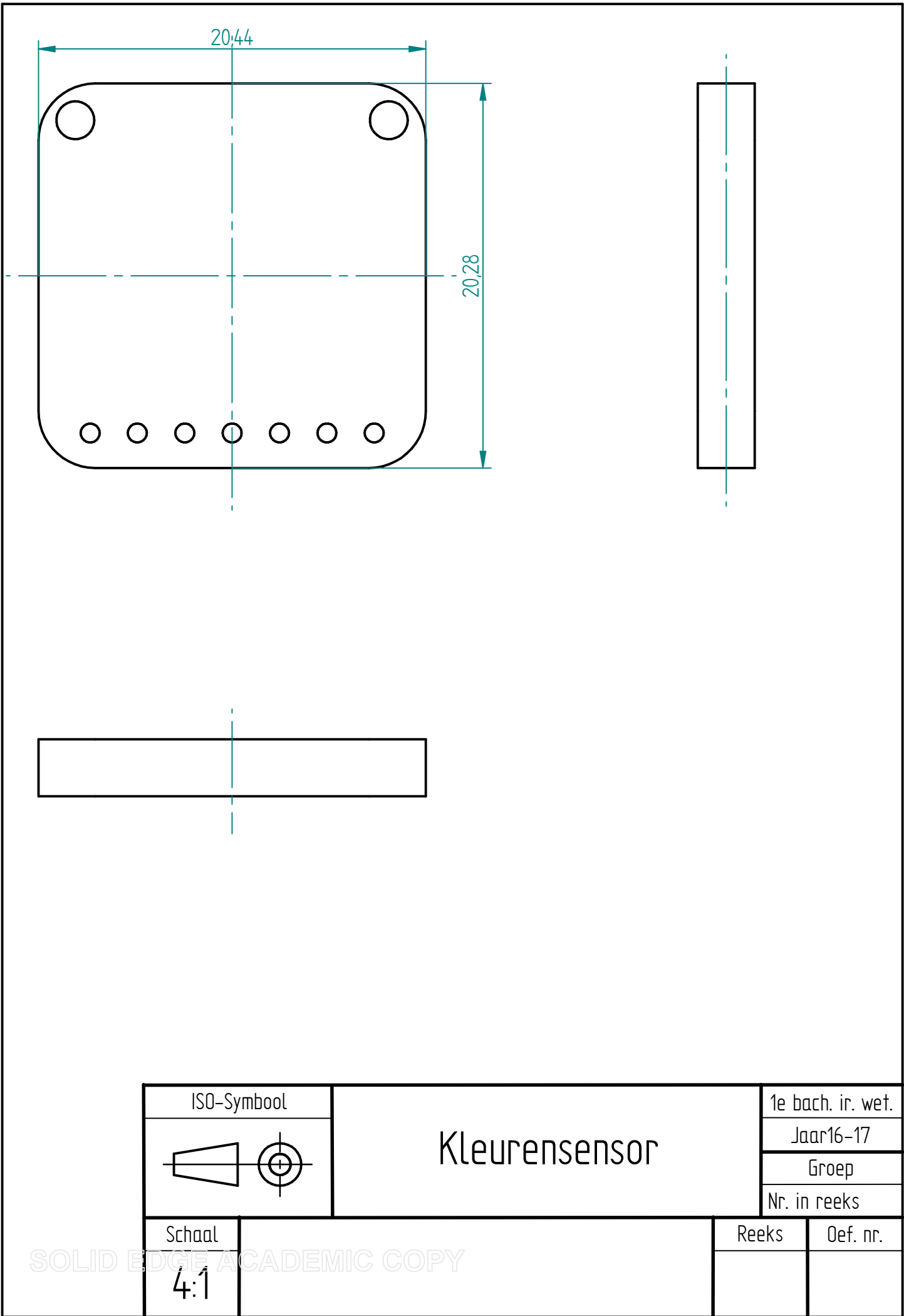
ISO-Symbool		Micro metal gearmotor	1e bach. ir. wet.	
			Jaar16-17	
			Groep	
			Nr. in reeks xx	
Schaal	3:1		Reeks	Oef. nr.



ISO-Symbool	Reflectiesensor	1e bach. ir. wet.
		Jaar 20-21
Schaal 2:1	SOLID EDGE ACADEMIC COPY	



ISO-Symbool	Afstandssensor	1e bach. ir. wet.
		Jaar 20-21
Schaal 2:1	SOLID EDGE ACADEMIC COPY	



Bibliografie

- [1] 17003 - trust - exis webcam with 640x480 resolution. <https://be.farnell.com/trust/17003/webcam-exis-trust-uk/dp/1860369>. (Accessed on 03/19/2021).
- [2] Brede band: voor- en nadelen van brede banden? je leest ze hier. <https://www.tuning-gids.nl/brede-autoband.htm#>. (Accessed on 04/23/2021).
- [3] myrio-1900 user guide and specifications - national instruments. <https://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>. (Accessed on 04/02/2021).
- [4] Pololu - 50:1 micro metal gearmotor hp 6v. <https://www.pololu.com/product/998/>. (Accessed on 03/19/2021).
- [5] Pololu - drv8833 dual motor driver carrier. <https://www.pololu.com/product/2130/specs>. (Accessed on 03/19/2021).
- [6] Pololu 5"robot chassis rrc04a solid red. <https://www.pololu.com/product/1500/>. (Accessed on 03/19/2021).
- [7] Pololu micro metal gearmotor bracket extended pair. <https://www.pololu.com/product/1089/>. (Accessed on 03/19/2021).
- [8] Pololu rp5/rover 5 expansion plate rrc07a (narrow) solid black. <https://www.pololu.com/product/1531/>. (Accessed on 03/19/2021).
- [9] Pololu wheel 42x19mm pair. <https://www.pololu.com/product/1090/>. (Accessed on 03/19/2021).
- [10] Rgb color sensor with ir filter and white led - tcs34725 : Id 1334 : \$7.95 : Adafruit industries, unique & fun diy electronics and kits. <https://www.adafruit.com/product/1334>. (Accessed on 03/19/2021).
- [11] R.jelies - 3685195 - cbm - masterthesis (3).pdf. <https://dspace.library.uu.nl/>. (Accessed on 04/30/2021).
- [12] Rpi 8mp camera board. - raspberry-pi - daughter board, raspberry pi camera board, version 2. <https://be.farnell.com/raspberry-pi/rpi-8mp-camera-board>. (Accessed on 03/19/2021).
- [13] Stilstaan bij autonoom rijden. <https://dspace.library.uu.nl/>. (Accessed on 04/30/2021).
- [14] Teach, learn, and make with raspberry pi. <https://www.raspberrypi.org/>. (Accessed on 03/19/2021).

- [15] What is a smart city? – definition and examples - twi. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-smart-city#SmartCityDefinition>. (Accessed on 04/23/2021).
- [16] What's the difference between analog and digital sensors? - skylerh automation. <https://skylerh.com/difference-between-analog-and-digital-sensors/#using-sensors-to-tell-controller-whats-out-there>. (Accessed on 03/26/2021).

