

2021

Afstudeerverslag: Robotcel



Vorgelegd aan
Hanzehogeschool Groningen

om te voldoen aan de gestelde eisen
van de opleiding

Voltijd Bachelor Opleiding
Elektrotechniek
Majors Elektronica en Mechatronica

Riemer Hoogsteen
Bouwtechnics C & C B.V.
15-6-2021

Titelpagina

Titel: Afstudeerverslag: Robotcel

Student: Riemer Hoogsteen
371514
r.hoogsteen@st.hanze.nl

Opleiding: Mechatronica
Hanzehogeschool
Zernikeplein 11
9747 AS Groningen

Bedrijf: Bouwtechnics C & C B.V.
Blauwverlaat 20
9284 XH Augustinusga
www.bouwtechnics.nl

Bedrijfsbegeleider: Jospier Bouwer
j.bouwer@bouwtechnics.nl
+31 6 46120615

Datum: 15 juni 2021

Akkoord met verslag

Naam bedrijfsbegeleider: Jospier Bouwer

Handtekening bedrijfsbegeleider:

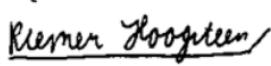


Verklaring

Hierbij verklaar ik dat dit rapport mijn eigen product is, dat waar ik tekst van anderen gebruikt heb, dat door aanhalingstekens en bronvermelding te gebruiken, duidelijk gemaakt wordt waar ik tekst, ideeën, uitdrukkingen of uitingen van anderen verwerkt heb.

Ik verklaar dat het rapport origineel werk beschrijft dat nog niet eerder gepresenteerd is om af te studeren bij enig ander instituut.

Handtekening,



Riemer Hoogsteen

Voorwoord

Dit afstudeerverslag is geschreven naar aanleiding van de opdracht waar ik tijdens mijn afstuderen mee bezig ben geweest. De opdracht bestond uit het ontwerpen en maken van een robotcel met een industriële robot die gebruikt kan worden in het onderwijs. De opdracht is uitgevoerd binnen Bouwtechnics C & C B.V. Het verslag dient als technische documentatie van de afstudeeropdracht. Het verslag is geschreven voor mijn bedrijfsbegeleider en voor de beide beoordelaars van de Hanzehogeschool om mij te kunnen beoordelen.

Tijdens het uitvoeren van de afstudeeropdracht heb ik goede begeleiding gehad van mijn bedrijfsbegeleider Jospier Bouwer. Als ik vragen had kon ik altijd bij hem terecht. Ik vond het uitvoeren van de opdracht erg leuk en ik vind het mooi dat ik de opdracht mocht uitvoeren en dat ik het vertrouwen kreeg om de opdracht uit te voeren. Ik wil Jospier daarom graag bedanken. Ik heb hulp gehad van meerdere collega's en wil ze daarom graag bedanken. Tijdens mijn afstuderen heb ik een driedaagse cursus gevolgd van ABB robots in Delft. Ik waardeer het dat ik deze cursus mocht volgen. Ik wil mijn schoolbegeleider bedanken voor het nakijken van alle documenten en de gegeven feedback.

Augustinusga, 1-6-2021

Inhoudsopgave

Samenvatting	6
Lijst met afkorting en termen	7
1. Inleiding	8
2. Analyse	9
2.1 Aanleiding.....	9
2.2 Huidige situatie	9
2.3 Doelstelling en probleemstelling.....	9
2.4 Klanteisen	10
2.5 Onderzoek	11
2.6 Systeemoverzicht/conceptueel model.....	21
3. Ontwerp	22
3.1 Deelvraag 1.....	22
3.2 Deelvraag 2.....	23
3.3 Deelvraag 3.....	27
3.4 Deelvraag 4.....	29
3.5 Deelvraag 5.....	31
3.6 Deelvraag 6.....	31
3.7 Deelvraag 7.....	34
3.8 Deelvraag 8.....	35
3.9 Ontwerp Inventor	35
3.10 Validatie ontwerp	38
3.11 Functionele eisen	38
4. Implementatie	39
4.1 Realisatie	39
4.2 Testplan	43
5. Evaluatie	44
5.1 Resultaten	44
5.2 Eisen.....	44
5.3 Conclusie.....	44
5.4 Aanbevelingen.....	45
Bibliografie	46
Bijlagen	49
Bijlage 1 - Plan van aanpak	49
Bijlage 2 – Enquête studenten	54
Bijlage 3 – Antwoorden leraren.....	59
Bijlage 4 – Analyse antwoorden studenten	60

Bijlage 5 – Bestaande robotcellen	63
Bijlage 6 – Overzicht normen.....	66
Bijlage 7 – ABB cursus	68
Bijlage 8 – Grippers	69
Bijlage 9 – Berekening hoek aanvoer	70
Bijlage 10 – Bepaling afscherming bovenkant	72
Bijlage 11 – Elektrisch schema	74
Bijlage 12 – Reserve onderdelen	94
Bijlage 13 – Flowcharts	95
Bijlage 14 – Controle formele eisen.....	98
Bijlage 15 – Calculatie	99
Bijlage 16 – RAPID code	100
Bijlage 17 – Testplan	105
Bijlage 18 – Resultaten testplan	108
Bijlage 19 – Eisen	111
Bijlage 20 – PowerPoints lespakket.....	114
Bijlage 21 – Foto’s assembleerproces.....	152

Samenvatting

Josper Bouwer is eigenaar van Bouwtechnics C & C B.V. Josper is van mening dat er te weinig aandacht is voor robotisering in het onderwijs. Uit de enquête die onder studenten is gehouden in het onderzoek blijkt dat studenten weinig kennis hebben van robotica en meer zouden willen leren op het gebied van industriële robots. Josper heeft op basis van zijn mening daarom het idee om een robotcel te ontwerpen en te maken die in het onderwijs gebruikt kan worden. De robotcel dient als praktische oefening om de kennis van studenten op het gebied van robots te vergroten. De probleemstelling van de opdracht is: Hoe kan de robotcel zodanig ontworpen en gemaakt worden dat deze veilig door studenten gebruikt kan worden en dat er een bouw pakket ontstaat die kan worden opgebouwd door studenten én hoe moet het les pakket opgebouwd zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren in de robotcel?

Om deze vraag te beantwoorden wordt eerst een literatuuronderzoek uitgevoerd. Vervolgens wordt een ontwerp gemaakt. Het ontwerp wordt vertaald naar een werkelijke robotcel. De gerealiseerde robotcel wordt uiteindelijk getest om te bepalen of het voldoet aan de eisen.

De robotcel zal bestaan uit een frame met daarin een industriële robot van ABB. De robotcel wordt als een bouw pakket geleverd aan de scholen voor middelbaar beroepsonderwijs (mbo) en hoger beroepsonderwijs (hbo). De studenten gaan het bouw pakket assembleren, zodat ze leren hoe de robot gemonteerd en aangesloten moet worden. De robot moet een aantal taken uitvoeren die door studenten geprogrammeerd kunnen worden. Op basis van de resultaten van de enquête die onder studenten is gehouden blijkt dat veel studenten het interessant vinden om de industriële robot pick en place taken uit te laten voeren. Veel voorkomende taken binnen de industriële robotisering zijn: assemblage, pakken en verpakken, materiaal verwijdering, lassen en verven. Deze taken zijn onder te verdelen in pick en place taken en taken waarbij een pad gevolgd wordt. Op basis hiervan zijn de taken die door de studenten geprogrammeerd moet worden pick en place taken en tekentaken. De pick en place taak bestaat uit het oppakken en neerzetten van Lego Duplo blokjes, het palletiseren van de blokjes en het sorteren van twee verschillende formaten Lego Duplo blokjes op grootte. De tekentaak bestaat uit het tekenen van een vierhoek en een cirkel. De blokjes worden aangevoerd doormiddel van een schuine aanvoer. Met een elektrische grijper worden de blokjes vastgepakt. De figuren worden getekend met behulp van een stift op A4 papier. Het A4 papier is bevestigd op een tekenoppervlak.

De robotcel bestaat uit een frame met daarin een montageplaat. Het frame bestaat uit kokers, hoekprofielen en plaatwerk. De onderdelen worden met bouten en moeren aan elkaar bevestigd, zodat de robotcel makkelijk gemonteerd en gedemonteerd kan worden. Bij de robotcel wordt een 3D-CAD tekening en een elektrisch schema geleverd, die gebruikt moeten worden bij het opbouwen van de robotcel en het aansluiten van de elektrische componenten. De robot, de aanvoer en het tekenoppervlak zijn gemonteerd op de montageplaat. De montageplaat verdeelt de robotcel in twee compartimenten. Het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. In het onderste compartiment is de controller aanwezig samen met de besturingskast. Het werkgebied van de robot is afgeschermd met doorzichtige afscherming, zodat de robot tijdens bedrijf niet bereikbaar is voor personen, maar wel goed zichtbaar is wat de robot doet. In de software van de robot zijn veiligheden ingebouwd om te zorgen dat bij programmeerfouten schade aan de robot of de robotcel wordt voorkomen of beperkt. Het les pakket bestaat uit een aantal PowerPoints waarin met behulp van afbeeldingen en tekst de lesstof wordt uitgelegd. Er wordt informatie gegeven met betrekking tot de werking van de robot en hoe de robot geprogrammeerd moet worden. Het maken van een programma voor de tekentaken en pick en place taken wordt ook besproken. Bij de robotcel wordt een omgeving in RobotStudio geleverd, waarin de robotcel visueel te zien is en waarin de verschillende taken geprogrammeerd kunnen worden.

Een aantal aanbevelingen zijn, het uitbreiden van het les pakket en het aantal modules, het vergroten van de gaten waar de controller doorheen steekt, de afscherming van de hoekprofielen verbeteren en de afscherming van het onderste compartiment vervangen door metalen platen.

Lijst met afkortingen en termen

Termen en afkortingen	Betekenis
Degrees of Freedom (DoF)	DoF is gelijk aan het totale aantal van onafhankelijke parameters die nodig zijn voor het definiëren van de positie van een object in de ruimte. (Gurgul, 2018)
Elektrolytisch verzinken	Elektrolytisch verzinken is een methode om staal te voorzien van een dun laagje zink om oxideren van het staal tegen te gaan. Met behulp van elektrolyse worden zinkionen neergeslagen op het werkstuk. (Thermisch of elektrolytisch verzinken?, 2021)
End-effector	Apparaat aan het einde van een robotarm, ontworpen voor de interactie met de omgeving. (Robot end effector, 2021)
HMI (Human Machine Interface)	HMI beeldschermen dienen als interface tussen mens en machine. HMI beeldschermen worden toegepast om bijvoorbeeld machines en robots te bedienen. (Operator panels en HMI displays, 2021)
Path repeatability, RT	Vermogen van de robot om hetzelfde pad te volgen. (Martins F. N., 2020)
Poedercoaten	Poedercoaten ook wel poederlakken of poederverven genoemd, is een elektrostatisch verfproces. Met perslucht wordt negatief geladen poeder op een geaard werkstuk aangebracht. Door het verschil in lading blijft het poeder tijdelijk plakken aan het werkstuk. In een oven wordt het poeder gesmolten en ontstaat er een gekleurde beschermingslaag over het werkstuk. Poedercoaten wordt vooral toegepast op metalen voorwerpen. (Poederlakken, 2021)
Pose	De pose (positie en oriëntatie) van een voorwerp in de ruimte is gedefinieerd door drie translatie componenten en drie rotatie componenten. Dit betekent dat het voorwerp zes Degrees of Freedom heeft. (Martins F. N., 2020)
Pose repeatability, RP	Vermogen van de robot om dezelfde pose te bereiken. (Martins F. N., 2020)
STEP-bestanden	Een STEP-bestand is een veel gebruikt bestandsformaat om 3D CAD modellen uit te wisselen tussen verschillende 3D teken programma's. De opbouw van het bestand is vastgelegd in ISO 10303-21. (STEP-bestand (.stp/.step), 2014)
TIG-lassen	TIG-lassen is een lastechniek. TIG staat voor Tungsten Inert Gas. Tungsten is Engels voor Wolfram en inert gas staat voor het gas dat bij dit lasproces wordt gebruikt. TIG-lassen is geschikt voor nauwkeurig laswerk. (Geertsma, 2013)
Werkobject teachen	De plaats van een object in de werkelijkheid is niet gelijk aan de plaats van een object in RobotStudio. Er zijn altijd verschillen. Om de plaats van een object ten opzichte van de robot in de werkelijkheid nauwkeurig te bepalen, kan met behulp van een teachpen die aan de flens van de robot is gemonteerd punten van het object ingeleerd worden. De TCP van de teachpen is van tevoren bekend. Het object moet verbonden zijn aan een werkobject.

1. Inleiding

Josper Bouwer is eigenaar van Bouwtechnics C & C B.V. Josper is van mening dat er te weinig aandacht is voor robotisering in het onderwijs. Uit de enquête die onder studenten is gehouden in het onderzoek blijkt dat studenten weinig kennis hebben van robotica en meer zouden willen leren op het gebied van robotica en industriële robots. Josper heeft op basis van zijn mening daarom het idee om een robotcel te ontwerpen en te maken die in het onderwijs gebruikt kan worden. De robotcel kan dienen als praktische oefening om de kennis van studenten op het gebied van robots te vergroten.

Het is de bedoeling om de robotcel te verkopen aan scholen voor middelbaar beroepsonderwijs (mbo) en hoger beroepsonderwijs (hbo). De robotcel zal bestaan uit een frame met daarin een industriële robot. De robotcel wordt als een bouw pakket geleverd aan de scholen. De studenten gaan het bouw pakket assembleren, zodat ze leren hoe de robot gemonteerd en aangesloten moet worden. De robot moet een aantal taken uitvoeren die door studenten geprogrammeerd kunnen worden.

De probleemstelling van de opdracht is: Hoe kan de robotcel zodanig ontworpen en gemaakt worden dat deze veilig door studenten gebruikt kan worden en dat er een bouw pakket ontstaat die kan worden opgebouwd door studenten én hoe moet het lespakket opgebouwd zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren in de robotcel?

Om deze vraag te beantwoorden wordt eerst een literatuuronderzoek uitgevoerd. Vervolgens wordt een ontwerp gemaakt. Het ontwerp wordt vertaald naar een werkelijke robotcel. De gerealiseerde robotcel wordt uiteindelijk getest om te bepalen of het voldoet aan de eisen.

Het verslag is ingedeeld op basis van de vier fasen. In hoofdstuk 2 wordt de analysefase besproken. De klanteisen worden vastgesteld en er wordt onderzoek gedaan naar onder andere robotcellen die verkrijgbaar zijn op de markt en de taken die door de robot in de robotcel uitgevoerd moeten worden. In hoofdstuk 3 komt de ontwerpfase aan bod. Een ontwerp van het elektrisch schema wordt gemaakt, flowcharts voor het schrijven van de software worden gemaakt. Ook wordt een 3D-ontwerp gemaakt van de robotcel in Inventor. Er worden keuzes gemaakt tijdens het ontwerpen en deze worden toegelicht. De implementatiefase wordt in hoofdstuk 4 besproken. Het maken van onderdelen en het assembleren van de robotcel wordt in dit hoofdstuk besproken. Een testplan wordt gemaakt voor het testen van de robotcel. In hoofdstuk 5 komt de evaluatiefase aan bod. De resultaten van het testplan worden besproken. Er wordt een conclusie getrokken uit de resultaten van het testplan en er worden aanbevelingen gedaan om de robotcel te verbeteren.

2. Analyse

In dit hoofdstuk komen verschillende onderdelen aan bod. In de aanleiding wordt de context van de opdracht besproken. De doelstelling en de probleemstelling komen aan bod. De klanteisen worden beschreven. In het onderzoek worden bepaalde onderwerpen behandeld die van belang zijn om uiteindelijk tot een antwoord op de probleemstelling te komen. Naar aanleiding van het onderzoek en op basis van de probleemstelling worden er deelvragen geformuleerd. In het systeemoverzicht/conceptueel model wordt het meest logische antwoord op de probleemstelling besproken.

2.1 Aanleiding

Josper Bouwer is eigenaar van Bouwtechnics C & C B.V. Josper is van mening dat er te weinig aandacht is voor robotisering in het onderwijs. Uit de enquête die onder studenten is gehouden in het onderzoek blijkt dat studenten weinig kennis hebben van robotica en meer zouden willen leren op het gebied van robotica en industriële robots. Josper heeft op basis van zijn mening daarom het idee om een robotcel te ontwerpen en te maken die in het onderwijs gebruikt kan worden. De robotcel kan dienen als praktische oefening om de kennis van studenten op het gebied van robots te vergroten. Dit idee is vertaald naar een afstudeeropdracht die zal worden uitgevoerd.

Het is de bedoeling om de robotcel te verkopen aan scholen voor middelbaar beroepsonderwijs (mbo) en hoger beroepsonderwijs (hbo). De robotcel zal bestaan uit een frame met daarin een industriële robot. Het is de bedoeling dat de robotcel als een bouw pakket wordt geleverd aan de scholen. De studenten gaan het bouw pakket assembleren, zodat ze leren hoe de robot gemonteerd en aangesloten moet worden. De robot moet een aantal taken uitvoeren die door studenten geprogrammeerd kunnen worden.

Aan mij de taak om het frame van de robotcel te ontwerpen samen met de verschillende modules die nodig zijn om de taken uit te voeren. Hierbij komen zowel mechanica als elektronica aan bod. Componenten moeten uitgezocht worden die gebruikt gaan worden in de robotcel. De robotcel zal door mij worden geassembleerd samen met het monteren en installeren van de robot, om te verifiëren of de robotcel geassembleerd en in werking gesteld kan worden. Bepaalde onderdelen zullen door mij gefabriceerd worden.

Om vast te stellen welke taken door de robot uitgevoerd moeten worden zal onderzoek gedaan worden. Een basis les pakket zal door mij gemaakt worden, bestaande uit een paar tutorials waarin wordt beschreven hoe de robot geprogrammeerd kan worden, zodat de robot de vastgestelde taken uit kan voeren. De robot zal door mij geprogrammeerd worden om te verifiëren dat de robot in de robotcel de vastgestelde taken goed uitvoert.

2.2 Huidige situatie

Binnen het bedrijf is nog niet eerder onderzoek gedaan naar het maken van een robotcel voor studenten. De industriële robot die gebruikt gaat worden in de robotcel is een IRB 1100 van ABB. Deze robot is aangeschaft door het bedrijf.

2.3 Doelstelling en probleemstelling

De doelstelling van de opdracht is het ontwerpen en maken van een educatieve robotcel welke gebruikt kan worden in het onderwijs om de kennis van studenten op het gebied van industriële robots te vergroten. De robotcel wordt aangeleverd als een bouw pakket en kan geassembleerd worden door studenten. De robotcel bevat een industriële robot van ABB die geprogrammeerd kan worden door studenten en zo bepaalde taken uit kan voeren in de robotcel.

De probleemstelling van de opdracht is: Hoe kan de robotcel zodanig ontworpen en gemaakt worden dat deze veilig door studenten gebruikt kan worden en dat er een bouw pakket ontstaat die kan worden opgebouwd door studenten én hoe moet het lespakket opgebouwd zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren in de robotcel?

2.4 Klanteisen

De klanteisen, ook wel formele eisen genoemd, zijn de eisen waaraan het eindproduct moet voldoen. De formele eisen worden in Tabel 1 weergegeven. Onder de tabel wordt aangegeven waar de eisen vandaan komen.

Tabel 1: Formele eisen.

Nr.	Formele eisen
1.	De robotcel moet veilig zijn om mee te werken en moet voldoen aan de CE-markering.
2.	Het frame van de robotcel moet opgebouwd kunnen worden door een groepje studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot.
3.	Bij de robotcel wordt een basistekening en een elektrisch schema geleverd als instructie voor het opbouwen van de robotcel.
4.	Bij de robotcel moet een basis lespakket geleverd worden bestaande uit een paar tutorials, waarin wordt aangegeven wat de robot moet doen en wat studenten moeten programmeren.
5.	De robotcel moet een deurpost met een deur van 930 mm breed kunnen passeren.
6.	De robotcel moet verplaatst kunnen worden.
7.	De robotcel moet gevoed worden met 230 Volt wisselspanning.
8.	De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot moet lager zijn dan €25.000.
9.	De robot in de robotcel moet een pick en place taak uitvoeren.
10.	De robotcel bestaat uit een vast frame en bevat een plaat waar de robot op gemonteerd is en waar modules op bevestigd kunnen worden. Met behulp van de modules kan door de robot een taak uitgevoerd worden.
11.	De programma's moeten offline geprogrammeerd kunnen worden met Robotstudio voordat aan de slag wordt gegaan met de robot, zodat studenten in kleine groepjes kunnen werken met de robotcel om hun programma te testen.

Eis 1 komt voort uit het feit dat producten die verkocht worden in de Europese Unie moeten voldoen aan de CE-markering om aan te geven dat het product voldoet aan de wettelijke eisen op het gebied van veiligheid, gezondheid en het milieu, zie paragraaf 2.5 Onderzoek. De eisen 2 en 4 komen voort uit een e-mailbericht van Josper Bouwer naar aanleiding van vragen over het afstudeervoorstel. De eisen 3, 5, 6, 7 en 10 komen voort uit een gesprek met Josper Bouwer. Eisen 2 en 3 zijn opgesteld om in eerste instantie de kennis van de studenten te verhogen op het gebied van het monteren en aansluiten van de robot en op het gebied van het aansluiten van elektrische componenten. De tweede reden voor het opstellen van eis 2 is om de verkoopprijs van de complete robotcel te verlagen. Door een bouw pakket te leveren kan bespaard worden op de kosten voor assemblage van de robotcel. Eis 8 is gebaseerd op de verkoopprijzen van de robotcellen, genoemd in paragraaf 2.5 Onderzoek. Om de robotcel aantrekkelijk te maken voor scholen moet de verkoopprijs vergelijkbaar of lager zijn dan de prijzen van de robotcellen van concurrerende bedrijven. Naar aanleiding van de enquête die onder studenten is gehouden, bleek dat veel studenten interesse hebben in pick en place taken met betrekking tot industriële robots. Aan de hand van deze conclusie uit de enquête is eis 9 opgesteld. Eis 11 komt voort uit het gesprek met leraren van de Hanzehogeschool op 3 maart 2021, zie *Bijlage 3 – Antwoorden leraren*.

2.5 Onderzoek

In deze paragraaf wordt eerst onderzoek gedaan naar verschillende aspecten die te maken hebben met de opdracht, zoals de klantvraag, de robot, verkrijgbare educatieve robotcellen, grippers en de CE-markering. Aan het eind van deze paragraaf worden verschillende deelvragen geformuleerd naar aanleiding van het onderzoek en op basis van de probleemstelling. De deelvragen worden in de ontwerpfase beantwoord.

Klantvraag

Tijdens de afstudeerperiode wordt een robotcel ontworpen en gemaakt. Het is de bedoeling om de robotcel te verkopen aan scholen voor middelbaar beroepsonderwijs (mbo) en hoger beroepsonderwijs (hbo). Het is daarom belangrijk om vast te stellen wat deze scholen willen. De studenten gaan met de robotcel werken. Belangrijker is dus wat de studenten willen leren en wat ze interessant vinden.

Een deel voor de klantvraag staat vast. Dit is vastgesteld door Josper Bouwer. De robotcel zal namelijk bestaan uit een frame waarin een plaat gemonteerd wordt. Op de plaat zal een IRB 1100 robot van ABB bevestigd worden. Op deze plaat kunnen verschillende modules op verschillende plaatsen bevestigd worden. Met behulp van de verschillende modules kan de robot bepaalde taken uitvoeren die door studenten geprogrammeerd worden. Het staat nog niet vast wat de taken zijn die door de robot uitgevoerd moeten worden. Om de taken vast te stellen is aan studenten gevraagd of zij ideeën hebben voor deze taken, wat hen interessant lijkt en wat ze graag willen leren. Aan leraren op het gebied van robotica is ook gevraagd of ze ideeën hebben voor de taken die uitgevoerd kunnen worden.

Antwoorden studenten

De enquête is door twintig hbo-studenten ingevuld. De vragen en de resultaten van de enquête staan in *Bijlage 2 – Enquête studenten*. Twee medestudenten van de opleiding Mechatronica hebben hun ideeën gegeven over de taken die door de robot uitgevoerd kunnen worden. Drie mbo-studenten hebben de vragen van de enquête beantwoord via een gesprek. Het totale aantal ondervraagde studenten komt dan op 25. De enquête is vrijwillig ingevuld. De verwachting is daarom dat de enquête alleen door studenten ingevuld is die het interessant vinden om te werken met robots. In *Bijlage 4 – Analyse antwoorden studenten* worden de antwoorden van de studenten geanalyseerd en geordend.

Uit de gegevens van de enquête kan een conclusie getrokken worden. De robotcel kan gebruikt worden door studenten van de opleiding Mechatronica, Elektronica en werktuigbouwkunde. Maar de robotcel kan ook gebruikt worden voor studenten op het gebied van game design en software. De robotcel is het meest geschikt voor studenten van het tweede, derde en vierde studiejaar, want in deze studiejaar komen de meeste studenten in contact met robotica. De meeste studenten willen meer te weten komen over de werking van een industriële robot, de keuze voor een industriële robot, het programmeren van een industriële robot, de toepassingen van een industriële robot en hoe een industriële robot bediend kan worden. Dit betekent dat waarschijnlijk weinig van de ondervraagde studenten les hebben gehad op het gebied van industriële robots. De meeste studenten lijkt het leuk en interessant om een pick en place taak te automatiseren, zonder of met een herkenningssysteem.

Robot

De robot die gebruikt zal worden in de robotcel is een IRB 1100 van ABB, zie Figuur 1. Bouwtechnics is partner van ABB en kan de IRB 1100 robot voor een goede prijs aanschaffen, vandaar dat deze robot wordt gebruikt voor de opdracht. De IRB 1100 is een industriële robotarm. Een aantal technische gegevens van de robot staat in Tabel 2. Om met de robot aan de slag te gaan is het belangrijk om van een aantal theoretische aspecten kennis te hebben genomen.



Figuur 1: IRB 1100. (IRB 1100 - The most compact and fast robot ever, 2021)

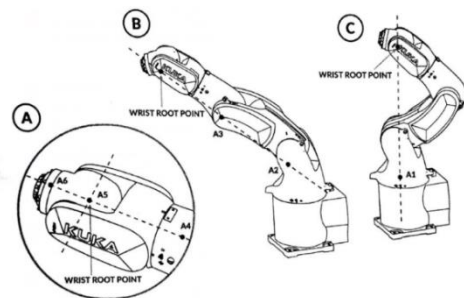
De robotarm bestaat uit een aantal schakels die met roterende verbindingen aan elkaar zijn gekoppeld. De robotarm heeft 6 roterende verbindingen. Omdat de drie eerste verbindingen roterende verbindingen zijn is de configuratie van de robot RRR. De robot heeft meer Degrees of Freedom (DoF) dan eigenlijk nodig voor het uitvoeren van een bepaalde beweging. De robotarm heeft op deze manier meerdere standen (configuraties) om eenzelfde positie en oriëntatie (pose) te bereiken van het einde van de robotarm. (Martins F. , 2020)

Bij het bewegen van een robot kan singulariteit optreden. Singulariteit betekend dat twee of meer robot assen op een lijn liggen wat kan resulteren in onvoorspelbare robot bewegingen en snelheden. Er zijn twee problemen met singulariteit. De eerste is dat de robot controller niet in staat is om één mogelijke configuratie van de robotarm vast te stellen. Bij het tweede probleem is de robot niet in staat om de lineaire snelheid van de tool in stand te houden.

Tabel 2: Technische gegevens robot. (ABB, IRB 1100, 2019)

Type	IRB 1100-4/0.58
Bereik	0.58 meter
Laadvermogen	4 kg
Aantal assen	6
Pose repeatability (RP)	0.01 mm
Path repeatability (RT)	0.05 mm
Gewicht	21 kg

Voor de IRB 1100 robot met 6 DoF komen deze problemen voor in drie arm configuraties, zie Figuur 2. Bij de eerste en meest voorkomende configuratie komt singulariteit voor wanneer de waarde van de vijfde as gelijk is aan nul. Dan liggen de rotatieassen vier en zes op een lijn, zie Figuur 2A. Bij de tweede configuratie komt singulariteit voor wanneer de middelpunten van de tweede, derde en vijfde rotatieassen op een lijn liggen, zie Figuur 2B. Bij de derde configuratie komt singulariteit voor wanneer het middelpunt van de vijfde rotatieas bij een lineaire beweging over het middelpunt van de eerste rotatieas beweegt, zie Figuur 2C. Dit is de minst voorkomende singulariteit. Singulariteit moet vermeden worden. Dit kan door bij het programmeren van de robot armconfiguraties waarbij singulariteit kan optreden te vermijden. Ook moet bijvoorbeeld bij het oppakken en plaatsen van een product rekening gehouden worden met waar een product opgepakt of geplaatst moet worden.



Figuur 2: Voorbeelden van singularity configuraties voor een robot met 6 assen. (Gurgul, 2018)

Een coördinatensysteem wordt gebruikt bij het navigeren van de robot in de driedimensionale ruimte. Het einde van de robotarm wordt standaard gebruikt als referentiepunt voor de navigatie ten opzichte van de voet van de robot. Als er bijvoorbeeld een grijper aan de robotarm wordt bevestigd moet het referentiepunt veranderd worden. De Tool Center Point (TCP) is het nieuwe referentiepunt. Dit nieuwe referentiepunt is verschoven en/of geroteerd ten opzichte van het referentiepunt van het einde van de robotarm. (Goodwin, 2020)

Controller

De controller van de robot is een OmniCore C30 Desktop Controller, zie Figuur 3. De controller stuurt de robotarm aan en verwerkt alle binnenkomende en uitgaande signalen. De controller heeft 16 digitale ingangen en 16 digitale uitgangen. De controller heeft ook een aantal veiligheidsingangen, waar bijvoorbeeld een noodstopschakelaar of een deurschakelaar op aangesloten kan worden. Een FlexPendant kan verbonden worden met de controller. Een FlexPendant is een soort HMI waarmee de robot bestuurd en geprogrammeerd kan worden, zie hieronder voor meer informatie over de FlexPendant. De controller kan in automatische of handmatige modus gezet worden. Automatische modus betekent dat de robot een programma uitvoert zonder dat een FlexPendant gebruikt hoeft te worden. Handmatige modus betekent dat met behulp van een FlexPendant een programma eventueel in een onveilige situatie uitgevoerd kan worden door de robot. In de handmatige modus kan bijvoorbeeld een programma getest worden. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020)



Figuur 3: Ominicore C30 controller met FlexPendant. (OmniCore™ Controllers, 2021)

FlexPendant

De FlexPendant kan verbonden worden met de controller van de robot, zie Figuur 3. Met de FlexPendant kan de robot bestuurd en geprogrammeerd worden. De FlexPendant beschikt over een touchscreen, waar de user interface op te zien is. De FlexPendant heeft een joystick waarmee de bewegingen van de robotarm kunnen worden bestuurd. Het bevat een noodstopknop waarmee de robot plotseling gestopt kan worden in het geval van een onveilige situatie. Ook bevat het een drie-positie knop. Wanneer de knop in het midden wordt gehouden staan de motoren van de robot aan en kan de robot bewegen. Als de knop helemaal wordt ingedrukt of losgelaten stopt de robot. De drie-positie knop wordt in handmatige modus gebruikt. De robot kan hierdoor eventueel in een onveilige situatie relatief veilig bewegen. (ABB, Operating manual - OmniCore, 2020)

De robot kan op twee manieren via de FlexPendant geprogrammeerd worden. Met behulp van RAPID code kan de robot door middel van tekst geprogrammeerd worden. Met 'Wizard easy programming' kan de robot eenvoudig geprogrammeerd worden door middel van het combineren van visuele instructieblokken en het instellen van vooraf gedefinieerde parameters. De Wizard is een standaard applicatie op de FlexPendant van de IRB 1100 robot. De 'Wizard easy programming' kan ook als add-in toegevoegd worden aan RobotStudio. (ABB, Application manual - Wizard, 2020)

RobotStudio

RobotStudio is een computerprogramma waarin de robot geprogrammeerd kan worden. De robot kan zowel online als offline geprogrammeerd worden. Online programmeren betekent dat het programma rechtstreeks in de controller wordt geprogrammeerd met RobotStudio. Offline programmeren betekent dat het programma met behulp van een virtuele controller in RobotStudio geprogrammeerd wordt, de echte controller wordt hierbij niet gebruikt. RobotStudio is gebaseerd op een virtuele controller. De virtuele controller is exact hetzelfde als de controller van de robot. RobotStudio heeft een visuele wereld, waarin het automatiseringsproces gevisualiseerd en gesimuleerd kan worden. Als het programma van de robot gemaakt is in de virtuele wereld, dan kan het programma geüpload worden naar de controller van de robot. De echte wereld kan niet exact gesimuleerd worden, er zijn altijd verschillen met de simulatie. Objecten zijn bijvoorbeeld net iets anders gepositioneerd dan in de simulatie. Dit kan opgelost worden door bijvoorbeeld bepaalde punten van een object in te leren met de robot door de TCP van de robot naar een bepaalde positie van het object te bewegen met behulp van de FlexPendant. Door op deze manier meerdere punten van het object in te leren kan de positie van het object ten opzichte van de robot uitgerekend worden door de robot. (Segerstrom, 2013)

De Robot Control Mate biedt basis instructies voor het bedienen van een robot. In het geval dat een FlexPendant niet beschikbaar is kan de Robot Control Mate samen met RobotStudio gebruikt worden om de robot te besturen. (ABB, Operating manual - Robot Control Mate, 2020)

Het gebruik van RobotStudio heeft een aantal voordelen:

- Het programmeren kan gedaan worden zonder de productie stil te zetten.
- Programma's kunnen van te voren worden voorbereid.
- Training en optimalisering kan gedaan worden zonder het productieproces te verstoren.
- Het risico op schade is verkleind.
- Installatie en inbedrijfstelling van nieuwe systemen is sneller.
- De wisseling tussen verschillende productieprocessen is sneller.

(Segerstrom, 2013)

De robot kan in RobotStudio op twee manieren geprogrammeerd worden. Met behulp van RAPID code kan de robot door middel van tekst geprogrammeerd worden. De robot kan ook geprogrammeerd worden met behulp van de virtuele wereld. Op deze manier wordt de robot visueel geprogrammeerd. Het programmeren met behulp van RAPID code is uitgebreider en specifiek. Als de robot geprogrammeerd wordt met behulp van RAPID code kan de data omgezet worden naar de virtuele wereld. Andersom kan ook, maar als het programma uitgebreider wordt kunnen er fouten optreden.

Basis lespakket

Het lespakket zal bestaan uit een paar tutorials, waarin wordt aangegeven wat de robot moet doen, zie de formele eisen. De tutorials kunnen geprogrammeerd worden via de FlexPendant en RobotStudio. Door een tutorial via de FlexPendant te programmeren leren de studenten om met de FlexPendant te werken. Door een tutorial met behulp van RobotStudio te programmeren leren de studenten om de robot te programmeren met RAPID code en de robot te simuleren in een virtuele wereld. Bij de robot wordt één RobotStudio Netwerklisentie geleverd voor 100 gelijktijdige gebruikers. Met behulp van RobotStudio kunnen studenten de robot vooraf programmeren en simuleren, zonder gebruikt te maken van de robotcel. Hierdoor kunnen veel studenten in korte tijd met één robotcel werken. Als het programma in RobotStudio geschreven is kunnen de studenten in kleine groepjes met de robotcel gaan werken door de robotcel op te bouwen en het gemaakte programma te testen. Ook kan dan via de FlexPendant een programma gemaakt worden.

Frame robotcel

De complete robotcel moet door studenten kunnen worden opgebouwd, zoals vastgesteld in de formele eisen. De robotcel moet dus aangeleverd worden als een soort bouw pakket met alle benodigde onderdelen. Bij het bouw pakket wordt een basis handleiding geleverd, zodat studenten goed moeten blijven nadenken in welke volgorde en stappen de robotcel moet worden opgebouwd. De basishandleiding zal grotendeels bestaan uit een basistekening en een elektrisch schema als instructie voor het opbouwen van de robotcel. Hier en daar zal een kleine toelichting gegeven worden. De onderdelen van het bouw pakket kunnen op verschillende manieren met elkaar verbonden worden. Er zijn verschillende soorten verbindingen beschikbaar, welke in te delen zijn in niet-losneembare en losneembare verbindingen. Lijm-, las-, soldeer- en klinkverbindingen behoren tot de niet-losneembare verbindingen. Schroefverbindingen behoren tot de losneembare verbindingen. Penverbindingen, spanbussen en borgelementen behoren tot zowel niet-losneembare als losneembare verbindingen. (Wittel, Muhs, Jannasch, & Voßiek, 2013)

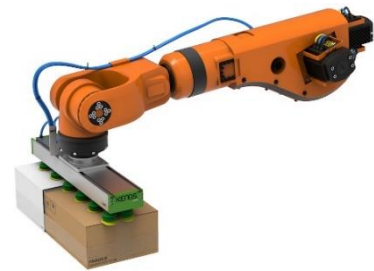
In de formele eisen is vastgesteld dat de robotcel moet bestaan uit een frame met daarin een plaat waarop de robot bevestigd kan worden. Op deze plaat kunnen verschillende modules op verschillende plaatsen bevestigd worden. Met behulp van het plaatsen van een combinatie van verschillende modules binnen de robotcel kan een bepaalde taak door de robot uitgevoerd worden. De plaat kan gemaakt worden van verschillende materialen, bijvoorbeeld staal, aluminium of RVS. Het frame kan bestaan uit verschillende profielen. Zo kan het frame bijvoorbeeld bestaan uit kokers, buizen, extrusieprofielen, strippen, hoekprofielen, enzovoort. Deze profielen kunnen van verschillende materialen gemaakt worden.

Grijpers

Een robotgrijper is een belangrijk onderdeel van de robot en kan bevestigd worden aan het uiteinde van de robotarm. Met een robotgrijper kan een voorwerp vastgepakt worden. Er zijn veel verschillende grijpers verkrijgbaar, maar een grijper kan ook ontworpen worden voor een speciale toepassing. De keuze voor een grijper hangt af van de applicatie en het type materiaal waar de grijper mee in contact komt. De grijper moet betrouwbaar zijn en mag het voorwerp niet beschadigen. Grijpers zijn grotendeels onder te verdelen in vacuüm grijpers, pneumatische grijpers, hydraulische grijpers en servo-elektrische grijpers. (Calderone, 2019) In Tabel 3 worden de voor- en nadelen van de verschillende soorten grijpers overzichtelijk weergegeven.

Vacuüm en elektromagneet grijpers

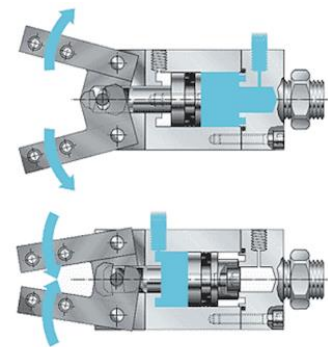
Vacuüm grijpers gebruiken veelal zuignappen, maar een soort schuimrubber kan ook gebruikt worden, zie Figuur 4. De zuignap wordt tegen het voorwerp aangedrukt. Een vacuüm wordt gegenereerd doordat de lucht uit de ruimte binnen de zuignap wordt gehaald. De zuignap wordt zo eigenlijk tegen de oppervlakte van het voorwerp gezogen. Dit veroorzaakt een vrij sterke binding. Door lucht in de zuignapruimte toe te laten wordt het vacuüm opgeheven en laat de zuignap los van het oppervlak. De grijper kan bestaan uit een verschillend aantal zuignappen. Een grijper met zuignappen wordt veelal gebruikt voor het van bovenaf oppakken en weer neerzetten van voorwerpen. Het nadeel van deze grijper is de lage nauwkeurigheid en wordt daarom veelal gebruikt voor simpele taken. De aansturing van vacuüm-grijpers is relatief eenvoudig, omdat ze alleen geactiveerd en gedeactiveerd moeten worden. De zuignappen kunnen bij het oppakken van een voorwerp met een magnetisch materiaal ook vervangen worden door een elektromagneet. Door de grijper boven het magnetische materiaal te bewegen en dan de elektromagneet te activeren wordt het voorwerp verbonden met de elektromagneet. Door het magnetische veld van de elektromagneet uit te zetten laat het voorwerp los van de grijper. Het nadeel van een elektromagneet is dat het voorwerp magnetisch wordt en ander magnetisch materiaal aantrekt. De aansturing van grijpers met een elektromagneet is ook relatief eenvoudig (Robot Grippers & End Effectors, 2021)



Figuur 4: Vacuüm grijper. (Staff, 2019)

Pneumatische en servo-elektrische grijpers

Pneumatische grijpers zijn grijpers waarin een luchtcilinder zorgt voor het open en dichtgaan van de grijpvingers van de grijper, zie Figuur 5. De grijper wordt voorzien van perslucht. De grijper wordt aangestuurd met een ventiel, die de lucht naar de ene of de ander kant van de zuiger in de cilinder stuurt, afhankelijk van de gewenste richting van de grijpvingers. Pneumatische grijpers zijn eenvoudig aan te sturen door het ventiel te activeren of te deactiveren. De bouwvorm is relatief klein.



Figuur 5: Pneumatische grijper met vingers onder hoek. (Hoe Werkt een Pneumatische Grijper, 2021)

Servo-elektrische grijpers bezitten elektromotors voor het bewegen van de grijpvingers, zie Figuur 6. De grijpers zijn erg nauwkeurig en met deze grijpers kunnen ook voorwerpen opgemeten worden. Het nadeel van deze grijper is de grootte. De elektromotors maken deze grijper groter. De grijpers kunnen eenvoudig aangestuurd worden door de motor te activeren of te deactiveren, de grijpvingers kunnen dan alleen volledig gesloten of geopend worden. Bij bepaalde typen kunnen de grijpvingers deels gesloten of geopend worden. De aansturing van deze typen grijpers is wat lastiger.



Figuur 6: servo-elektrische grijper. (Bouchard, 2016)

Pneumatische en servo-elektrische grippers zijn in verschillende configuraties te verkrijgen. Bijvoorbeeld grippers met twee vingers die parallel of met een hoek open of dichtgaan om een voorwerp vast te pakken. Een ander voorbeeld is een gripper met drie vingers. Een gripper met drie vingers is in staat om een voorwerp te centreren. Een soft gripper kan producten van verschillende vormen vastpakken. (Calderone, 2019) In *Bijlage 8 – Grippers* is een overzicht weergegeven van verschillende elektrische grippers van verschillende leveranciers met bijhorende specificaties en prijzen. Ook is een pneumatische gripper weergegeven.

Hydraulische grippers

Hydraulische grippers zijn grippers waarin een hydraulische cilinder zorgt voor het open en dichtgaan van de grijpvingers van de gripper. Ze kunnen erg lijken op pneumatische grippers. Ze worden vooral gebruikt in situaties waar veel kracht nodig is. Het nadeel van deze grippers is dat er olie kan lekken, waardoor deze grippers niet gebruikt kunnen worden in schone omgevingen waar hygiëne belangrijk is. (Calderone, 2019)

Tabel 3: Voor- en nadelen grippers

Gripper	Voordelen	Nadelen
Vacuüm gripper	Eenvoudige aansturing.	- Lage nauwkeurigheid. - Vacuüm nodig.
Elektromagneet gripper	Eenvoudige aansturing.	- Zware gripper. - Materiaal wordt magnetisch.
Servo-elektrische gripper	- Eenvoudige aansturing. - Nauwkeurige positionering van de grijpervingers mogelijk. - Metten van objectgrootte mogelijk.	- Grote bouwvorm door de elektromotors. - Relatief duur.
Pneumatische gripper	- Eenvoudige aansturing. - Kleine bouwvorm. - Relatief goedkoop.	- Lagere nauwkeurigheid voor positionering van grijpervingers. - Perslucht nodig.
Hydraulische gripper	Grote krachten.	- Kans op olielekken. - Zware gripper.

Deurafmetingen

De meest voorkomende deurafmetingen in de breedte zijn 830 mm, 880 mm en 930 mm en in de hoogte 2015 mm, 2115 mm, 2315 mm. De dagmaat van een deurkozijn is de afstand tussen de stijlen aan de binnenkant van het kozijn, zie Figuur 7. De dagmaat kan gebruikt worden om vast te stellen wat de maximale breedte is van een object die een deurpost kan passeren. De dagmaat van een deur met een breedte van 930 mm is 900 mm. ($930 \text{ mm} - 30 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$). De deur valt aan de rechter en linkerkant 15 mm in het kozijn. De breedte van een object die de deurpost moet passeren moet kleiner zijn dan 900 mm. Een deur valt aan de bovenkant ook 15 mm in het kozijn. Een object die een deur met een hoogte van 2015 mm moet kunnen passeren moet kleiner zijn dan 2000 mm. (Daan, 2018)



Figuur 7: Benamingen deurafmetingen. (Svedex SL1 superlak (maatwerk), 2021)

Bestaande robotcellen

Door verschillende bedrijven zijn robotcellen ontwikkeld die gebruikt worden voor educatieve doeleinden. De verschillende robotcellen worden uitgebreid besproken in *Bijlage 5 – Bestaande robotcellen*. In deze paragraaf worden de specificaties van de verschillende robotcellen overzichtelijk weergegeven, zie Tabel 4. Niet alle gewenste specificaties van de robotcellen zijn beschikbaar.

Tabel 4: Overzicht bestaande robotcellen

Bedrijf en naam robotcel	Specificaties	Afbeelding
Festo Robot station met MPS® modules	• Mitsubishi robot RV-2FB. • Aluminium plaat met groeven, waarop modules bevestigd kunnen worden. Robot is hierop gemonteerd. • Simulatie- en programmeeromgeving CIROS®. Voor het programmeren en simuleren van de robot. • Taak: Assembleren van pneumatische cilinder. • Verschillende modules meegeleverd. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van zwenkwielen. • Opening aan één zijde door middel van een deur. • Doorzichtige afscherming. • Extra: Diverse sensoren en actuatoren. (Robot station with MPS® modules, 2021)	
Festo Robot Vision Cell	• Mitsubishi RV-2FB of KUKA KR5sixx robot. • Aluminium plaat met groeven, waarop modules bevestigd kunnen worden. Robot is hierop gemonteerd. • Simulatie- en programmeeromgeving CIROS® voor het programmeren en simuleren van de robot. • Taken: palletiseren, producten assembleren of simuleren van lasbewegingen. • Verschillende modules meegeleverd. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van vaste stelpoten. • Opening aan één zijde door middel van twee deuren. • Doorzichtige afscherming. • Extra: Diverse sensoren en actuatoren. • Extra: Visionsysteem. (Robot Vision Cell, 2021)	
KUKA ready2_educate	• KR 3 AGILUS Robot of KR 6 AGILUS Robot. • Montageplaat met gaten, waarop modules bevestigd kunnen worden. Robot is hierop gemonteerd. • KUKA.KSS voor het online programmeren van de robot. • KUKA.WorkVisual voor het offline configureren en programmeren van de robot. • Taken: Teken, pick en place en hot wire spel. • Verschillende modules meegeleverd. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van vaste stelpoten. • Openingen aan alle zijden door middel van deuren. • Doorzichtige afscherming. • Past door deuropeningen. Afmetingen robotcel 120 x 80 cm. • Verschillende configuraties: basis, advanced en pro. • Extra: Optioneel visionsysteem. • Prijs: basis versie € 20.000. Advanced versie € 25.000. (KUKA ready2_educate, 2021)	

Lincoln Electric educatieve lasrobotcel	• Robot gemonteerd op plaat. • Demonstratie-, ontwikkel- en leerdoeleinden. • Taak: lassen. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van zwenkwielen. • Openingen aan meerdere zijden. • Doorzichtige afscherming. • Extra: Inklapbaar en kan een standaard deurpost passeren. (Robotic Welding for Education, 2021)	
Yaskawa Motoman Educart	• Yaskawa GP8 robot. • Robot gemonteerd op plaat. Op deze plaat kunnen verschillende modules geplakt worden. • Taken: palletiseren en volgen van pad. • Verschillende modules meegeleverd. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van zwenkwielen. • Open aan de voor- en zijanten. Achterkant is afgeschermd. • Extra: Voor- en zijanten omringd met een laser scanner. • Extra: Inklapbaar en kan een deurpost van 90 cm passeren. (Motoman, 2019)	
ABB's SMART Education package	• ABB IRB 120 robot. • Robot gemonteerd op plaat. • Simulatie- en programmeeromgeving RobotStudio. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van zwenkwielen. • Opening aan meerdere zijden. • Doorzichtige afscherming. • Extra: Inklapbaar, zodat werkgebied vergroot en verkleind kan worden. • Extra Trainingspakket voor leraren. (Learn with ABB SMART Education Package, 2021)	
Abb schoolcel	• ABB IRB 1100 robot • Robot gemonteerd op plaat. Op de plaat kunnen verschillende modules bevestigd worden. • Simulatie- en programmeeromgeving RobotStudio. • Taken: tekenen en pick en place. • Verschillende modules meegeleverd, zoals een stifthouder, een whiteboard, twee rasterborden, pingpong ballen en cilindervormen. • Lesmateriaal meegeleverd. • Voorzien van zwenkwielen. • Opening aan één zijde door middel van een deur. • Doorzichtige afscherming. • Extra: Modulaire gripper, bestaande uit een parallelgripper, een vacuümzuignap en een afstandssensor. • Prijs: € 29.000. (ABB, ABB Schoolcel, 2020)	

De robotcellen in Tabel 4 zijn voorbeelden van robotcellen die op de markt verkrijgbaar zijn. De robotcellen hebben veel overeenkomsten. De robotcellen bestaan allemaal uit een frame met daarin een plaat waar de industriële robot op gemonteerd is. Op de plaat kan oefenmateriaal bevestigd worden. De plaat verdeelt de robotcel in twee compartimenten. Het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. In het onderste compartiment bevindt zich de controller. Het bovenste compartiment is vaak afgeschermd met platen en/of deurtjes gemaakt van doorzichtig materiaal. Bij

één robotcel is dit niet het geval, daar wordt het werkgebied van de robot grotendeels beveiligd met een laser scanner.

De robotcel die ontworpen en gemaakt gaat worden onderscheidt zich van de bovengenoemde robotcellen, doordat de robotcel opgebouwd kan worden door studenten. Studenten leren zo hoe de robot gemonteerd en aangesloten moet worden, en hoe elektrische componenten aangesloten moeten worden.

Veiligheid

In de gebruiksaanwijzing van de Robot Control Mate staan een aantal veiligheidseisen voor het gebruik van de robot. De OmniCore controller biedt veiligheidsfuncties om te zorgen voor een veilige werking met de robot. Robot Control Mate is toegestaan om te werken in automatische modus met alle veiligheidsmiddelen.

- Een noodstopschakelaar moet aangesloten zijn op de externe noodstop ingang interface van de controller om er zeker van te zijn dat er een noodstop functie beschikbaar is. De noodstopschakelaar moet gepositioneerd worden in een makkelijk toegankelijke plek, zodat de robot snel gestopt kan worden.
- De IRB 1100 robot van ABB is een industriële robot en moet afgeschermd worden, zodat personen niet in aanraking kunnen komen met de robot als deze in bedrijf is. De afscherming moet actief zijn in automatische modus. Wanneer het systeem aanstaat mag het werkgebied van de robot niet binnengetreden worden. In het geval dat de afscherming geopend is moet de automatische stop geactiveerd worden, zodat de robot stopt.
- Gevoelige lichaamsdelen, zoals de ogen en het strottenhoofd moeten beschermd worden door persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM)
- Operators die werken met de Robot Control Mate moeten getraind zijn en de vereiste kennis hebben.

(ABB, Operating manual - Robot Control Mate, 2020)

CE-markering

CE staat voor "Conformité Européenne". Het geeft aan dat een product voldoet aan de eisen in de Europese richtlijnen. Door de CE-markering wordt de vrije handel in veilige producten bevordert tussen en in EER-lidstaten. Het heeft betrekking op wettelijke eisen op het gebied van veiligheid, gezondheid en het milieu. (CE-markering, 2021)

De CE-markering wordt door fabrikanten of importeurs aangebracht op producten. Met het aanbrengen van een CE-markering op een product verklaart de fabrikant of importeur dat het product aan de eisen voldoet. Producten waarvoor een Europese richtlijn bestaat, dienen altijd te voldoen aan de richtlijn en voorzien te zijn van een CE-markering. Als met een conformiteitsbeoordeling is vastgesteld dat aan de richtlijn is voldaan mogen de producten verkocht worden. Vervolgens verklaart de fabrikant of importeur met een EG-verklaring van overeenstemming dat het product aan de eisen voldoet. Daarna kan het CE-merkteken op het product aangebracht worden door de fabrikant of importeur. Voor sommige producten of eigenschappen van producten is het nodig dat ze worden beoordeeld door een zogenaamde Notified Body. Als de Notified Body goedkeuring geeft mag de fabrikant of importeur een CE-markering aanbrengen op het product. De fabrikant of importeur moet vaststellen of dit nodig is.

Er zijn zes stappen die doorlopen moeten worden voordat de CE-markering aangebracht kan worden op een product.

Stap 1: Stel de richtlijn(en) en geharmoniseerde normen vast die op het product van toepassing zijn.
Stap 2: Controleer product-specifieke eisen of wettelijke eisen vanuit regelgeving.
Stap 3: Bepaal of een Notified Body nodig is voor de beoordeling.
Stap 4: Test het product en controleer op conformiteit.
Stap 5: Stel de vereiste technische documentatie op en maak een gebruiksaanwijzing.
Stap 6: Stel een EG-verklaring op en breng een CE-markering aan op het product.
(CE-markering, 2021)

Richtlijn en normen

Zoals beschreven bij de CE-markering moeten de richtlijn en de geharmoniseerde normen vastgesteld worden die op de robotcel van toepassing zijn. De robotcel moet voldoen aan de Machinerichtlijn 2006/42/EG, omdat de robotcel een machine is. (EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD, 2006) Met behulp van het overzicht van Europese normen Machinerichtlijn 2006/42/EG zijn de normen vastgesteld die op de robotcel van toepassing zijn. (Koninklijk Nederlands Normalisatie-instituut, 2018) In *Bijlage 6 – Overzicht normen* is een overzicht van de normen weergegeven.

Deelvragen

Naar aanleiding van het onderzoek en op basis van de probleemstelling worden deelvragen geformuleerd die tijdens de ontwerpfase beantwoord worden.

Deelvragen:

1. Welke specifieke taken moeten door de robot in de robotcel uitgevoerd worden?
2. Welke gripper kan het beste gebruikt worden voor het uitvoeren van de taken, hoe moet deze bevestigd worden aan de robot, welk tekengereedschap moet gebruikt worden en hoe moet dit aan de robot bevestigd worden?
3. Welke modules moeten gebruikt worden voor de taken en hoe kunnen de modules vastgezet worden op de montageplaat?
4. Welke profielen van welke materialen kunnen het beste gebruikt worden voor het frame van de robotcel, welke bevestigingsmethoden moeten gebruikt worden voor het aan elkaar bevestigen van de verschillende profielen en van welk materiaal kan de montageplaat het beste gemaakt worden?
5. Hoe kan de robot in de robotcel het best worden afgeschermd, zodat de robot en de binnenkant van de robotcel goed bereikbaar blijven om eventuele aanpassingen te maken?
6. Uit welke componenten moet het elektrisch schema bestaan en welke sensoren moeten gebruikt worden?
7. Uit welke onderdelen moet het lespakket bestaan en hoe moet dit worden gerealiseerd?
8. Hoe moet de robotcel onderhouden worden?

2.6 Systeemoverzicht/conceptueel model

Op basis van de analyse wordt hier het meest logische antwoord gegeven op de probleemstelling. De probleemstelling van de opdracht is: Hoe kan de robotcel zodanig ontworpen en gemaakt worden dat deze veilig door studenten gebruikt kan worden en dat er een bouwpakket ontstaat die kan worden opgebouwd door studenten én hoe moet het lespakket opgebouwd zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren in de robotcel?

De probleemstelling kan opgedeeld worden in twee delen.

Het eerste deel gaat over hoe de robotcel ontworpen en gemaakt moet worden, zodat deze veilig is om mee te werken en dat er een bouwpakket ontstaat die door studenten kan worden opgebouwd. Het meest logische antwoord op deze vraag is dat de robotcel bestaat uit een frame met daarin een montageplaat waar de IRB 1100 robot op bevestigd is. Op de plaatmontage kunnen modules bevestigd worden die ondersteuning bieden voor taken die door de robot uitgevoerd moeten worden. Door de montageplaat is de robotcel opgedeeld in twee compartimenten. Het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. Om de robot veilig te laten werken wordt het werkgebied van de robot met doorzichtige afscherming afgeschermd, zodat goed zichtbaar blijft wat de robot doet tijdens het uitvoeren van een taak. Voor het maken van aanpassingen aan de robot en het werkgebied van de robot moet het bovenste compartiment toegankelijk zijn. Dit kan bereikt worden door het bovenste compartiment te omsluiten met één of meerdere deurtjes. Bij de deurtjes zitten sensoren. Als de deurtjes geopend worden komt de robot tot stilstand, wanneer deze actief is in de automatische modus. In het onderste compartiment kan de controller van de robot geplaatst worden samen met de besturingskast. In het onderste compartiment kan ook plaats gemaakt worden voor het opbergen van de lesmaterialen. Het onderste compartiment wordt compleet omsloten met beplating. Deurtjes in het onderste compartiment zorgen voor toegang tot de besturingskast en de controller. Bij het bouwpakket van de robotcel wordt een basistekening en een elektrisch schema als instructie voor het opbouwen van de robotcel geleverd. De onderdelen van de robotcel moeten verbonden worden met verbindingen die eenvoudig los en vast te maken zijn. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld schroefverbindingen en klemverbindingen. De robotcel kan op deze manier ook gedemonteerd worden, zodat het vaker opnieuw opgebouwd kan worden.

Het tweede deel gaat over hoe het lespakket opgebouwd moet zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren in de robotcel.

Het meest logische antwoord op deze vraag bestaat uit twee delen. Bij deze vraag moet eerst vastgesteld worden welke taken uitgevoerd moeten worden. Dit komt uit de vragenlijst die door de studenten is ingevuld. De antwoorden zijn geanalyseerd en besproken. Een pick en place taak wordt het vaakst genoemd. Daarnaast kan een taak toegevoegd worden waarbij een pad wordt gevolgd, zodat de robot bijvoorbeeld een tekening kan maken.

Het lespakket kan opgebouwd worden uit verschillende tutorials, waarin wordt aangegeven hoe de robot geprogrammeerd moet worden, zodat de verschillende taken kunnen worden uitgevoerd door de industriële robot. Eén van de tutorials zal uitgevoerd worden met behulp van de FlexPendant. Hierdoor leren de studenten om met de FlexPendant te werken. Een andere tutorial zal bijvoorbeeld worden uitgevoerd met RobotStudio. Hierdoor leren de studenten om de robot te programmeren door middel van RAPID code en de robot te simuleren in een virtuele wereld.

3. Ontwerp

In dit hoofdstuk worden de verschillende deelvragen behandeld. De functionele eisen komen aan bod. Ook wordt het totale ontwerp in Inventor besproken.

3.1 Deelvraag 1

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Welke specifieke taken moeten door de robot in de robotcel uitgevoerd worden?

In paragraaf 2.5 Onderzoek is onderzoek gedaan naar wat studenten interessant vinden met betrekking tot industriële robots. De meeste studenten vinden het interessant om de robot een pick en place taak uit te laten voeren.

Veel voorkomende taken binnen de industriële robotisering zijn: assemblage, pakken en verpakken, materiaal verwijdering, lassen en verven. (Top 5 industrial robotics applications, 2020) Deze taken zijn onder te verdelen in twee basistaken, namelijk pick en place taken en taken waarbij een pad gevolgd wordt. De assemblage en pakken en verpakken taken vallen onder pick en place taken. De taken materiaal verwijdering, lassen en verven vallen onder de taak waarbij een pad gevolgd wordt. Door studenten kennis te laten maken met deze twee basistaken, kunnen ze een goede basis leggen op het gebied van industriële automatisering. Op basis hiervan en op basis van de resultaten van de enquête zal één van de taken een pick en place taak worden. De pick en place taak beschikt niet over een visionsysteem, omdat dit niet haalbaar is in de beschikbare tijd.

Eén van de basistaken is het volgen van een pad. Deze basistaak kan goed uitgevoerd worden door bijvoorbeeld pad te volgen en hierbij een figuur te tekenen. Op deze manier raken studenten goed vertrouwd met de robot en wordt de basis gelegd voor taken als verven, lassen en materiaal verwijdering. Bij de tweede taak wordt daarom een pad gevolgd met behulp van schrijfgereedschap.

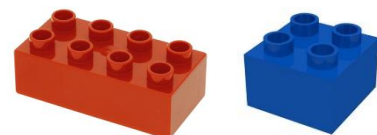
Pick en place

Bij de pick en place taak zijn talloze ideeën te bedenken. Een aantal van de ondervraagde studenten heeft goede specifieke ideeën, zoals het sorteren van verschillende vormen objecten, producten oppakken van een transportband en palletiseren, of producten oppakken en neerzetten op een transportband, zie *Bijlage 2 – Enquête studenten*.

Er zijn talloze objecten beschikbaar die opgepakt en neergezet kunnen worden. Voor de eenvoud is gekozen om rechthoekig blokjes op te pakken en neer te zetten, omdat deze eenvoudig opgepakt kunnen worden door de eenvoudige vorm. Er zijn talloze verschillende blokjes beschikbaar van verschillende groottes, materialen, massa's en vormen. Lego en Lego Duplo blokjes zijn goede opties voor blokjes om te verplaatsen, omdat ze mooi in elkaar passen en relatief goedkoop zijn.

De Lego Duplo blokjes worden gekozen, omdat ze groter zijn dan Lego blokjes. Lego blokjes zijn vrij klein, waardoor bij het oppakken en neerzetten van Lego blokjes preciezer gewerkt moet worden. Studenten moeten nog leren om goed om te kunnen gaan met de robot. Door gebruik te maken van Lego Duplo blokjes is het pakoppervlak groter, wat het eenvoudiger maakt om de blokjes op te pakken.

De pick en place taak zal bestaan uit een aantal onderdelen, waarbij de complexiteit van de opdracht toeneemt. Er worden twee maten Lego Duplo blokjes gebruikt voor de verschillende taken, namelijk vierkante blokjes en rechthoekige blokjes, zie Figuur 8. De blokjes zullen aangevoerd worden met behulp van een aanvoer.



Figuur 8: Rechthoekig (links) en vierkant (rechts) Lego Duplo blokje.

Onderdelen pick en place taak:

1. Een vierkant Lego Duplo blokje wordt opgepakt van de aanvoer en verplaatst naar een andere plek.
2. Meerdere vierkante Lego Duplo blokjes worden één voor één opgepakt en verplaatst naar een andere plek, waar ze in een bepaald patroon worden neergezet. (palletiseren)
3. Met behulp van sensoren worden de vierkante en rechthoekige blokjes gedetecteerd. De twee verschillende blokjes worden één voor één opgepakt en worden op twee verschillende plaatsen neergezet en zo gesorteerd op grootte. (sorteren)

Deze lijst met taken kan bij een eventuele volgende versie van de robotcel door het bedrijf uitgebreid worden, door bijvoorbeeld nieuwe modules te combineren met de robot.

Pad volgen

Zoals vastgesteld wordt de taak waarbij een pad gevolgd wordt uitgevoerd met schrijfgereedschap. Het schrijfgereedschap wordt gekoppeld aan de robotarm. Met behulp van het schrijfgereedschap kunnen verschillende figuren getekend worden.

De robotarm kan met drie verschillende basisinstructies van een punt naar een ander punt bewegen. Bij MoveL beweegt de TCP van de robot in een rechte lijn van punt naar punt. Bij MoveJ beweegt de robot met behulp van een joint beweging van punt naar punt. Hierbij beweegt de TCP van de robot niet in een rechte lijn van punt naar punt. Bij MoveC beweegt de TCP van de robot in een cirkel van punt naar punt.

Door de robot een vierhoek te laten tekenen wordt de MoveL instructie gebruikt. Door de robot een cirkel te laten tekenen wordt de MoveC instructie gebruikt. Om de TCP van de robot naar het beginpunt van de cirkel of vierhoek te laten bewegen zijn een MoveL of MoveJ instructie voordehand liggende instructies. Bij het tekenen van deze figuren komen de drie basisinstructies dus aan de orde, daarom wordt gekozen voor het tekenen van een cirkel en een vierhoek. Complexere figuren kunnen, na geoefend te hebben met het tekenen van een vierhoek en cirkel, gemaakt worden.

Het antwoord op de deelvraag is dat de pick en place taak uit de volgende onderdelen bestaat:

1. Een vierkant Lego Duplo blokje wordt opgepakt van de aanvoer en verplaatst naar een andere plek.
2. Meerdere vierkante Lego Duplo blokjes worden één voor één opgepakt en verplaatst naar een andere plek, waar ze in een bepaald patroon worden neergezet. (palletiseren)
3. Met behulp van sensoren worden de vierkante en rechthoekige blokjes gedetecteerd. De twee verschillende blokjes worden één voor één opgepakt en worden op twee verschillende plaatsen neergezet en zo gesorteerd op grootte. (sorteren)

De tekentaak bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Het tekenen van een cirkel.
2. Het tekenen van een vierhoek.

3.2 Deelvraag 2

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Welke gripper kan het beste gebruikt worden voor het uitvoeren van de taken, hoe moet deze bevestigd worden aan de robot, welk tekengereedschap moet gebruikt worden en hoe moet dit aan de robot bevestigd worden?

Zoals vastgesteld worden Lego Duplo blokjes verplaatst. Dit kan met verschillende soorten grippers. In paragraaf 2.5 Onderzoek is onderzoek gedaan naar verschillende soorten grippers die gebruikt kunnen worden in combinatie met een robot. De grippers zijn grotendeels onder te verdelen in vacuüm grippers, pneumatische grippers, hydraulische grippers en servo-elektrische grippers. Hydraulische grippers worden gebruikt voor toepassingen waarbij veel kracht nodig is. Dit is hier niet het geval en daarom zal geen gebruik worden gemaakt van deze gripper. Een elektromagneet is een andere optie voor het

oppakken van objecten. De Lego Duplo blokjes zijn gemaakt van ABS plastic en kunnen niet opgepakt worden met een elektromagneet. Deze optie valt daarom ook af. De overige grijperopties worden in Tabel 5 opgesomd met de voor- en nadelen.

Tabel 5: Grijperopties

Grijper	Voordelen	Nadelen
Servo-elektrische grijper	- Eenvoudige aansturing. - Nauwkeurige positionering van de grijpervingers mogelijk. - Metten van objectgrootte mogelijk.	- Grote bouwvorm door de elektromotors. - Relatief duur.
Pneumatische grijper	- Eenvoudige aansturing. - Kleine bouwvorm. - Relatief goedkoop.	- Lagere nauwkeurigheid voor positionering van grijpervingers. - Perslucht nodig.
Vacuüm-grijper	Eenvoudige aansturing.	- Lage nauwkeurigheid. - Vacuüm nodig.

Voor een pneumatische grijper met grijpvingers of een grijper met vacuüm is perslucht nodig. De perslucht moet schoon en droog zijn om de levensduur en de werking van de grijper te verbeteren. In scholen is niet altijd perslucht beschikbaar en ook is de perslucht niet altijd van goede kwaliteit. Om de aanwezigheid en de kwaliteit van de perslucht te garanderen zou de robotcel voorzien moeten zijn van een compressor. Het nadeel van een compressor is dat deze veel lawaai maakt, wat de gebruikservaring van de robotcel niet ten goed komt. Ook is de aanschaf van een compressor niet goedkoop. Bij het gebruik van een pneumatische grijper of een vacuüm-grijper is een aansturingsventiel nodig voor het bewegen van de grijpvingers of het genereren van een vacuüm. Al deze kosten opgeteld die benodigd zijn voor het in werking stellen van een grijper met perslucht komen aardig in de buurt van de kosten voor het aanschaffen van een servo-elektrische grijper. Op basis van de eenvoudigheid, de kosten en de gebruikservaring wordt gekozen voor een servo-elektrische grijper.

Een servo-elektrische grijper is te verkrijgen in verschillende soorten en maten. Een onderscheid kan gemaakt worden op basis van aansturing. Grippers kunnen aangestuurd worden met behulp van digitale in- en uitgangen. Door een ingang van de grijper 'hoog' te maken bewegen de grijpervingers bijvoorbeeld naar elkaar toe. Door een andere ingang van de grijper 'hoog' te maken bewegen de grijpervingers bijvoorbeeld van elkaar af. Sommige grippers zijn voorzien van een terugkoppeling die aangeeft of de grijper gesloten of geopend is.

Een andere veel gebruikte manier om een grijper aan de sturen is door gebruik te maken van IO-link. IO-Link is een internationaal gestandaardiseerd punt-tot-punt-communicatiesysteem voor het aansluiten van sensoren en actuatoren op een automatiseringssysteem. Een IO-Link-systeem bestaat uit een IO-Link master en één of meerdere IO-Link apparaten. De IO-Link-master is de interface naar de besturing en communiceert met de aangesloten IO-Link-apparaten. Met IO-Link wordt data digitaal overgedragen met behulp van 24V-signalen. Voor IO-link kunnen niet-afgeschermde kabels gebruikt worden. (IO-Link, 2021)

Van verschillende grippers zijn prijzen opgevraagd. In *Bijlage 8 – Grippers* staat een overzicht van verschillende elektrische grippers van verschillende leveranciers samen met de prijzen en een aantal specificaties. De grippers met IO-link zijn duurder en hierbij is een IO-link master benodigd. Wanneer meerdere sensoren met IO-link in een systeem worden gebruikt kan een grijper met IO-link een goede optie zijn. Om de kostprijs te verlagen en om studenten de basis te leren voor het aansturen van een elektrische grijper is gekozen voor een grijper met digitale ingangen. Hiermee kunnen studenten een goede basis leggen met het aansturen van een grijper.

Door verschillende specificaties van de grippers met elkaar te vergelijken, zoals de slag per grijpklaauw en het gewicht van het werkstuk is de keuze gevallen op een Schunk grijper met type nummer EGP 40-

N-N-B. De gripper is weergegeven in Figuur 9. Deze gripper is van het type parallel gripper, heeft een slag per grijpklaauw van 6 mm en kan een werkstuk met een massa van 700 gram oppakken. Deze gripper is breed inzetbaar en kan bij eventuele uitbreidingen van de robotcel goed gebruikt worden. De slag van 6 mm per grijpklaauw betekent dat elke grijpvinger lineair 6 mm kan bewegen. Dit betekent dat de grijpvingers in totaal maximaal 12 mm uit elkaar of naar elkaar toe kunnen bewegen ten opzichte van de beginpositie. De klemkracht is in te stellen in stappen van 25%. De klemkracht bij 25% is 35 N. De klemkracht bij 100% is 140 N.

De gripper kan verschillende vingers hebben. Door standaard vingers bij de robotcel te leveren kunnen de studenten direct aan de slag met de robotcel. De studenten kunnen zelf ook grijpvingers maken om bijvoorbeeld andere objecten op te pakken. Om de gripper te bevestigen aan de robotarm is een ontwerp gemaakt in Inventor.

Ontwerp 1 gripperbevestiging en grijpvingers

Het eerste ontwerp van de bevestiging van de gripper aan de robotarm bestaat uit twee plaatjes, zie Figuur 9. De gripper in de figuur is de Schunk gripper met type nummer EGP 40-N-N-B. Eén plaatje is bevestigd aan de flens van de robotarm, zie rechtsboven in Figuur 9. Het ander plaatje is bevestigd aan de gripper, zie rechtsonder in Figuur 9. De plaatjes zijn met schroeven bevestigd aan de robot en de gripper. De plaatjes zijn aan elkaar bevestigd met schroeven.

De grijpvingers bestaan uit een plaatje met daarin twee paspengaten en een gat voor een M5 schroef om de vingers te bevestigen aan de gripper, zie Figuur 9.



Figuur 9: Ontwerp 1, bevestiging gripper en ontwerp grijpvingers.

Ontwerp 2 gripperbevestiging en grijpvingers

Het tweede ontwerp voor de bevestiging van de gripper aan de robotarm bestaat uit één onderdeel, zie rechtsboven in Figuur 10. De gripper in de figuur is de Schunk gripper met type nummer EGP 40-N-N-B. De bevestiging wordt doormiddel van vier draadeinden aan de flens van de robot bevestigd. Het onderdeel wordt eerst aan de gripper bevestigd met twee schroeven. Vier draadeinden worden in de flens van de robot gedraaid. De gripper met de bevestiging wordt aan de flens van de robot bevestigd door de draadeinden door de vier gaten van het onderdeel te steken en vast te draaien met vier moeren, zie rechtsboven in Figuur 10.

Het tweede ontwerp van de grijpvingers bestaat uit een plaatje met daarop een opstaande rand, zie Figuur 10. De vingers worden door middel van een schroef bevestigd aan de gripper. De opstaande rand van de vingers zorgt ervoor dat de grijpvingers niet kunnen verdraaien ten opzichte van de gripper.

Het tweede ontwerp van de gripperbevestiging en het tweede ontwerp van de grijpvingers zijn een verbetering ten opzichte van het eerste ontwerp, omdat de gripperbevestiging uit één onderdeel bestaat wat makkelijker te maken is en omdat de grijpvingers zonder paspennen te bevestigen zijn aan de gripper, wat makkelijker is. Het tweede ontwerp wordt daarom gekozen als beste ontwerp. Dit ontwerp wordt in de implementatiefase gemaakt.



Figuur 10 Ontwerp 2, bevestiging gripper en ontwerp grijpvingers.

Bij de tekentaak kunnen de figuren met verschillende tekengereedschappen gemaakt worden, bijvoorbeeld met een pen, een stift, een potlood of een brander (laser). De voor- en nadelen worden in Tabel 6 weergegeven.

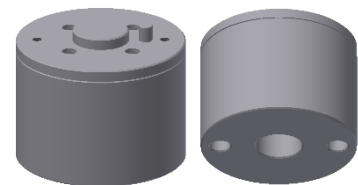
Tabel 6: Opties tekengereedschap

Gereedschap	Voordelen	Nadelen
Pen	Lengte blijft gelijk.	- Tekenpunt gaat gemakkelijk stuk bij te grote kracht. - Starre tekenpunt.
Stift	- Lengte blijft gelijk. - Flexibele tekenpunt.	- Tekenpunt gaat gemakkelijk stuk bij te grote kracht. - Bij een kapotte tekenpunt moet de stift vervangen worden.
Potlood	Nieuwe punt slijpen, waardoor potlood opnieuw gebruikt kan worden.	- Tekenpunt breekt gemakkelijk af bij een te grote kracht en tekenpunt slijt, waardoor TCP opnieuw moet worden vastgesteld. - Lengte blijft niet gelijk.
Brander (laser)	Afstand tot tekenoppervlak, ruimte voor eventuele fouten.	Brandgevaarlijk.

De keuze is gevallen op een stift, omdat deze een flexibele tekenpunt heeft en de lengte van de stift gelijk blijft, waardoor het TCP niet opnieuw hoeft te worden afgesteld. Bij het gebruik van bijvoorbeeld een potlood blijft de lengte niet gelijk, want de tekenpunt slijt en bij het slijpen van een potlood wordt de lengte van het potlood kleiner.

Ontwerpen stifthouder

Bij de tekentaak wordt de stift in een houder geplaatst. De stifthouder wordt vastgepakt door de grijper. Het eerste ontwerp van de stifthouder was gebaseerd op het eerste ontwerp van de bevestiging van de grijper, zie Figuur 9. De bevestiging bestond uit twee plaatjes. Eén plaatje zou altijd bevestigd zijn aan de flens van de robot. Aan het andere plaatje kan de grijper of de stifthouder bevestigd worden, zie Figuur 11. Doordat er vaak gewisseld moet worden tussen de grijper en de stift kan er slijtage optreden bij de bevestigingsonderdelen. Deze onderdelen kunnen makkelijk en relatief goedkoop vervangen worden. Als de grijper en de stifthouder direct aan de flens van de robot bevestigd zouden worden, zou slijtage optreden bij de flens van de robot. Dit onderdeel kan niet zomaar vervangen worden en het is duur om zoiets te vervangen.



Figuur 11: Ontwerp 1, stifthouder.

Door de stifthouder vast te pakken met de grijper is het niet meer nodig om de grijper en de stifthouder te verwisselen. De grijper blijft altijd bevestigd aan de robot. Rechts in Figuur 12 is het tweede ontwerp te zien. Het onderdeel wordt ingeklemd door de grijper, zie links in Figuur 12. De stift wordt door het gat in het onderdeel geschoven en schuift op deze manier voor de grijper langs. Met een schroef wordt de stift vastgezet.



Figuur 12: Ontwerp 2, stifthouder

Het tweede ontwerp van de stifthouder wordt gekozen, omdat de grijper bij dit ontwerp niet losgehaald hoeft te worden van de robot, wat de kans op slijtage aan de grijperbevestiging verminderd. Dit ontwerp wordt in de implementatiefase gemaakt.

Het antwoord op de deelvraag is dat een servo-elektrische grijper het best gebruikt kan worden voor het uitvoeren van de taken, waarbij gekozen is voor een grijper van Schunk van het type EGP 40-N-N-B. De grijper moet met behulp van de bevestiging in Figuur 10 aan de robot bevestigd worden. Voor het tekenen van de figuren wordt een stift gebruikt die met behulp van een stifthouder aan de grijper bevestigd wordt, zie Figuur 12.

3.3 Deelvraag 3

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Welke modules moeten gebruikt worden voor de taken en hoe kunnen de modules vastgezet worden op de montageplaat?

Om de robot verschillende taken uit te laten voeren die door studenten geprogrammeerd kunnen worden zijn verschillende modules nodig die bevestigd kunnen worden op de montageplaat. Bij de pick en place taak is een aanvoer benodigd in combinatie met sensoren, voor het aanvoeren van de Lego Duplo blokjes. Bij de taak waarbij met een stift figuren worden getekend is een tekenoppervlak nodig. Het tekenoppervlak kan ook gebruikt worden bij de pick en place taak. De blokjes kunnen op het tekenoppervlak geplaatst worden.

Aanvoer

De Lego Duplo blokjes kunnen op verschillende manieren aangevoerd worden, bijvoorbeeld met behulp van een lopende band of met behulp van zwaartekracht. Er is gekozen voor een aanvoer die werkt op basis van de zwaartekracht, omdat deze weinig onderhoud vereist, de kans op storing klein is en de prijs lager is ten opzichte van een lopende band.

Een ontwerp is gemaakt van de aanvoer, zie Figuur 13. De Lego Duplo blokjes kunnen geplaatst worden in de aanvoer. De Lego Duplo blokjes glijden naar beneden door middel van de zwaartekracht. Aan het eind worden de blokjes tegengehouden door een aanslag. De grijper pakt het blokje dat tegen de aanslag aan ligt. Zodra het blokje verwijderd is, schuiven de volgende blokjes door en komt het eerst volgende blokje tegen de aanslag te liggen. Eén van de taken is het sorteren van de blokjes op grootte. Hiervoor zijn twee sensoren benodigd. De sensoren zijn ingetekend en lijken op ronde asjes. De sensoren zijn bevestigd aan de aanvoer door middel van twee stripjes, zie Figuur 13. De sensor bij de aanslag detecteert of er een blokje tegen de aanslag aanligt. De andere sensor detecteert of er een rechthoekig blokje of een vierkant blokje tegen de aanslag aanligt. Het oppervlak waar de blokjes overheen glijden bevat een knik, waardoor er een spleet ontstaat tussen het eerste en het tweede blokje. Als er een spleet ter hoogte van de tweede sensor ontstaat is het eerste blokje een vierkant blokje. Als de spleet tussen de blokjes verderop ligt is het eerste blokje een rechthoekig blokje. De hoek van het glijoppervlak ten opzichte van de basis van de aanvoer kan veranderd worden. Met behulp van een berekening en een experiment is de hoek bepaald wanneer de blokjes gaan glijden op een stalen oppervlak, zie *Bijlage 9 – Berekening hoek aanvoer*. De hoek van de aanvoer kan ingesteld worden tussen minimaal 0 graden en maximaal 40 graden. Uit de test blijkt dat de hoek waarbij de Lego Duplo blokjes net beginnen te glijden ongeveer 30 graden is. De juiste hoek kan ingesteld worden door de studenten. De juiste hoek van de aanvoer is de hoek waarbij de blokjes vanuit stilstand beginnen te glijden. De aanvoer wordt gemaakt van staal. Het staal wordt elektrolytisch verzonken. Door het elektrolytisch verzinken ontstaat er een laagje zink op het staal. Het laagje zink zorgt voor een kleiner wrijving. (Electro galvanizing Services, 2021) Dit betekent dat de blokjes beginnen te glijden bij een hoek kleiner dan 30 graden. De maximaal instelbare hoek van 40 graden moet dus voldoende zijn.



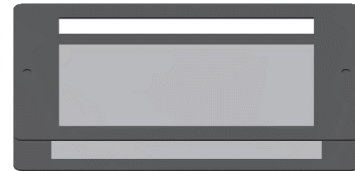
Figuur 13: Ontwerp van de aanvoer.

Tekenoppervlak

Voor de tekentaak met de stift zijn verschillende tekenoppervlakken beschikbaar. Zo kan bijvoorbeeld getekend worden op een whiteboard of op papier. Het voordeel van een whiteboard is dat het

meerdere malen gebruikt kan worden, dit is bij papier niet het geval. Het nadeel van een whiteboard is dat deze niet vlak is, waardoor de tekenpunt van de stift te veel wordt ingedrukt of het figuur niet goed zichtbaar wordt. Dit was ook het geval bij de robotcursus van ABB, zie *Bijlage 7 – ABB cursus*. Papier is daarom een beter alternatief. Papier van A4 formaat wordt gekozen, omdat dit een veelgebruikt standaard formaat is en A3 papier wat te groot is voor de robotcel.

Het papier moet vastgemaakt worden aan de montageplaat. Twee platen zijn hiervoor ontworpen. Eén vlakke plaat waarop het papier gelegd kan worden. Een tweede plaat met een rechthoekig gat erin wordt over het papier gelegd, zodat het papier tussen deze twee platen geklemd kan worden, zie Figuur 14. De twee platen zijn in de figuur van elkaar gedistantieerd om te verduidelijken dat het papier tussen deze twee platen is geplaatst. Door het rechthoekige gat in de bovenste plaat is er ruimte om op het papier te tekenen.



*Figuur 14: Ontwerp tekenoppervlak.
De twee platen zijn van elkaar*

Bevestiging modules

De aanvoer en het tekenoppervlak kunnen op verschillende manieren vastgezet worden op de montageplaat. De verbinding tussen de plaat en de modules moet niet permanent zijn, zodat de modules verplaatst kunnen worden en verwijderd kunnen worden wanneer zij niet gebruikt worden. De modules moeten dus vastgezet en losgemaakt kunnen worden. De modules kunnen bijvoorbeeld met een schroefverbinding, klemverbinding of magneetverbinding aan de montageplaat bevestigd worden. In Tabel 7 worden verschillende opties weergegeven voor het bevestigen van de modules op de montageplaat met de voor- en nadelen.

Tabel 7: Opties bevestiging modules

Opties verbindingen	Voordelen	Nadelen
Schroefverbinding	• Snelle bevestiging.	• Moeren of tapgaten in de montageplaat. • Vaste verbinding.
Klemverbinding	• Snelle bevestiging. • Alleen gaten in montageplaat.	• Vaste verbinding.
Magneetverbinding	• Snelle bevestiging. • Laat los bij bepaalde kracht.	• Montagelaat van magnetisch materiaal.

Bij het programmeren van de robot kunnen fouten optreden, waardoor de robot niet doet wat het zou moeten doen. De robot, de gripper of de stift zouden de modules die bevestigd zijn op de montageplaat per ongeluk kunnen raken door een programmeerfout. Om te voorkomen dat de modules, de gripper en de robot beschadigd raken zouden de modules verplaatst moeten worden wanneer deze geraakt worden. Het tekenoppervlak is vlak en steekt niet ver uit boven de montageplaat. De aanvoer is groot en vrij hoog. De kans dat de robot of de gripper beschadigd raakt bij het raken van het tekenoppervlak is kleiner dan bij het raken van de aanvoer. Om de schade te beperken bij het raken van de aanvoer zou de aanvoer verplaatst moeten worden bij een bepaalde kracht. Door de aanvoer bijvoorbeeld met een magneet te bevestigen aan de montageplaat kan de aanvoer verplaatst of gekanteld worden als de robot de aanvoer raakt.

Om de plaats van de componenten ten opzicht van de robot te bepalen worden in de montageplaat referentiepunten gemaakt in de vorm van gaten. Deze referentiepunten worden gebruikt om de modules te bevestigen op de montageplaat.

Bevestiging tekenoppervlak

Het tekenoppervlak wordt met behulp van een klemverbinding op de montageplaat bevestigd, omdat dan alleen gaten in de montageplaat hoeven te worden gemaakt, het tekenoppervlak snel en eenvoudig bevestigd kan worden, de verbinding vast is, zodat het tekenoppervlak niet verschuift en

omdat de kans relatief klein is dat de robot of gripper beschadigd raakt bij het raken van het tekenoppervlak.

Voor de klemverbinding zijn verschillende producten beschikbaar. Enkele van de producten zijn:

- Spandoorn staal met excenterhefboom van Kipp, zie Figuur 15.
- Vergrendelpennen van Kipp, zie Figuur 16.
- Blokkeerpen van Kipp, zie Figuur 17.
- Snelspanbout van Siegmund, zie Figuur 18.



Figuur 15: Spandoorn Kipp. (Spandoorn, 2021)



Figuur 16: Vergrendelpennen Kipp. (Vergrendelpennen, 2021)

De spandoorn met excenterhefboom wordt gekozen voor het bevestigen van het tekenoppervlak aan de montageplaat. Deze wordt gekozen, omdat deze ten opzichte van de andere opties snel is, goedkoop is en geen dikke montageplaat vereist.



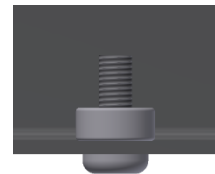
Figuur 17: Blokkeerpen. (Blokkeerpen, 2021)



Figuur 18: Snelspanbout. (Snelspanbout kort, 2021)

Bevestiging aanvoer

Voor het bevestigen van de aanvoer op de montageplaat worden de gaten die nodig zijn voor het bevestigen van het tekenoppervlak gebruikt. De kans dat de robot per ongeluk de aanvoer raakt is groter dan bij het tekenoppervlak. De aanvoer wordt daarom niet met een klemverbinding vastgezet. Om de positie van de aanvoer ten opzicht van de robot vast te zetten wordt de horizontale bewegingsrichting van de aanvoer vastgezet door gebruik te maken van pinnen die in de referentiegaten passen, zie Figuur 19. De verticale bewegingsrichting wordt beperkt door gebruik te maken van ringmagneten, zie het cilindervormige onderdeel om de pin in Figuur 19. Bij het per ongeluk raken van de aanvoer met een bepaalde kracht, valt de aanvoer om door de beperkte kracht van de magneten. Dit beperkt de eventuele schade aan de robotarm en de gripper.



Figuur 19: Bevestiging aanvoer.

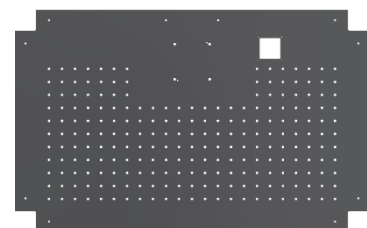
Het antwoord op de deelvraag is dat een aanvoer op basis van zwaartekracht wordt gebruikt voor het aanvoeren van de Lego Duplo blokjes en dat een tekenoppervlak met behulp van twee platen met daartussen een papier van A4 formaat wordt gebruikt voor het tekenen van de figuren. De aanvoer wordt vastgezet met pinnen en ringmagneten aan de montageplaat. Het tekenoppervlak wordt met twee spandoornelementen vastgezet aan de montageplaat.

3.4 Deelvraag 4

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Welke profielen van welke materialen kunnen het beste gebruikt worden voor het frame van de robotcel, welke bevestigingsmethoden moeten gebruikt worden voor het aan elkaar bevestigen van de verschillende profielen en van welk materiaal kan de montageplaat het beste gemaakt worden?

Montageplaat

De montageplaat kan van verschillende materialen gemaakt worden, zoals RVS, Aluminium en staal. Het materiaal van de montageplaat heeft te maken met het bevestigen van de modules. Doordat er gebruik wordt gemaakt van magneten voor het bevestigen van de aanvoer, wordt de montageplaat gemaakt van staal. De plaat wordt elektrolytisch verzonden om oxidatie te voorkomen. In Figuur 20 is het ontwerp van de montageplaat



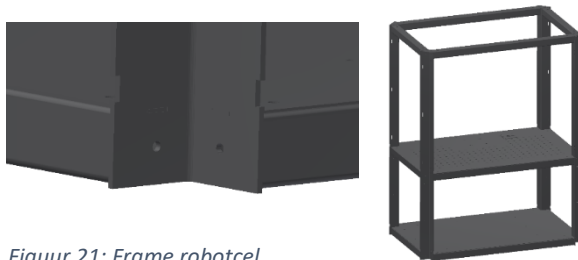
Figuur 20: Montageplaat

weergegeven. De plaat bevat vier gaten voor het bevestigen van de robotarm. De kabels tussen de robot en de controller lopen door het vierkante gat. De gaten die een soort U vormen zijn voor het bevestigen van de modules aan de montageplaat.

Profielen frame

Het frame van de robotcel kan gemaakt worden van verschillende profielen van verschillende materialen, zoals staal, aluminium en roestvaststaal. Om de kostprijs van de robotcel te verlagen wordt geen gebruik gemaakt van profielen van roestvaststaal. Voor het maken van het frame van de robotcel kunnen aluminium extrusie profielen gebruikt worden, deze zijn licht en makkelijk aan elkaar te bevestigen met bijvoorbeeld T-moeren en hoekbeugels. De robotcel wordt verkocht als een bouw pakket. Door aluminium extrusie profielen te gebruiken staat de plaats van bevestiging van de profielen niet vast en moeten alle afstanden tussen de profielen gemeten worden. Hierdoor kunnen fouten ontstaan, waardoor de robotcel niet goed opgebouwd wordt. Om dit te voorkomen wordt geen gebruikt gemaakt van aluminium extrusie profielen.

Het frame van de robotcel wordt gemaakt van een combinatie van kokers, hoekprofielen en plaatmateriaal van staal. Het frame bestaat uit vier hoekprofielen op alle vier de hoeken. De hoekprofielen worden met elkaar verbonden door kokers, zie Figuur 21. De montageplaat is geplaatst ter hoogte van het midden van de robotcel. De bodemplaat is onderin het frame geplaatst. Beide platen rusten op de kokers, zie Figuur 21.



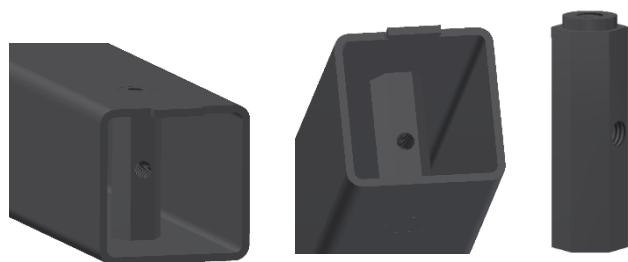
Figuur 21: Frame robotcel

Bevestigingsmethoden

In paragraaf 2.5 Onderzoek worden verschillende soorten verbindingen besproken welke onder te verdelen zijn in niet-losneembare verbindingen en losneembare verbindingen. De robotcel wordt verkocht als bouw pakket en daarom moet het frame te assembleren zijn met eenvoudige gereedschappen. De verschillende onderdelen van het bouw pakket moeten bijvoorbeeld niet meer aan elkaar gelast hoeven te worden.

De onderdelen van het bouw pakket moeten daarom verbonden worden met losneembare verbindingen. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld schroefverbindingen en klemverbindingen. De robotcel kan op deze manier ook gedemonteerd worden, zodat het vaker opnieuw opgebouwd kan worden. Op basis van de eenvoud wordt gekozen om de kokers en profielen aan elkaar te bevestigen met schroefverbindingen. Om de kokers en profielen met elkaar te verbinden met behulp van schroefverbindingen zijn verschillende opties beschikbaar. Hoekbeugels zijn bijvoorbeeld voordehand liggend componenten om kokers of profielen met elkaar te verbinden.

In Figuur 22 is het ontwerp weergegeven voor het verbinden van de kokers met de hoekprofielen. Zeshoekige busjes zijn ontworpen met in het midden een gat met schroefdraad, zie rechts in Figuur 22. De bovenkant van het zeshoekige busje is rond. Aan de ene kant van de kokers zit een rond gat. Aan de andere kant van de kokers zit een zeshoekig gat. Het busje kan op deze manier alleen via het zeshoekige gat in de koker geschoven worden. De zeskantige vorm zorgt ervoor dat het busje niet kan roteren. Het busje heeft aan de bovenkant een getapt gat, zie links in Figuur 22. Met behulp van de getapte gaten en schroeven kunnen de montageplaat en de bodemplaat bevestigd worden aan de kokers, zie Figuur 21.



Figuur 22: Ontwerp bevestiging kokers

Het antwoord op de deelvraag is dat hoekprofielen en kokers van staal worden gebruikt voor het frame van de robotcel. De kokers en de hoekprofielen worden met schroefverbindingen en zeshoekige busjes aan elkaar bevestigd. De montageplaat wordt gemaakt van staal, zodat magneten gebruikt kunnen worden voor het bevestigen van de aanvoer aan de montageplaat. De montageplaat wordt elektrolytisch verzonken om de plaat corrosiebestendig te maken.

3.5 Deelvraag 5

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Hoe kan de robot in de robotcel het best worden afgeschermd, zodat de robot en de binnenkant van de robotcel goed bereikbaar blijven om eventuele aanpassingen te maken?

Om de robot veilig te laten werken wordt het werkgebied van de robot met doorzichtige afscherming aan de zijkanten afgeschermd. De afscherming is doorzichtig, zodat goed zichtbaar blijft wat de robot doet tijdens het uitvoeren van een taak. Het is belangrijk dat de binnenkant van de robotcel goed bereikbaar blijft om eventuele aanpassingen te maken aan de grijper en de modules. Doormiddel van draaideurtjes of schuifdeurtjes kunnen toegangsopeningen gemaakt worden. Er wordt gekozen om één draaideur aan de voorkant van de robotcel te plaatsen, omdat bij het gebruik van een schuifdeur aan de voorkant de helft van de voorkant maar open kan. Dit beperkt de toegankelijkheid. Er is voor één deur gekozen aan de voorkant, omdat vanaf die plek de complete binnenkant van de robotcel toegankelijk is. De voorkant van de robotcel is de kant waar de grijper naar toewijst, wanneer de robot in de beginpositie staat, zie Figuur 27

De bovenkant van de robotcel moet ook afgeschermd worden om te voorkomen dat een persoon in aanraking komt met de robotarm, wanneer deze actief is. Gegevens van normen over veiligheid zijn geraadpleegd om vast te stellen bij welke hoogte van de robotcel een afscherming van de bovenkant noodzakelijk is, zie *Bijlage 10 – Bepaling afscherming bovenkant*.

3.6 Deelvraag 6

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Uit welke componenten moet het elektrisch schema bestaan en welke sensoren moeten gebruikt worden?

Het elektrisch schema bestaat uit alle elektrische componenten die nodig zijn om de robotcel goed te laten functioneren samen met alle verbindingen tussen de elektrische componenten. De benodigde elektrische componenten worden hieronder besproken.

Hoofdschakelaar

De robotcel moet voorzien zijn van een hoofdschakelaar, ook wel scheider genoemd. De scheider moet de elektrische uitrusting van de machine van de voeding scheiden wanneer dat noodzakelijk is. (NEN-EN-IEC 60204-1, 2018) Dit is het eerste component dat in het elektrische schema wordt aangegeven.

Aardlekautomaat

De controller van de robot moet volgens de documentatie gevoed worden met 220/230 Volt wisselspanning. Volgens de documentatie is een externe zekering van 10 A en een aardlekschakelaar van 30 mA nodig. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020) Hiervoor wordt een aardlekautomaat gekozen. Dit is een installatieautomaat en aardlekschakelaar in één behuizing.

Aarding

Aanraakbare geleidende delen van de elektrische uitrusting van de robotcel moeten verbonden worden met de beschermde aardeklem (PE) via een stroomgeleider. (NEN-EN-IEC 60204-1, 2018) De aardeklem wordt verbonden met de randaarde van een stopcontact.

Noodstopknop

Om de veiligheid te garanderen moet de robotcel voorzien worden van een noodstopknop. De FlexPendant beschikt over een noodstopknop. De FlexPendant kan losgekoppeld worden van de controller. De controller beschikt vanaf dan niet meer over een noodstopknop. Volgens de documentatie van de controller moet er altijd een noodstopknop aanwezig zijn. Er moet dus een externe noodstop aangesloten worden. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020)

Veiligheidsingangen

De controller van de robot beschikt over een aantal veiligheidsingangen, Automatic Stop (AS) en Emergency Stop (ES) ingangen. De ES is operationeel in zowel automatische modus als handmatige modus. De AS is alleen operationeel in automatische modus. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020)

Er zijn drie stopcategorieën met betrekking tot de AS en ES:

- Stopcategorie 0: stoppen door onmiddellijke uitschakeling van de voeding van de machineaandrijvingen.
- Stopcategorie 1: een gecontroleerde stop, waarbij de voeding van de machineaandrijvingen, benodigd voor het stoppen, aanwezig blijft en de voeding wordt onderbroken wanneer de machine tot stilstand is gekomen.
- Stopcategorie 2: een gecontroleerde stop waarbij de voeding van de machineaandrijvingen aanwezig blijft.

(NEN-EN-IEC 60204-1, 2018)

De Emergency Stop (ES) is standaard geconfigureerd op stopcategorie 0. De Automatic Stop (AS) is standaard geconfigureerd op stopcategorie 1. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020)

De externe noodstopknop kan op de ES veiligheidsingang aangesloten worden.

Een veiligheidsschakelaar bij de toegangsdeur dient voor het tot stoppen brengen van de robotarm wanneer deze bezig is met het uitvoeren van een taak in automatische modus en de toegangsdeur geopend wordt. De veiligheidsschakelaar kan op de AS veiligheidsingang aangesloten worden.

Sensoren

Zoals vastgesteld bij deelvraag 1 is één van de taken het sorteren van de Lego Duplo blokjes op grootte. Hiervoor zijn twee sensoren benodigd. De sensor bij de aanslag detecteert of er een blokje tegen de aanslag aanligt. De andere sensor detecteert of er een rechthoekig blokje of een vierkant blokje tegen de aanslag aanligt. Voor deze sensoren zijn verschillende opties beschikbaar.

Sensoren kunnen onderverdeeld worden in NPN en PNP sensoren. De sensoren hebben doorgaans drie aansluitingen. Twee zorgen voor de voeding van de sensor, positief en negatief. De derde aansluiting is de signaalaansluiting. Als de sensor iets detecteert is de potentiaal van de signaalaansluiting bij PNP sensors positief. Bij NPN sensors is de potentiaal van de signaalaansluiting negatief. (Cook, 2018)

In Tabel 8 worden verschillende opties voor detectiesensoren weergegeven. Inductieve en magnetische benaderingsschakelaars kunnen niet worden gebruikt, omdat deze geen kunstof objecten kunnen detecteren.

Tabel 8: Opties detectiesensoren

Opties detectiesensoren	Voordelen	Nadelen
Capacitieve naderingsschakelaar	Kan kunstof objecten detecteren.	Grote inbouwvorm.
Ultrasonen sensoren	Storingsvrij objecten detecteren in stoffige omgevingen.	- Kan geen kleine objecten detecteren. - Grote inbouwvorm.
Optische sensoren	- Groot detectiebereik. - Bij taster geen ontvanger of reflector nodig.	Grote inbouwvorm.
Lichtgeleiders (fibers)	- Kan kleine voorwerpen detecteren. - Kleine inbouwvorm. - Bij taster geen ontvanger nodig. - Smal detectiebereik.	- Fibers benodigd die stuk kunnen gaan. - Een versterker is nodig waar de fibers op aangesloten worden.

De spleet die door de knik in het glijoppervlak ontstaat tussen het eerste en tweede blokje is vrij klein. Een lichtgeleider heeft een smalle lichtstraal en dus een smal detectiebereik. Door gebruik te maken van een lichtgeleider kan de lichtstraal door de spleet schijnen. Als er geen spleet ontstaat ter hoogte van de sensor, wordt de lichtstraal gereflecteerd op het Lego Duplo blokje, er bevindt zich een rechthoekig Lego Duplo blokje bij de aanslag. Op basis van het kleine detectiebereik en de kleine inbouwvorm wordt gekozen voor een lichtgeleider. Bij de andere sensoren is het detectiebereik breder. Voor de lichtgeleider sensoren zijn versterkers nodig. De versterkers dienen voor het opwekken van een lichtstraal en het vertalen van ontvangen lichtsignalen naar een elektrisch signaal.

Besturingskast

De robotcel bevat een besturingskast. In de besturingskast bevindt zich een apart elektrokastje waar de voeding 230 VAC voor de controller en de aardlekautomaat zich bevinden.

De controller beschikt over vier 24 VDC voedingsaansluitingen. Deze worden gebruikt voor de voeding van de gripper en de versterkers van de lichtsensoren. De controller beschikt over 16 digitale ingangen waar sensoren op aangesloten kunnen worden. De controller beschikt ook over 16 digitale uitgangen waar actuatoren, zoals de gripper op aangesloten kunnen worden. Deze in- en uitgangen en de 24 VDC voedingsaansluitingen worden in de besturingskast aangesloten op klemmenstroken. Vanuit de besturingskast kunnen studenten de sensoren en de gripper aansluiten op de klemmen. De klemmenstroken zijn bevestigd op een DIN rail en dienen voor het doorlussen van de draden van de sensoren en de gripper naar de in- en uitgangen van de controller samen met de 24 VDC voeding. De versterkers van de lichtgeleiders worden ook op een DIN rail bevestigd.

Elektrisch schema

Het elektrische schema is gemaakt in AutoCad Electrical. Het elektrische schema bevat alle bovengenoemde elektrische componenten samen met de verbindingen ertussen. Het elektrische schema wordt gebruikt voor het aansluiten van alle elektrische componenten. Het elektrische schema staat in *Bijlage 11 – Elektrisch schema*.

Het antwoord op de deelvraag is dat het elektrische schema bestaat uit een hoofdschakelaar, een aardlekautomaat, een noodstopknop, een veiligheidsdeurschakelaar, een gripper en sensoren. De sensoren die gebruikt zullen worden zijn lichtgeleiders (fibers) met versterkers.

3.7 Deelvraag 7

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Uit welke onderdelen moet het lespakket bestaan en hoe moet dit worden gerealiseerd?

Zoals in de formele eisen is vastgesteld zal het lespakket bestaan uit een paar tutorials, waarin wordt aangegeven wat de robot moet doen en wat studenten moeten programmeren. Voordat de studenten kunnen beginnen met programmeren zullen een aantal theoretische aspecten behandeld worden met betrekking tot de robot. In het lespakket zal ook een basisstructuur gegeven worden voor hoe een programma eruit moet komen te zien inclusief de noodzakelijk veiligheidsaspecten.

De theoretische aspecten zijn:

- Informatie over het TCP en het inleren van het TCP.
- Informatie over werkobjecten en het inleren van de benodigde werkobjecten.
- Het bepalen van de massa van de grijper en de stift door de robot.

De theoretische aspecten worden in een PowerPoint behandeld. Met behulp van schermafbeeldingen van de FlexPendant en foto's van de robot wordt aangegeven hoe het TCP, de werkobjecten en de massa's moeten worden ingeleerd.

Zoals vastgesteld bij Deelvraag 1 bestaat de pick en place taak uit de volgende onderdelen:

1. Een vierkant Lego Duplo blokje wordt opgepakt van de aanvoer en verplaatst naar een andere plek.
2. Meerdere vierkante Lego Duplo blokjes worden één voor één opgepakt en verplaatst naar een andere plek, waar ze in een bepaald patroon worden neergezet. (palletiseren)
3. Met behulp van sensoren worden de vierkante en rechthoekige blokjes gedetecteerd. De twee verschillende blokjes worden één voor één opgepakt en worden op twee verschillende plaatsen neergezet en zo gesorteerd op grootte. (sorteren)

De onderdelen 1 tot en met 3 worden geprogrammeerd via RobotStudio. Zoals vastgesteld bij deelvraag 1 bestaat de taak waarbij een pad gevolgd wordt uit het tekenen van een vierhoek en een cirkel. De vierhoek en de cirkel kunnen via RobotStudio geprogrammeerd worden. Het zijn relatief kleine programma's en kunnen ook via de FlexPendant geprogrammeerd worden met behulp van RAPID code of via de 'Easy Wizard Programming' op de FlexPendant. In 2.5 Onderzoek wordt informatie gegeven over 'Easy Wizard Programming'.

Door de verschillende taken op verschillende manieren te programmeren wordt zowel gewerkt met RobotStudio als ook de FlexPendant. Op deze manier krijgen de studenten van alle programmeeropties kennis. De FlexPendant kan gesimuleerd worden via RobotStudio. Hierdoor kunnen de Studenten alle programma's maken zonder robotcel. De programma's kunnen uiteindelijk in de praktijk getest worden met behulp van de robotcel.

Om de robotcel te testen worden de programma's van te voren door mij geprogrammeerd. Deze programma's kunnen ook dienen als antwoorden voor de leraren en om te laten zien wat de robot moet doen. Flowcharts zijn gemaakt voor het schrijven van de programma's. De flowcharts zijn weergegeven in *Bijlage 13 – Flowcharts*.

Het antwoord op de deelvraag is dat het lespakket zal bestaan uit een aantal PowerPoints waarin een aantal theoretische aspecten worden behandeld samen met een beschrijving van hoe en welke taken uitgevoerd moeten worden door de robot in de robotcel.

3.8 Deelvraag 8

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de deelvraag: Hoe moet de robotcel onderhouden worden?

In de producthandleiding van zowel de OmniCore C30 Controller als de IRB 1100 robot staat beschreven aan welke onderdelen onderhoud gepleegd moet worden. Bij het ontwerpen van de robotcel is rekening gehouden met dit onderhoud. De onderdelen die onderhouden moeten worden zijn namelijk goed bereikbaar. De robotcel zelf heeft weinig onderhoud nodig, omdat het bijna geen bewegende delen bevat. De hoek van de aanvoer kan veranderd worden. Dit hoeft niet vaak te gebeuren, waardoor de slijtage van de onderdelen beperkt blijft. De zwenkwielen zijn bewegende delen. In de zwenkwielen zitten lagers die ervoor zorgen dat de wielen soepel blijven draaien. Als de wielen wat minder soepel beginnen te draaien moeten deze schoongemaakt en gesmeerd worden. De complete robotcel moet in de zoveel tijd schoon gemaakt worden. Met een stofzuiger met bescherming tegen elektro statische ontlading kan de binnenkant van de robotcel schoongemaakt worden. De doorzichtige en opaalwitte acrylaatplaten kunnen met een vochtige doek schoongemaakt worden indien nodig. In de product handleiding van de OmniCore C30 controller staat dat de veiligheidsschakelaar bij de deur (Auto Stop) en de externe noodstopknop één keer in de twaalf maanden een functionele test moeten ondergaan. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020)

Studenten die met de robotcel gaan werken zullen regelmatig onderdelen kapot maken. De meest voor de hand liggende onderdelen die kapot kunnen gaan zijn de stift, de stifthouder, de grijpvingers, de sensoren en de sensorhouders. Deze onderdelen kunnen eenvoudig vervangen worden. De stiften kunnen bij veel winkels gekocht worden. De andere onderdelen kunnen bij Bouwtechnics besteld worden. Als er andere onderdelen kapot gaan dan kunnen deze ook via Bouwtechnics geregeld worden. In *Bijlage 12 – Reserve onderdelen* staat een overzicht van reserve onderdelen met de bijhorende prijzen.

3.9 Ontwerp Inventor

In deze paragraaf wordt het uiteindelijke CAD ontwerp in Inventor besproken samen met de ontwerpen die geleid hebben tot het uiteindelijke ontwerp.

Transporteren

De robotcel moet getransporteerd kunnen worden. Om dit te realiseren kan de robotcel verplaatst worden met bijvoorbeeld een palletwagen. Eenvoudiger is om de robotcel te voorzien van zwenkwielen, zodat de robotcel horizontaal in elke richting verplaatst kan worden. Om ervoor te zorgen dat de robotcel stabiel en op de plek blijft staan tijdens bedrijf moeten de wielen voorzien zijn van een rem. Het remmen van de wielen kan op verschillende manieren. Eén van de manieren is om de wielen te voorzien van remmen. Een andere manier is om een stelvoet te gebruiken. Bij het activeren van de stelvoet wordt het wiel iets van de grond gelift en steunt de robotcel op de stelvoeten.

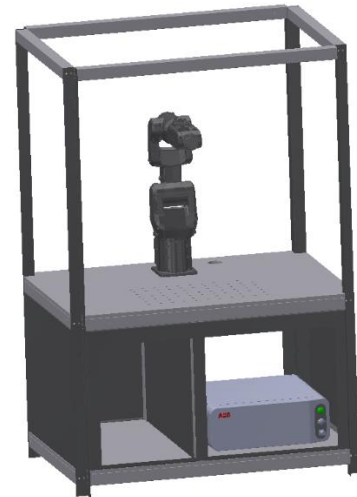
Zwenkwielen met een stelvoet worden gekozen, omdat zwenkwielen met een rem nog iets kunnen zwenken wanneer de rem geactiveerd is, want het wiel staat niet in lijn met de as waarover het wiel zwenkt. Dit is bij zwenkwielen met een stelvoet niet het geval, want het complete wiel wordt van de ondergrond getild en de stelvoet staat in lijn met de as waarover het wiel zwenkt. In Figuur 23 is het zwenkwiel met de stelvoet weergegeven. Het rode onderdeel werkt als een moer en kan gedraaid worden. Afhankelijk van de draairichting van de moer beweegt de stelvoet naar beneden of omhoog.



*Figuur 23: Zwenkwiel met stelvoet.
(Zwenkwiel met stelvoet D63-H100-M12, 2021)*

Ontwerp 1 robotcel

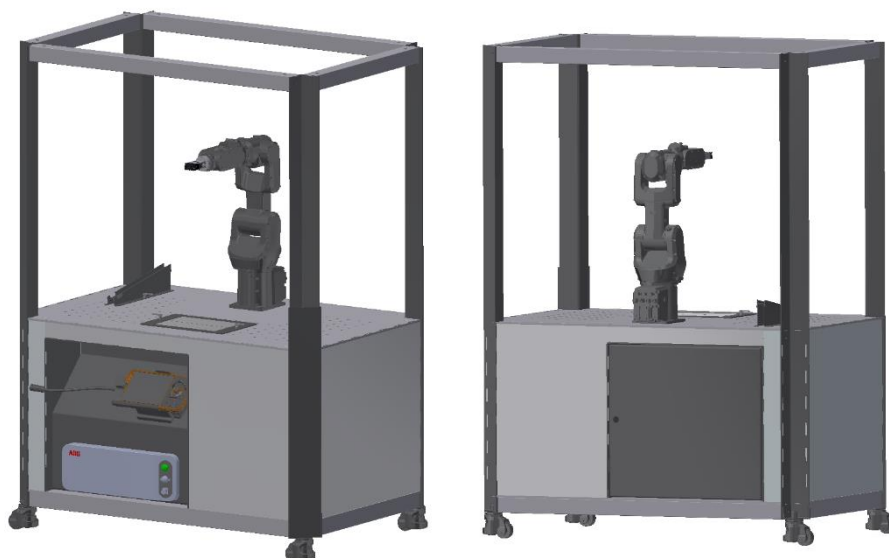
In Figuur 24 is het eerste ontwerp van de robotcel te zien. Het frame bestaat uit vier staanders die verbonden zijn met kokers. Op de onderste vier kokers rust een bodemplaat waar de controller op staat. Op de middelste vier kokers rust de montageplaat waar de robot en de modules op bevestigd worden. De montageplaat deelt de robotcel in twee compartimenten. In het onderste compartiment is plek voor de controller en voor het opbergen van de modules. Het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. Het eerste ontwerp van de robot is een opstap naar het tweede ontwerp.



Figuur 24: Ontwerp 1 robotcel

Ontwerp 2 robotcel

In Figuur 25 is het tweede ontwerp van de robotcel weergegeven en is een verbetering en uitbreiding van het eerste ontwerp. Het tweede ontwerp bestaat net als het eerste ontwerp uit twee compartimenten. Het onderste compartiment is afgeschermd door platen van opaalwit acrylaat. De platen bevatten rechthoekige nokjes aan de randen. De hoekprofielen, montageplaat en de bodemplaat bevatten rechthoekige gaten, waar de nokjes van de acrylaatplaten als een soort puzzelstukjes invallen, zie rechts in Figuur 25. In het ontwerp is aan de voorkant een bedieningspaneel gemaakt van gezet plaatmateriaal, waar de FlexPendant in een houder aan bevestigd is, zie links in Figuur 25. De controller steekt iets uit ten opzichte van het bedieningspaneel. Aan de achterkant is een opening gemaakt met een deurtje, zie rechts in Figuur 25. De opening geeft toegang tot de achterkant van de controller, waar alle aansluitingen aanwezig zijn. Zo kunnen bijvoorbeeld sensoren eenvoudig aangesloten worden op de controller. Het ontwerp is voorzien van zwenkwielen die in Figuur 23 zijn weergegeven. In Figuur 25 is te zien dat één hoekprofiel voor de helft is afgeschermd met een kap. Het was de bedoeling om deze kappen van bovenaf over het hoekprofiel te schuiven, zodat de hoeken van de robotcel netjes zijn afgeschermd en afgewerkt. Dit is in het uiteindelijke ontwerp verbeterd.



Figuur 25: Ontwerp 2 robotcel

Uiteindelijk ontwerp robotcel

Het uiteindelijke ontwerp van de robotcel is te zien in Figuur 27. De afscherming van het onderste compartiment van het uiteindelijke ontwerp is gemaakt van opaalwitte acrylaatplaten van 6 mm. Aan de voorkant, achterkant en rechterzijkant zijn de platen gepositioneerd. De platen worden vastgezet doormiddel van aandrukdraaigrendels, zie Figuur 26. Door met een sleutel de grendels 90° te verdraaien schuift een palletje in een sleuf die in de koker is gemaakt. Door de grendels verder te draaien wordt de plaat tegen de koker getrokken. Het bedieningspaneel is verplaatst naar de linkerzijkant, zie links in Figuur 28. Een externe noodstopknop en een werkschakelaar zijn bevestigd op het bedieningspaneel. Aan de rechterzijkant is een besturingskast gemaakt, zie rechts in Figuur 28. De besturingskast is afgeschermd met een opaalwitte acrylaatplaat net als de voor- en achterkant. De voeding van de controller bevindt zich in een elektrokastje rechtsonder in de besturingskast. In de besturingskast zijn twee DIN-rails te zien waar de klemmen en de versterkers van de lichtgeleiders op bevestigd worden. Het bovenste compartiment van de robotcel, het werkgebied van de robot, is afgeschermd met heldere acrylaatplaten. De afscherming aan de voorkant van de robotcel bestaat uit een deurtje van helder acrylaat. Om de heldere acrylaatplaten te verstevigen is er aan de boven- en onderkanten van de platen een aluminum U-profiel 10x10x10mm 2mm dik geschoven, zie Figuur 30.



Figuur 26:
Aandrukdraaigrendel
Kipp.
(Aandrukdraaigrendel
s, 2021)



Figuur 27: Uiteindelijk ontwerp robotcel

De basis van de robot is 90° gedraaid ten opzicht van de basis in de de eerste twee ontwerpen, zie Figuur 27. Dit is gedaan, zodat de robot verder naar achteren geplaatst kan worden. De motorkabel die van de controller naar de robotarm gaat is vrij stug en heeft daardoor een vrij grote buigradius. De aansluitingen op de voet van de robot wijzen in het ontwerp naar rechts. Daar is voldoende ruimte voor de kabels die naar de robot gaan. De vier hoekprofielen op alle vier de hoeken van de robot zijn afgeschermd met afdekkappen, zie links in Figuur 29. Om de afdekkappen te bevestigen worden ze tegen de hoekprofielen aangedrukt. Vervolgens kunnen ze iets naar beneden geschoven worden en zitten ze vast. De afdekkappen bevatten een aantal hoekige nokjes die aan de rand uisteken, zie rechts in Figuur 29. Deze nokjes vallen in uitsparingen die gemaakt zijn in de hoekprofielen. De veiligheidsschakelaar is linksboven bij de toegangsdeur geplaatst. Een deurmagneet wordt gebruikt voor het dicht houden van de deur.

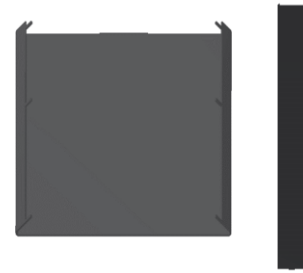


Figuur 28: Uiteindelijk ontwerp linker en rechter zijkanten.

Het uiteindelijke ontwerp wordt gemaakt in de implementatiefase, omdat dit ontwerp beter en makkelijker in elkaar te zetten is dan ontwerp 2. Ontwerp 2 bestaat uit onderdelen die als puzzelstukjes in elkaar vallen. Het is lastig om de robotcel dan in elkaar te zetten, omdat dan meerdere onderdelen tegelijk in elkaar geschoven moeten worden. Verder is het uiteindelijke ontwerp een uitbreiding van de vorige ontwerpen.



Figuur 30: U-profiel versteviging van heldere acrylaatplaten



Figuur 29: Afschermkap hoekprofielen.

3.10 Validatie ontwerp

In *Bijlage 14 – Controle formele eisen* wordt het uiteindelijke ontwerp gecontroleerd met het oog op de gestelde eisen. In de Tabel 21 wordt bij elke eis nagegaan of aan deze eis wordt voldaan. Bij sommige eisen kan nog niet worden nagegaan of aan de eis voldaan is. Er wordt een uitleg gegeven waarom wel of waarom niet aan de eis is voldaan.

3.11 Functionele eisen

In deze paragraaf komen de functionele eisen aan bod. In Tabel 9 zijn de functionele eisen overzichtelijk weergegeven. Elke functionele eis wordt aan één of meer formele eisen gekoppeld.

Tabel 9: Functionele eisen

Nr.	Functionele eisen	Formele eis
1.	De robotcel moet voldoen aan de CE-markering.	1
2.	De maximale breedte en hoogte van de robotcel moeten respectievelijk 900 mm en 2000 mm zijn, zodat de robotcel een deurpost met een deur van 930 mm breed kan passeren.	5
3	De robotcel moet door één persoon verplaatst kunnen worden met behulp van de zwenkwielen.	6
4.	De robotarm moet een cirkel en een vierhoek kunnen tekenen.	4, 10
5.	De robotarm moet vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes kunnen verplaatsen van de aanvoer naar een plaats op het tekenoppervlak.	4, 9, 10
6.	Een onderscheid tussen vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes moet kunnen worden gemaakt.	4, 9, 10
7.	Het robotcelbouwpakket moet opgebouwd kunnen worden door een groepje van 3 à 4 studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot.	2, 3
8.	De modules moeten stevig gemonteerd kunnen worden op de montageplaat, waarbij het tekenpapier niet verschuift wanneer de robot tekent en waarbij de aanvoer alleen verplaatst kan worden in verticale richting, wanneer de aanvoer vlak op de montageplaat staat.	1, 10
9.	De taken moeten door studenten geprogrammeerd kunnen worden in RobotStudio en via de FlexPendant.	4, 9, 11
10.	De stekker van de robotcel moet op een stopcontact met 230 VAC aangesloten worden.	7
11.	De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot moet lager zijn dan €25.000.	8

Uit paragraaf 2.5 Onderzoek blijkt dat de minimale doorgangsbreedte van een deurpost met een deur van 930 mm breed, 900 mm is. De minimale doorgangshoogte is 2000 mm.

4. Implementatie

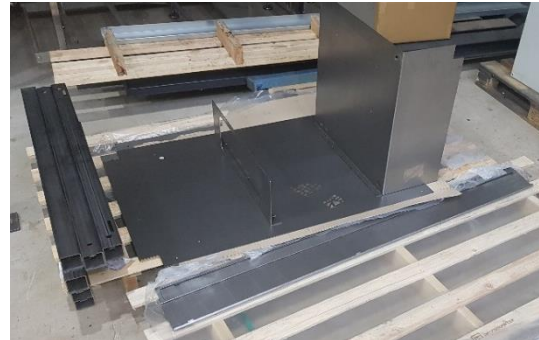
In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de onderdelen gemaakt zijn en hoe het uiteindelijke product is ontstaan door het samenvoegen van alle onderdelen. Ook wordt een testplan gemaakt om vast te stellen of het product doet wat het moet doen.

4.1 Realisatie

In deze paragraaf wordt de realisatie van het product beschreven. De maakonderdelen, het assembleren van het frame, de elektrische installatie en de software komen onder andere aan de orde.

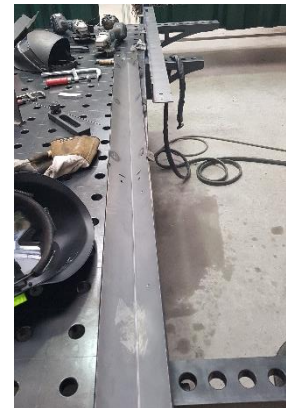
Maakonderdelen

De onderdelen bestaande uit kokers en plaatmateriaal zijn besteld bij De Cromvoirtse. STEP-bestanden zijn gemaakt van de kokers en het plaatmateriaal. De bestanden zijn geüpload naar de website van De Cromvoirtse. De STEP-bestanden worden door het bedrijf gebruikt om de onderdelen te snijden en te zetten. Het plaatmateriaal wordt op maat gesneden. Sommige onderdelen van plaatmateriaal worden gezet. De kokers worden ook op maat gesneden. In Figuur 31 zijn de kokers en een deel van het plaatmateriaal weergegeven. In het plaatmateriaal zijn een aantal tapgaten aanwezig. De gaten zijn in het plaatmateriaal gesneden, maar moeten nog getapt worden. Dit is door mij gedaan in de werkplaats binnen Bouwtechnics.



Figuur 31: Kokers en deel van plaatmateriaal

Een aantal onderdelen van plaatmateriaal zijn aan elkaar gelast. Met behulp van TIG-lassen zijn de onderdelen door mij aan elkaar gelast in de werkplaats. Sommige onderdelen zijn met behulp van toevoermateriaal aan elkaar gelast. Andere onderdelen konden in elkaar gevloeid worden, zie Figuur 32.

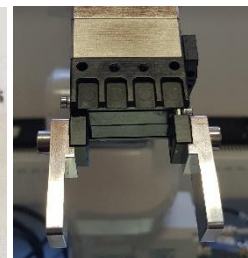


Figuur 32: Onderdelen lassen.

Een aantal onderdelen is gefreesd, zoals de zeshoekige busjes, de bevestiging voor de gripper aan de robot en de grijpervingers. Bouwtechnics is in het bezit van een CNC freesmachine. De genoemde onderdelen zijn met deze freesmachine gemaakt. In Figuur 33 is de gefreesde bevestiging voor de gripper weergegeven. Het onderdeel is gefreesd uit Aluminium. In Figuur 34 zijn de gefreesde gripper vingers te zien. De onderdelen zijn ook gefreesd uit aluminium. De zeshoekige busjes zijn gemaakt van RVS 303, omdat dit type RVS beter te verspanen is. Het busje is in Figuur 35 weergegeven. De busjes zijn eerst opmaat gezaagd. Vervolgens zijn de busjes aan één kant afgedraaid op de draaibank, zodat de onderkant vlak is. Daarna zijn de bovenkanten van de zeshoekige busjes gefreesd en zijn de gaten aan de bovenkanten geboord en getapt met behulp van de freesmachine, zie Figuur 36. Tenslotte zijn de gaten aan de zijkanten geboord en getapt met behulp van respectievelijk een kolomboor en een speciale tapboormachine.



Figuur 33: Bevestiging gripper gefreesd uit aluminium.

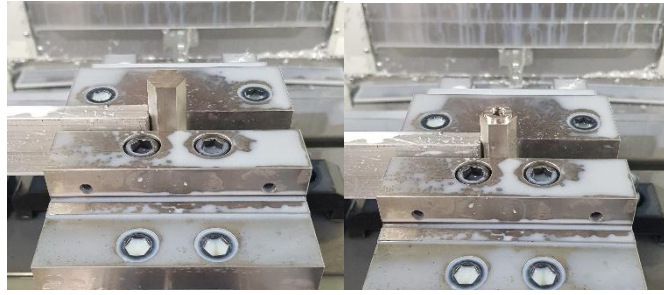


Figuur 34: Grijpervingers gefreesd uit aluminium.

De programma's voor het frezen van de onderdelen zijn gemaakt in de CAM omgeving binnen Autodesk Inventor door Jospier Bouwer.



*Figuur 35:
Zeshoekig busje*



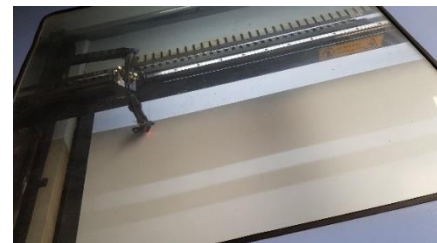
Figuur 36: Frezen zeshoekig busje. Links is voor en rechts is na het frezen.



*Figuur 37: 3D-geprinte
stifthouder met stift.*

De stifthouder is 3D-geprint en weergegeven in Figuur 37. De stift is met twee M4 boutjes vastgeklemd in de stifthouder.

De heldere en opaalwitte acrylaatplaten zijn binnen Bouwtechnics op maat gesneden met een lasersnijder, zie Figuur 38. De heldere acrylaatplaten dienen voor de afscherming van het werkgebied van de robot. De opaalwitte acrylaatplaten schermen het onderste compartiment van de robotcel af. In de opaalwitte acrylaatplaten aan de voor- en achterkant van de robotcel is het logo van Bouwtechnics gesneden. Aan de binnenkant van de platen is een zwarte acrylaatplaat gelijmd, waar de uitgevallen delen van sommige letters opgeplakt zijn. Aan de binnenkant van alle opaalwitte acrylaatplaten is een strip gelijmd. De strip leunt op de bodemplaat, zodat de acrylaatplaten niet zakken wanneer deze geplaatst zijn.



Figuur 38: Lasersnijden acrylaatplaten.

Aanvoer

De aanvoer is opgebouwd uit gesneden en gezet plaatmateriaal. In Figuur 39 is de geassembleerde aanvoer weergegeven, voordat deze elektrolytisch verzinken is. De aanvoer is vastgezet op de montageplaat met behulp van twee M5 schroeven met twee ringen. De ringen passen in de gaten van de montageplaat. De aanvoer kan hierdoor bijna niet meer horizontaal verschuiven. De aanvoer kan nog wel verticaal bewegen.



Figuur 39: Geassembleerde aanvoer.

Poedercoaten en verzinken

De onderdelen van staal worden gepoedercoat of verzinken. De montageplaat, de onderdelen van de aanvoer en de onderdelen van het schrijfooppervlak worden elektrolytisch verzinken om ze bestendig te maken tegen corrosie. De overige onderdelen van staal, zoals de hoekprofielen, kokers, bodemplaat, bedieningspaneel, besturingskast en de afschermkappen van de hoekprofielen worden gepoedercoat in de kleur RAL 7035. Dit is ongeveer dezelfde kleur als de ABB robot.



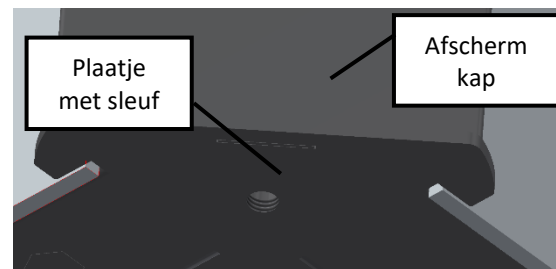
Figuur 40: Assembleren frame.

Frame

In Figuur 40 is het assembleerproces te zien van het frame. Het frame is geassembleerd voordat de onderdelen verzinken en gespoten worden om vast te stellen of alle metalen onderdelen goed in elkaar passen.

Aanpassingen

Tijdens het assembleren van de robotcel zijn een aantal aanpassingen gemaakt. De plaatjes die aan de onderkant van de hoekprofielen gelast zijn en waar de zwenkwielen aan bevestigd zijn bevatten een sleuf, waar het lipje dat zich bevindt aan de onderkant van de afschermkappen in past, zie Figuur 41. Twee van de vier geleverde plaatjes bevatten die sleuf niet. Bij het uploaden van de STEP-bestanden is waarschijnlijk wat fout gegaan. De lipjes van de afschermkappen passen precies in de sleufgaten van de twee plaatjes. Als de onderdelen gepoedercoat worden komt er een laagje verf over de onderdelen. De verwachting is dat de lipjes dan niet meer in de sleufgaten passen. Aangezien maar twee van de vier plaatjes een sleufgat bezitten, is besloten om de lipjes van de afschermkappen te halen.



Figuur 41: Sleuf in plaatje bevestiging afschermkappen.

Elektrische installatie

Met behulp van het elektrisch schema is de elektrische installatie aangesloten. Zie *Bijlage 11 – Elektrisch schema* voor het elektrische schema. In Figuur 42 is de besturingskast te zien waar de sensoren en klemmen bevestigd zijn op een DIN-rail. De draden en kabels zijn weggewerkt in kabelgoten. Niet alle digitale in- en uitgangen zijn aangesloten op klemmen in de besturingskast, omdat de levertijd van de klemmen erg lang is. De digitale ingangen waar de sensoren op aangesloten zijn, zijn op klemmen aangesloten. De digitale uitgangen waar de gripper op aangesloten is, zijn ook op klemmen aangesloten. Rechts onderin is een elektronicabehuizing te zien waar de aardlekautomaat zich bevindt. Op deze manier is de 230 VAC gescheiden en wordt het werken met de robotcel veiliger.



Figuur 42: Besturingskast

Software

Om de robotcel te testen is software geschreven voor de taken die de robot uit moet voeren. De software kan ook dienen als antwoorden voor de leraren en om te laten zien welke taken de robot moet uitvoeren.

De software is opgedeeld in verschillende modules, programma modules en systeem modules. In de programma modules wordt het RAPID programma geschreven voor het aansturen van de robot.

In de module CalibData zijn de data van de gripper en de data van de stifthouder gedefinieerd, zoals de TCP en het gewicht. Ook zijn hier de werkobjecten van de aanvoer en het tekenoppervlak gedefinieerd. In de MainModule worden eerst de robtargets en de variabelen aangemaakt. Robtargets zijn coördinatenstelsels bestaande uit een oorsprong met drie assen, X, Y en Z die elkaar snijden in de oorsprong. Bij een Move instructie beweegt de TCP van de robot van robtarget naar robtarget. De TCP valt samen met de robtargets. De MainModule is verder onderverdeeld in routines. In de main routine worden verschillende andere routines aangeroepen, zoals bijvoorbeeld het tekenen van een cirkel en vierkant en het sorteren en palletiseren van de Lego Duplo blokjes.

De pick en place module bestaat uit verschillende routines. Een routine voor het oppakken van een blokje en voor het plaatsen van een blokje. Deze routines worden meerdere malen aangeroepen binnen de pick en place module. In de module bevindt zich een routine voor het palletiseren van de blokjes. Ook is er een routine voor het sorteren van de blokjes op grootte.

De tekenmodule bestaat uit twee korte routines, namelijk een routine voor het tekenen van een cirkel en een routine voor het tekenen van een vierhoek.

In *Bijlage 16 – RAPID code* is de software weergegeven. De software is geschreven met behulp van RAPID instructies in RobotStudio.

Veiligheid Software

De Robotcontroller beschikt over collision detection, collision avoidance en WorldZones. Collision detection betekend dat de robot stopt wanneer de robot of de gripper een object raakt. De robot is hierbij altijd te laat, het object is namelijk al geraakt. De gevoeligheid kan ingesteld worden. Collision avoidance betekend dat de robot stopt wanneer de robot een voorspelde botsing detecteert. De robot is in dit geval op tijd, er worden geen objecten geraakt. WorldZones kunnen gedefinieerd worden. WorldZones kunnen gebieden zijn waarbinnen of waarbuiten de TCP van de robot moet bewegen. Met WorldZones kunnen ook assen gelimiteerd worden. Hierdoor kunnen bepaalde assen bewegen binnen of buiten de gedefinieerde limieten.

De studenten kunnen bij het programmeren van de robot fouten maken, waardoor de robot of de gripper bijvoorbeeld een object kan raken binnen de robotcel. Om dit te voorkomen is collision avoidance ingesteld. Belangrijk om te weten is dat de objecten binnen de robotcel juist moeten zijn geplaatst in RobotStudio. Collision avoidance is alleen actief bij het uitvoeren van een programma, niet bij het joggen van de robot. Collision avoidance zorgt er ook voor dat bij het uitvoeren van een programma de afscherming en de montageplaat niet geraakt kunnen worden door de robot of de gripper. Ook is er een gebied gedefinieerd met behulp van WorldZones waarbinnen de TCP kan bewegen. Bepaalde assen zijn gelimiteerd met behulp van WorldZones. Op deze manier kan de robot en de tool de afscherming niet raken. De aanvoer en het tekenoppervlak kunnen wel geraakt worden. Bij het gebruik van de gripper kan de montageplaat geraakt worden, omdat het TCP van de gripper tussen de grijpvingers in ligt. Het TCP kan de montageplaat net niet raken maar de uiteinden van de grijpervingers kunnen de montageplaat wel raken. Collision detection is ingesteld, zodat bij een eventuele botsing de impact klein blijft.

Lespakket

Het lespakket bestaat uit een aantal PowerPoints. Met behulp van afbeeldingen en tekst wordt de lesstof uitgelegd. Ook wordt aangegeven wat de studenten moeten programmeren. De eerste PowerPoint bevat informatie over de robot, controller en FlexPendant. De werking van de FlexPendant wordt voornamelijk besproken. De tweede PowerPoint gaat in op de coördinatensystemen en move instructies. De verschillende coördinatensystemen worden besproken, zoals de base coördinatensysteem, werkobject, tool coördinatensysteem en de wereld coördinatensysteem. De verschillende move instructies worden besproken, namelijk de MoveJ, MoveL en MoveC instructies. De derde PowerPoint behandelt de Tool Center Point (TCP), de werkobjecten, het gewicht van de tool en het gewicht van objecten. Er wordt beschreven hoe deze gedefinieerd moeten worden. Ook worden de digitale in- en uitgangen behandeld. De vierde PowerPoint behandelt de basis van de RobotStudio omgeving. Het geeft informatie over de opbouw van het programma. De vijfde PowerPoint gaat in op het tekenen van een vierhoek en een cirkel. Via de FlexPendant wordt het tekenen van de figuren geprogrammeerd. Er wordt aangegeven hoe nieuwe programmamodules en nieuwe routines aangemaakt moeten worden. De zesde PowerPoint behandelt de pick en place taak. De pick en place taak wordt via RobotStudio geprogrammeerd. De pick en place taak bestaat uit het oppakken en neerzetten van Lego Duplo blokjes, het palletiseren van de Lego Duplo blokjes en het sorteren van de rechthoekige en vierkante Lego Duplo blokjes op grootte. De PowerPoints zijn weergegeven in *Bijlage 20 – PowerPoints lespakket*. Informatie uit de Operating manual – OmniCore is gebruikt voor het maken van de PowerPoints. (ABB, Operating manual - OmniCore, 2020)

Bouwpakket

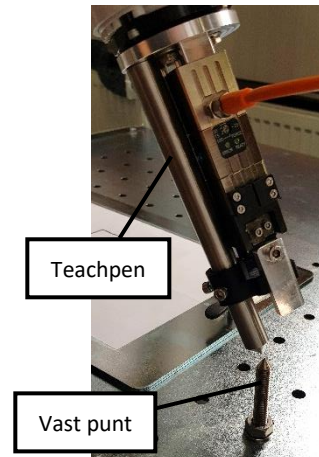
Het bouwpakket van de robotcel bestaat uit een vooraf geassembleerd basisdeel en verschillende losse onderdelen. De losse onderdelen moeten door de studenten geassembleerd worden en verbonden worden met het basisdeel. Het basisdeel bestaat uit de bodemplaat met daarop het bedieningspaneel en de besturingskast. De controller is ook gepositioneerd. Een aantal elektrische componenten zijn al aangesloten. De hoofdschakelaar, de aardlekautomaat, de externe noodstopknop en de kabel voor de deurschakelaar zijn al aangesloten. Ook zijn alle digitale in- en uitgangen aangesloten op klemmen in de besturingskast, samen met de 24 VDC voeding.

Assembleerproces

Het assembleerproces van de complete robotcel is begonnen op het moment dat de gepoedercoate onderdelen klaar waren. De verzonken onderdelen waren een week later klaar. Eerst is het frame zover opgebouwd dat de montageplaat later makkelijk aan het frame bevestigd kon worden. Vervolgens is de besturingskast ingedeeld en zijn alle elektrische componenten voor zover mogelijk aangesloten, zoals de werkschakelaar, de externe noodstop, de aardlekautomaat en de sensoren. In *Bijlage 21 – Foto's assembleerproces* zijn foto's weergegeven van het assembleerproces.

Werkobjecten en TCP inleren

De plaats van een object in de werkelijkheid is niet gelijk aan de plaats van een object in RobotStudio. Er zijn altijd verschillen. Met behulp van een teachpen die aan de flens van de robot gemonteerd is kunnen punten van een object ingeleerd worden. De plaats van een object ten opzichte van de robot in de werkelijkheid kan op deze manier nauwkeurig bepaald worden. De TCP van de teachpen moet van tevoren ingeleerd worden. Dit kan door de teachpen, die beschikt over een scherpe punt, met de punt om een vast punt te draaien en dan de posities op te slaan, zie Figuur 43. De robot kan zo de TCP van de teachpen bepalen. TCP's van andere tools met een punt kunnen op dezelfde manier bepaald worden. Hoe meer posities opgeslagen worden, hoe nauwkeuriger de TCP bepaald kan worden. Als de TCP bekend is kunnen werkobjecten ingeleerd worden door met de punt van de teachpen naar bepaalde punten te bewegen en de positie op te slaan. De robot rekent de positie en oriëntatie van het werkobject ten opzichte van de voet van de robot uit.



Figuur 43: Inleren TCP teachpen.

4.2 Testplan

In het testplan zal worden gekeken naar de functionele eisen. De functionele eisen zijn gekoppeld aan de formele eisen. Als aan de functionele eisen wordt voldaan, wordt ook aan de formele eisen voldaan. Als alle eisen met een voldoende zijn afgerond voldoet de testopstelling aan de eisen. Daarnaast is het van belang om een goed werkend eindproduct af te leveren. Dit eindproduct moet getest worden. De resultaten van alle testen worden beoordeeld met een voldoende of onvoldoende.

Het testplan bestaat uit een lijst met aspecten die getest moeten worden samen met hoe de test uitgevoerd moet worden. Vier aspecten hoeven niet getest te worden. De functionele eisen 1, 8, 9 en 10 hoeven niet getest te worden, omdat deze zonder te testen geverifieerd kunnen worden. De functionele eis dat de robotcel moet voldoen aan de CE-markering hoeft niet getest te worden. De robotcel is ontworpen aan de hand van de machinerichtlijn en de bijhorende normen. De eis is niet gehaald, omdat er nog een handleiding geschreven moet worden. De functionele eis dat taken door studenten geprogrammeerd moeten kunnen worden in RobotStudio en via de FlexPendant hoeft niet getest te worden. Dat sommige taken via de FlexPendant of in RobotStudio geprogrammeerd moeten worden is vastgesteld bij 3.7 Deelvraag 7. De functionele eis dat de stekker van de robotcel op een stopcontact met 230 VAC aangesloten moet worden is vastgesteld bij 3.6 Deelvraag 6. De functionele eis dat de verkoopprijs van de robotcel inclusief robot lager moet zijn dan €25.000 hoeft niet getest te worden. In *Bijlage 15 – Calculatie* is te zien dat de verkoopprijs van de robotcel lager is dan €25.000. Bij het bestellen is rekening gehouden met waar de onderdelen het goedkoopst ingekocht kunnen worden en of onderdelen van een ander merk goedkoper zijn, om de kostprijs zo laag mogelijk te houden.

De testen worden in *Bijlage 17 – Testplan* weergegeven. Een aantal testen wordt driemaal uitgevoerd. Aangenomen wordt dat na driemaal testen de resultaten betrouwbaar genoeg zijn om te concluderen dat de test gehaald is of niet.

5. Evaluatie

In dit Hoofdstuk komt de evaluatiefase aan bod. De resultaten van het uitgevoerde testplan worden besproken. De klanteisen en functionele eisen worden vergeleken met de resultaten. De conclusie komt aan bod waarbij antwoord wordt gegeven op de hoofdvraag. Tenslotte worden de aanbevelingen besproken.

5.1 Resultaten

De resultaten van het uitgevoerde testplan worden in *Bijlage 18 – Resultaten testplan* weergegeven. De resultaten worden in de rechterkolom van de tabel besproken. Opvallende zaken worden ook besproken. Er zijn een drietal aanvullende testen gedaan, om de werking van de robotcel uitgebreider te testen. De resultaten en de evaluatie ervan staan in *Bijlage 18 – Resultaten testplan*.

5.2 Eisen

De formele eisen en functionele eisen zijn overzichtelijk weergegeven in een tabel in *Bijlage 19 – Eisen*. Per eis wordt aangegeven of er aan de eis voldaan is. In de rechter kolom van de tabel staat een toelichting waarom aan de eis voldaan is.

Aan de eis dat de robotcel moet voldoen aan de CE-markering is niet voldaan, omdat er geen handleiding gemaakt is. De handleiding is wegens gebrek aan tijd niet gemaakt. Aan de andere eisen is wel voldaan.

5.3 Conclusie

De hoofdvraag wordt met behulp van de informatie uit dit verslag en de gerealiseerde robotcel beantwoord. De probleemstelling van de opdracht is: Hoe kan de robotcel zodanig ontworpen en gemaakt worden dat deze veilig door studenten gebruikt kan worden en dat er een bouw pakket ontstaat die kan worden opgebouwd door studenten én hoe moet het lespakket opgebouwd zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren in de robotcel? Het antwoord op deze vraag wordt opgedeeld in twee delen.

Het eerst deel gaat in op hoe de robotcel zodanig ontworpen en gemaakt kan worden dat deze veilig door studenten gebruikt kan worden en dat er een bouw pakket ontstaat die door studenten opgebouwd kan worden. De robotcel bestaat uit kokers, hoekprofielen en plaatwerk. De onderdelen kunnen met bouten en moeren aan elkaar bevestigd worden, zodat de robotcel makkelijk gemonteerd en gedemonteerd kan worden. De kokers bevatten lipjes die in sleuven van de hoekprofielen vallen, zodat de positie van de kokers vast staat en het assembleren van de robotcel vergemakkelijkt wordt. Bij de robotcel wordt een 3D-CAD tekening en een elektrisch schema geleverd, die gebruikt moeten worden bij het opbouwen van de robotcel en het aansluiten van de elektrische componenten. De robot is gemonteerd op de montageplaat. De modules die gebruikt worden voor het uitvoeren van de taken zijn ook op de montageplaat geplaatst. De montageplaat verdeelt de robotcel in twee compartimenten. Het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. In het onderste compartiment is de controller aanwezig samen met de besturingskast. Het werkgebied van de robot is afgeschermd met doorzichtige afscherming, zodat de robot tijdens bedrijf niet bereikbaar is voor personen, maar wel goed zichtbaar is wat de robot doet. In de software van de robot zijn WorldZones gedefinieerd om te voorkomen dat de robot buiten zijn werkgebied kan komen. Collision avoidance en collision detection zijn geactiveerd om te zorgen dat bij programmeerfouten schade aan de robot of de robotcel wordt voorkomen of beperkt.

Het tweede deel gaat in op hoe het lespakket opgebouwd moet zijn, zodat studenten de industriële robot kunnen programmeren en zo de robot bepaalde taken kunnen laten uitvoeren. Het lespakket bestaat uit een aantal PowerPoints waarin met behulp van afbeeldingen en tekst de lesstof wordt uitgelegd. Er wordt informatie gegeven met betrekking tot de werking van de robot en hoe de robot geprogrammeerd moet worden. Ook wordt aangegeven hoe de studenten een programma moeten

maken voor het tekenen van een cirkel en een vierhoek, de tekentaken. Daarnaast wordt aangegeven hoe de studenten een programma moeten maken voor het oppakken en neerzetten van vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes, het palletiseren van de blokjes en het sorteren van de blokjes, de pick en place taken. De tekentaken worden geprogrammeerd via de FlexPendant. De pick en place taken worden geprogrammeerd via RobotStudio. Bij de robotcel wordt een omgeving in RobotStudio geleverd, waarin de robotcel visueel te zien is en waarin de verschillende taken geprogrammeerd kunnen worden.

De robotcel voldoet niet aan de CE-markering, omdat er geen handleiding gemaakt is.

5.4 Aanbevelingen

Tijdens het maken en testen van de robotcel blijkt dat er een aantal verbeteringen gemaakt kunnen worden.

- Een handleiding kan gemaakt worden, zodat de robotcel voldoet aan de CE-markering.
- Tijdens het assembleren van de robotcel blijkt dat de controller net door het gat in het bedieningspaneel past. Het gat had wat groter gekund, zodat de controller wat makkelijker door het gat past.
- De controller wordt met behulp van een plaat met daarin een gat in de vorm van de controller ingesloten, zie Figuur 66. Het gat zit iets te hoog waardoor de achterpootjes aan de onderkant van de controller niet goed op de bodemplaat steunen.
- Tijdens het testen van de robotcel blijkt dat de sensoren van de aanvoer niet in staat zijn om vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes van verschillende kleuren van elkaar te onderscheiden. Dit komt waarschijnlijk doordat de diameter van de lichtstraal van de sensor die door de spleet tussen de blokjes moet schijnen te groot is, waardoor deze deels reflecteert op de blokjes. Het licht wordt verschillend gereflecteerd op de verschillende kleuren blokjes. Dit is opgelost door blokjes van één kleur te gebruiken, maar dit kan misschien ook opgelost worden door in plaats van taster sensoren, een ontvanger en zender te gebruiken. De zender ontvangt een lichtstraal als er een spleet is tussen de blokjes.
- In het midden van de onderkant van het frame kan een extra koker geplaatst worden over de breedte, zodat de robotcel ook met een palletwagen eenvoudig verplaatst kan worden. De robotcel steunt dan met twee kokers op de palletwagen.
- De afschermingen van de hoekprofielen kunnen verbeterd worden. Ze kunnen bijvoorbeeld op meer plekken ondersteund en bevestigd worden aan de hoekprofielen of op een andere manier bevestigd worden.
- De opaalwitte acrylaatplaten die dienen voor het afschermen van het onderste compartiment van de robotcel kunnen vervangen worden door platen van metaal. De zwarte platen die op de achterkant van de opaalwitte platen zijn bevestigd zijn zichtbaar aan de voorkant. Dit komt doordat de opaalwitte platen wat doorzichtig zijn. Bij het gebruik van metalen afschermingsplaten is dit probleem opgelost. Ook wordt de afscherming op deze manier degelijker.
- Het lespakket kan uitgebreid worden door bijvoorbeeld meer modules en tools bij de robotcel te leveren en daarbij meer opdrachten te geven aan studenten. De robotcel kan daarbij ook uitgevoerd worden met een visionsysteem.
- De veiligheidsschakelaar bij de deur kan vervangen worden door een ander exemplaar, zodat de schakelaar precies volgens de documentatie aangesloten kan worden. De juiste melding wordt dan waarschijnlijk ook weergegeven op de FlexPendant bij het openen van de deur.

Bibliografie

- Aandrukdraaigrendels*. (2021, april 23). Opgehaald van Kipp:
<https://www.kippcom.nl/nl/nl/Producten/Bediendelen-Normelementen/Draaigrendels/K0528-aandrukdraaigrendel-variabele-aandrukweg.html>
- ABB. (2019, december). IRB 1100.
- ABB. (2020, november 16). ABB Schoolcel.
- ABB. (2020, december 14). Application manual - Wizard.
- ABB. (2020, oktober 25). Operating manual - OmniCore.
- ABB. (2020, december 23). Operating manual - Robot Control Mate.
- ABB. (2020, december 16). Product manual - OmniCore C30.
- Acrylnitrilbutadiëenstyreen (ABS)*. (2021, april 2). Opgehaald van Naeff:
https://www.naeff.nl/nl/technische-datasheet/acrylnitrilbutadi%C3%ABenstyreen-abs?n=2110_3
- Blokkeerpen*. (2021, april 21). Opgehaald van Kipp:
<https://www.kippcom.nl/nl/nl/Producten/Bediendelen-Normelementen/Spaanelementen/Blokkeerpen-staal.html>
- Bouchard, S. (2016, mei 5). *Servo-Electric Gripper: How Does It Work*. Opgehaald van Robotiq:
<https://blog.robotiq.com/bid/54909/Servo-Electric-Gripper-How-Does-It-Work>
- Calderone, L. (2019, april 23). *Looking for a Robotic Gripper?* Opgehaald van RoboticsTomorrow:
<https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/04/looking-for-a-robotic-gripper/13530>
- CE-markering*. (2021, februari 25). Opgehaald van TÜV Nederland:
<https://www.tuv.nl/nl/diensten/ce-markering/>
- Cook, J. S. (2018, juli 30). *NPN vs. PNP: What's the Difference?* Opgehaald van Arrow:
<https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/npn-vs-pnp-in-circuit-design-and-controls#:~:text=PNP%20sensors%20produce%20a%20positive,during%20an%20%E2%80%9Con%20%E2%80%9D%20state.&text=NPN%2C%20or%20%E2%80%9Csinking%20%E2%80%9D%20output,an%>
- Daan. (2018, december 24). *Standaard deurmaat bepalen*. Opgehaald van Toelevering Online:
<https://www.toeleveringonline.nl/inspiratie/standaard-deurmaat-bepalen/>
- Electrogalvanizing Services*. (2021, april 20). Opgehaald van Del's Plating Works:
<http://www.delsplating.com/electrogalvanizing-services.html>
- EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD. (2006, mei 17). RICHTLIJN 2006/42/EG.
- Geertsma, P. (2013, oktober 3). *Wat is TIG lassen en waarvoor is het geschikt?* Opgehaald van Technisch Werken: <https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-tig-lassen-en-waarvoor-is-het-geschikt/>
- Goodwin, D. (2020, augustus 10). *How to Define the Tool Center Point (TCP) on a Robot*. Opgehaald van Control Automation: <https://control.com/technical-articles/how-to-define-the-tool-center-point-tcp-on-a-robot/>
- Gurgul, M. (2018). *Industrial robots and cobots : everything you need to know about your future coworker*.
- Hoe Werkt een Pneumatische Grijper*. (2021, februari 15). Opgehaald van Tameson:
<https://tameson.nl/pneumatische-grijper.html>
- Industriële robotica*. (2021, februari 23). Opgehaald van Festo:
https://www.festo.com/nl/nl/e/technische-opleiding/leersystemen/productieautomatisering-en-industrie-4-0/industriële-robotica-id_32128/?siteName=Festo+NL&siteUid=fox_nl
- IO-Link*. (2021, april 21). Opgehaald van IFM: <https://www.ifm.com/nl/nl/category/055>
- IRB 1100 - The most compact and fast robot ever*. (2021, februari 16). Opgehaald van ABB:
<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1100>

- Koninklijk Nederlands Normalisatie-instituut. (2018). Overzicht van Europese normen Machinerichtlijn 2006/42/EG. Delft.
- KUKA ready2_educate. (2021, maart 3). Opgehaald van KUKA: https://www.kuka.com/nl-be/producten-diensten/robotsystemen/ready2_use/kuka-ready2_educate
- Learn with ABB SMART Education Package. (2021, februari 5). Opgehaald van ABB: <https://library.e.abb.com/public/135d8135b29fd6fb85257c3800539a82/Education%20Package%20Final.pdf>
- Martins, F. (2020). Kinematics and intro to robot programming.
- Martins, F. N. (2020). Introduction to Industrial Robotics.
- Motoman, Y. (2019, november 26). *EduCart: Next-Generation Fenceless Robotic Training Program*. Opgehaald van automation inside: <https://www.automationinside.com/article/educart-next-generation-fenceless-robotic-training-program>
- NEN-EN-IEC 60204-1. (2018, september).
- NEN-EN-ISO 13857. (2019, november).
- OmniCore™ Controllers. (2021, februari 22). Opgehaald van ABB: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/omnicore>
- Operator panels en HMI displays. (2021, juni 7). Opgehaald van Fortop: <https://fortop.nl/solutions/producten/operator-panels-hmi-display/>
- Poederlakken. (2021, mei 13). Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Poederlakken>
- Robot end effector. (2021, Januari 20). Opgehaald van Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_end_effector
- Robot Grippers & End Effectors. (2021, februari 15). Opgehaald van Bara: <https://www.ppma.co.uk/bara/expert-advice/robots/robot-grippers-end-effectors.html>
- Robot station with MPS® modules. (2021, februari 23). Opgehaald van Festo Didactic: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/industrial-robotics/robot-station-with-mps-modules-the-equipment-level-as-an-introduction-to-industrial-robotics.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC4xNjMzLjgxE>
- Robot Vision Cell. (2021, februari 23). Opgehaald van Festo Didactic: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/robot-vision-cell-robotics-and-vision.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC4wfDEyNj8fDg5OHwuNzYzNg>
- Robotic Welding for Education. (2021, februari 23). Opgehaald van Lincoln Electric: <https://www.lincolnelectric.com/en-za/equipment/robotic-automation/products-and-systems/Pages/education-systems.aspx>
- Segerstrom, M. (2013, april 24). *What is RobotStudio? I bet you're guessing it has something to do with robots*. Opgehaald van ABB Conversations: <https://www.abb-conversations.com/2013/04/what-is-robotstudio-something-to-do-with-robots/>
- Snelspanbout kort. (2021, april 21). Opgehaald van Siegmund: <https://www.siegmund.com/nl-nl/2-%7B%7Btb-id-1810%7D%7D/86-%7B%7Btb-id-1810%7D%7D/Snelspanbout-kort-gezwart,102-detail-4155.php>
- Spandoorn. (2021, april 21). Opgehaald van Kipp: <https://www.kippcom.nl/nl/nl/Producten/Bediendelen-Normelementen/Spaanelementen/Spandoorn-staal-met-excenterhefboom.html>
- Staff, T. R. (2019, januari 16). *Piab broadens scope of Kenos KVG vacuum grippers*. Opgehaald van The Robot Report: <https://www.therobotreport.com/piab-kenos-kvg-vacuum-grippers/>
- Stelvoet M12 met zwenkwiel. (2021, april 8). Opgehaald van Multitube: <https://www.multitube.nl/stelvoet-m12-met-zwenkwiel-500kg/a169?c=152>
- STEP-bestand (.stp/.step). (2014, december 29). Opgehaald van Vanaf Schets: <https://www.vanafschets.com/single-post/2014/12/29/STEPbestand-stpstep>
- Svedex SL1 superlak (maatwerk). (2021, juni 10). Opgehaald van OnlineDeurenkopen.nl: <https://www.onlinedeurenkopen.nl/svedex-sl1-superlak>
- Thermisch of elektrolytisch verzinken? (2021, januari 15). Opgehaald van Tosec: <https://www.tosec.nl/wiki/thermisch-en-elektrolytisch-verzinken/>

Top 5 industrial robotics applications. (2020, mei 7). Opgehaald van Engineering 360:

<https://insights.globalspec.com/article/14155/top-5-industrial-robotics-applications>

Vergrendelpennen. (2021, april 21). Opgehaald van Kipp:

<https://www.kippcom.nl/nl/nl/Producten/Bediendelen-Normelementen/Verende-drukstukken-borgpennen-vergrendelpennen/Vergrendelpennen-met-paddenstoelgreep-rvs-zelfborgend-verstelbaar.html>

Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., & Voßiek, J. (2013). *Roloff Matek machineonderdelen Theorieboek*. Amsterdam: Boom Uitgevers Amsterdam.

Zwenkwiel met stelvoet D63-H100-M12. (2021, april 16). Opgehaald van StelvoetVoordeel:

https://www.stelvoetvoordeel.nl/nr_92_zwenkwiel-met-stelvoet-d63-h100-m12_SV1598500001

Bijlagen

Hieronder worden de verschillende bijlagen vermeld.

Bijlage 1 - Plan van aanpak

In deze bijlage wordt het plan van aanpak behandeld.

Contactgegevens afstudeerbedrijf

Bedrijf/Instelling : Bouwtechnics C & C B.V.
Adres : Blauwverlaat 20
Postcode & Plaats : 9284XH Augustinusga
Algemene telefoonnummer : +31 6 46120615
Internet : www.bouwtechnics.nl
Contactpersoon/
Bedrijfsbegeleider : Jospier Bouwer
E-mail : j.bouwer@bouwtechnics.nl
Mobiel/Tel : +31 6 46120615
Projectnaam : n.v.t

Grenzen en Randvoorwaarden

De opdracht bestaat uit:

- Het analyseren van de klantvraag, wat willen de scholen.
- De eisen vaststellen.
- Het maken van een ontwerp van de robotcel. Het ontwerp moet zo gemaakt worden dat studenten de robotcel zelf kunnen opbouwen.
- Het schrijven van een basis lespakket voor studenten.
- De robotcel geheel fabriceren.
- De complete robotcel assembleren en testen.

De randvoorwaarden zijn:

- De opdracht moet binnen 20 weken afgerond worden. 40 uren per week.
- De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot is +/- € 25.000.
- De robotcel moet voldoen aan de CE-markering.
- De robotcel moet opgebouwd kunnen worden door de studenten.

De voertaal binnen het bedrijf is Nederlands of Fries. De documentatie en het eindverslag worden geschreven in het Nederlands.

Relatie tot andere projecten

Bij de afstudeeropdracht is er geen sprake van een relatie tot ander projecten.

Geschiktheid

De opdracht is complex genoeg om als afstudeeropdracht te gebruiken, omdat er verschillende aspecten aan bod komen, zoals het analyseren van de klantvraag en het opstellen van eisen. Bij het ontwerpen en maken van de robotcel komen zowel mechanica als elektronica aan bod. De robotcel moet namelijk geprogrammeerd worden, zodat bepaalde handelingen worden uitgevoerd. Om de robot bepaalde handelingen uit te laten voeren moeten er ook mechanische componenten ontworpen en gemaakt worden. De robotcel moet zowel ontworpen als gemaakt worden. Om dit te kunnen doen moet er vooraf onderzoek gedaan worden naar bepaalde technieken, mechanieken en andere aspecten die van belang zijn.

De opdrachtomschrijving is helder geformuleerd. Er moet een robotcel ontworpen en gemaakt worden die bepaalde handelingen kan verrichten en welke gebruikt kan worden in het onderwijs om zo de aandacht voor robotisering in het onderwijs te vergroten.

De eisen voor het afstudeertraject staan in de afstudeerhandleiding en luiden als volgt:

- 1. Voor deze opdracht is specifiek en diepgaand kennis op het gebied van elektrotechniek nodig.*
De robot moet geprogrammeerd en aangestuurd worden. Mechanische componenten zijn nodig om de robotcel bepaalde handelingen te laten verrichten.
- 2. De opdracht is maatschappelijk relevant. Dit betekent dat een persoon of bedrijf is geïnteresseerd in jouw resultaten).*
Het bedrijf is geïnteresseerd in de robotcel en wil deze gebruiken om de aandacht voor robotisering in het onderwijs te vergroten.
- 3. De opdracht biedt voldoende ruimte voor discussie. Het eindresultaat staat dus nog niet vast, de oplossing van het probleem is nog niet bekend en/of is niet voorgedragen door de opdrachtgever.*
Het staat nog niet vast welke handelingen de robot moet verrichten. Het staat wel vast dat er een robotcel ontworpen en gemaakt moet worden.
- 4. De opdracht biedt voldoende mogelijkheden om toegepast onderzoek te doen.*
Tijdens het afstuderen moet onderzoek gedaan worden naar welke handelingen verricht moeten worden door de robot en hoe dit het beste gedaan kan worden. Ook moet er onderzoek gedaan worden naar materialen, componenten en mechanieken die gebruikt kunnen worden in de robotcel.
- 5. De opdracht heeft voldoende omvang en diepgang om de elektrotechniek competenties op het vereiste eindniveau aan te tonen.*
Bij de afstudeeropdracht komen verschillende aspecten aan bod om de competenties van elektrotechniek op het vereiste eindniveau aan te tonen.
- 6. Het bouwen of verder ontwikkelen en het testen van een specifiek product/prototype moeten onderdeel uitmaken van de opdracht.*
Tijdens de afstudeeropdracht wordt een robotcel ontworpen en gemaakt. Deze robotcel wordt getest op de werking en of het aan alle eisen voldoet.
- 7. Er is voldoende capaciteit binnen het (eigen) bedrijf of de instelling voor technische ondersteuning van de studenten, of een externe deskundige is bereid deze ondersteuning te bieden.*
De bedrijfsbegeleider begeleidt mij tijdens de afstudeerperiode. De bedrijfsbegeleider en eventuele andere collega's kunnen mij technisch ondersteunen en vragen beantwoorden.
- 8. Er zijn voldoende faciliteiten beschikbaar gesteld door de opdrachtgever om de afgesproken opdracht binnen de geplande periode af te kunnen ronden.*
Tijdens het maken van onderdelen en het assembleren van de robotcel kan gebruik gemaakt worden van de machines en gereedschappen die binnen het bedrijf beschikbaar zijn.

9. *Indien de student afstudeert binnen zijn/haar onderneming: De opdracht betreft de (verdere) ontwikkeling van een eigen product dat de intellectuele eigendom is van de student met de goedkeuring van de mede-eigenaren van het product (of de prototype ervan).*
Dit is niet van toepassing.
10. *De opdracht kan binnen een periode van 15-20 weken worden afgerond.*
De opdracht kan binnen 20 weken worden afgerond.
11. *De opdracht moet door de afstudeercommissie worden goedgekeurd.*
De opdracht is goedgekeurd door de afstudeercommissie.

Middelenplan en Risicobeheersing

Voor het tot een goed einde brengen van de afstudeeropdracht zijn een aantal middelen nodig. Een computer met bepaalde software is nodig om de benodigde documenten te schrijven, de robotcel te ontwerpen, de robotcel te programmeren, onderzoek te doen, enz. De bedrijfsbegeleider en eventuele collega's zijn nodig om hulp te bieden, voor het begeleiden van mij tijdens de afstudeerperiode en voor het beantwoorden van vragen. De robot die aangeschaft wordt met de benodigde software is de basis van de robotcel. Bepaalde machines en gereedschappen zijn nodig om de benodigde onderdelen te produceren. Een budget is nodig voor het aanschaffen van de robot en voor het aanschaffen van andere onderdelen die van belang zijn. De uitgaven die gedaan worden tijdens de afstudeeropdracht om bepaalde componenten aan te schaffen worden overzichtelijk bijgehouden in Excel of een vergelijkbaar programma.

Tijdens de afstudeerperiode bestaan er een aantal risico's die er voor kunnen zorgen dat de afstudeerproducten niet binnen de geschatte tijd worden afgeleverd. Dit kan ervoor zorgen dat de afstudeeropdracht niet binnen de beschikbare tijd wordt afgerond. En er wellicht uitstel zal moeten worden aangevraagd.

De risico's zijn:

- Verkeerde inschatting met betrekking tot de benodigde tijd voor het uitvoeren van bepaalde taken. Om dit risico te beperken wordt er in de planning extra tijd voor een bepaalde taak ingepland. Door goed de planning te volgen wordt dit risico bijgehouden.
- Bestelde onderdelen en apparaten komen niet binnen de geschatte levertijd binnen. Om dit risico te beperken worden onderdelen zo vroeg mogelijk besteld.

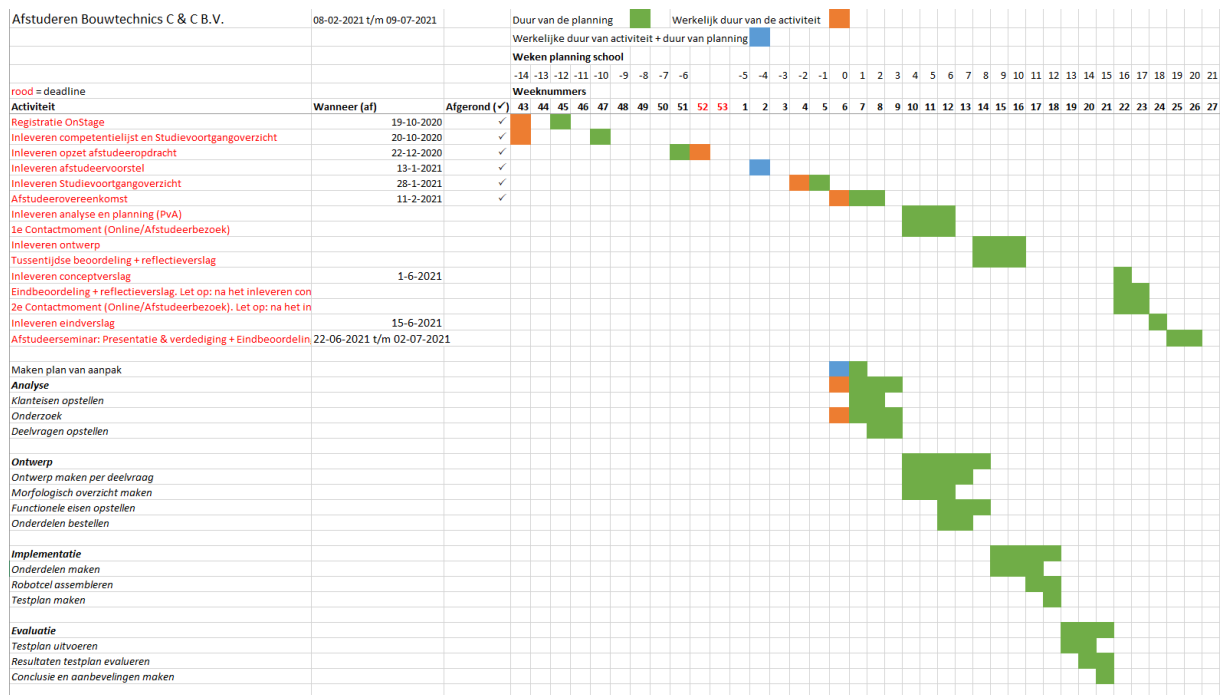
Beoogde resultaten en producten

Tijdens de afstudeerperiode moet een verslag geschreven worden waarin de vier verschillende fases aan bod komen, de analyse fase, de ontwerp fase, de implementatie fase en de evaluatie fase. Deze moet aan het eind van de afstudeerperiode ingeleverd worden samen met dit plan van aanpak.

Aan het eind van de afstudeerperiode moet de robotcel inclusief tekenpakket opgeleverd worden. Ook moet er een basis programma geschreven worden voor de robot en een lespakket. Het lespakket moet bij voorkeur bestaan uit een paar tutorials in Robotstudio.

Planning

In Figuur 44 staat de planning van het gehele afstudeertraject. De deadlines van school staan in de planning samen met de vier fasen die tijdens de afstudeeropdracht worden doorlopen. De fasen zijn verder verdeeld in taken. Het verslag wordt gedurende de afstudeerperiode geschreven.



Figuur 44: Planning

Communicatieplan

Het communicatieplan met het bedrijf bestaat minimaal uit een wekelijks contactmoment, waarop ik de voortgang van de opdracht bespreek met mijn bedrijfsbegeleider. Het wekelijkse contactmoment vindt plaats op vrijdagmiddag. Als ik vragen heb stel ik deze als dat mogelijk is direct aan de bedrijfsbegeleider, zodat ik weer verder kan.

Het communicatieplan met school bestaat uit de twee contactmomenten met mijn afstudeerbegeleider en het inleveren van de benodigde documenten. Als ik vragen heb stel ik deze als dat mogelijk is direct aan mijn afstudeerbegeleider.

Overeenkomst

Onderstaande partijen gaan akkoord met dit plan van aanpak:

1e beoordelaar:

Bedrijfsbegeleider:

De student:

Riemer Hoogteem

Plaats: Augustinusga

Datum: 19-3-2021

Bijlage 2 – Enquête studenten

In Tabel 10 worden de resultaten weergegeven van de enquête die door studenten van de Hanzehogeschool en de NHL Stenden Hogeschool is ingevuld. De verdeling in globale onderwerpen wordt ook weergegeven. De enquête is geschreven in het Engels, omdat de roboticaleraar, die de enquête heeft gedeeld, in het Engels lesgeeft en ook buitenlandse studenten lesgeeft. De antwoorden op de vragen zijn zowel in het Nederlands als in het Engels. In Tabel 11 staan de antwoorden van twee medestudenten van de opleiding Mechatronica op de gestelde vragen. In Tabel 12 staan de antwoorden van drie mbo-studenten op de gestelde vragen. In beide tabellen is een verdeling in globale onderwerpen toegevoegd.

Tabel 10: Enquête studenten.

	What is the name of your study? (You can answer in dutch)	What study year are you in? (You can answer in dutch)	What do you want to learn on the topic of industrial robots? (You can answer in dutch)	Globale onderwerpen leerdoelen	What are your ideas for the tasks that can be performed by the industrial robot in the robot cell? Please, be as specific as possible. (You can answer in dutch)	Globale onderwerpen ideeën
1.	Mechatronica	2	Aansturing, toepassingen	Algemene robotkennis	Geen idee eigenlijk, zal alles wel mooi vinden :)	
2.	Mechatronica	2	De industriële robot in praktijk aansturen	Algemene robotkennis	drinken inschenken op open dagen	Drinken inschenken en verplaatsen
3.	Elektrotechniek	2	Mimic human arm (from the shoulder down)	Menselijke arm nabootsen	being able to lift a filled teacup without making a mess, placing it somewhere else and tap the human on the shoulder and point at the teacup (use full range of motion a human arm has)	Drinken inschenken en verplaatsen
4.	Sensor Technology (Elektrotechniek)	3	How to operate it and how to make them more autonomous	Algemene robotkennis	Simple path following? Going from one item to another item. Picking things up as you go. Picking up and putting down a raw egg at multiple places without dropping and breaking it? Stacking things Give a paintbrush or some chalk and have students draw pretty pictures with the robot. A cool addition would be uploading image files and have the robot draw it out. Laser cutter or 3D printer algorithm?	Pick and place / pad volgen
5.	Elektrotechniek	4	Communicatie met een PLC of	Communicatie met andere apparaten	Deze robot zou iets kunnen maken wat uit meerdere handelingen	Product assembleren

			groter netwerk. Hoe ze werken.		bestaat en dus interessant en leerzaam is. Een voorbeeld is de robot van Beenen die op onze open dagen staat en een volledig naar wens (kleuren van de delen) fidget spinner in elkaar kan zetten. Ook coördinaten doorkrijgen van bv een PLC en hier iets mee doen is interessant.	
6.	Werktuigbouw unde	5	How to choose a Robot, how to set it up, how to program it	Algemene robotkennis	We built one at my previous school that made cocktails. Suggestion: mimic the movement of a person standing in front of it.	Drinken inschenken en verplaatsen
7.	Mechatronica	3	machine learning	Kunstmatige intelligentie	pick and place met machine learning aspect	Pick and place met productherken ning
8.	Sensor Technology (Elektrotechniek)	2	how to use them in colabberation with computer vision	Kunstmatige intelligentie	i think working with other studies that could use a robot is a good way of integrating other needs im the project while also learning how to work with the robot	Werken met robot / werken met andere opleidingen
9.	Mechatronica	3	How to program a bot How does it compete with co- bots Statistics about strength / torque / force / weight / speed / flexibility / DoF / Information about it's parts ~student hobby projects amateur version Where the creator runs his internship :p ~ Derk Pestman	Algemene robotkennis	Considering you don't focus on: agriculture, healthcare, military and mining: Making a (simple) pick and place unit with the robot Letting the robot participate in a game such as chess / 3 op een rij / etc. Welding or cutting parts with (removable) head Making a puzzle Controlling a miniature train station Ordering books alphabetical Plotter - draw something on pc, get the robot to hold a pen and draw it Ordering robot via speech recognition to handle the remote of the tv Co-bot ideas, possibility: dishes / cleaning a station / laundry / piling up newspapers	Pick and place/ spel spelen / lassen / frezen / pad volgen / apparaat bedienen

					Also: arduino projects can help with inspiration I have no idea what you are searching for, how many assistance you have and how hard you wanna make it, but i hope this helps c:	
10.	Elektrotechniek	2	Hoe een robot verschillende objecten herkent, die informatie verwerkt en daarop reageert	Vision	Bijvoorbeeld het kunnen herkennen van verschillende objecten (kubus, driehoek, ster, ovaal, etc.) en die objecten met een robotarm kunnen oppakken, analyseren en sorteren, zodat de objecten in het juiste vakje worden geplaatst, net zoals een speelgoedkubus voor kinderen	Pick and place met productherkenning
11.	Commerciële economie	2	Overview of what it is, what you can do with it. And especially what we can do with it in the future and the impact of it on society	Algemene robotkennis	Ik zie ze voor me als in werk doen in grote industriële fabrieken. Zijnde als grotere robot machines...	Realistisch proces in fabriek
12.	Software engineering	2 / 3	I would like to learn how to use and make these kind of robots. Like lets say learn how they work or how to make them do something.	Algemene robotkennis	Making bionics that can for instance help people walk again	Robot lichaamsdeel
13.	HBO-ICT (SE)	3	How do you write the code for the operations of the robots. What programming language, do you use libraries, and what development environment do you use.	Algemene robotkennis	Pick and throw a dice. Pretty interesting RNG if you ask me.	Spel spelen
14.	Toegepaste Psychologie	5	Aanpassingsvermogen en daarmee flexibiliteit van de inzet.	Aanpassingsvermogen en flexibiliteit	De mogelijkheid om de robot als externe input te gebruiken in combinatie met AR en VR.	Kunstmatige intelligentie
15.	Game design	3	what they can do in 10 years, what jobs they will take over.	Robots in de toekomst	Farming, cooking, surgery, law?	Koken / opereren
16.	Game design	4	Programming them, being able to control them	Algemene robotkennis	I had to google what a Robot Cell was first. A task I think that could	Pick and place

					be done for students is simply being able to control it's axis and maybe pick up a few items around the cell	
17.	Game design	2	Basic info, how they work	Algemene robotkennis	I want to see how essential product manufacturing robots work cos I can use their movement for inspiration. Also I am not sure the kind of work they do so it would be nice to be surprised	Product fabricage
18.	Game Design	4	How to program them and control them	Algemene robotkennis	It could be used as a helping hand during presentations, moving stuff around, picking up different visual aids while presenting.	Pick and place
19.	Game design	2	I don't have a lot of knowledge about these things, so I'd like to know general knowledge, what do they do; what tasks do they usually perform; how do they perform their tasks; could the average person use this to perform certain tasks? Etc	Algemene robotkennis	I'm sorry I'm afraid I can't be that specific as you may want me to be, but performing usual tasks, or tasks that they are usually used for seem like a good idea. maybe the robots can perform certain "tricks" that aren't what they usually are used for, but you can show off the robot a bit by this.	Realistisch proces in fabriek
20.	Mechatronica	2	Sure!		Herkennen van verschillende objecten door sensoren (blokje A, blokje B); van plek verplaatsen/optillen.	Pick and place met productherkenning

Tabel 11: Antwoorden van twee medestudenten van de Hanzehogeschool Groningen op de gestelde vragen.

Wie	Wat zijn je ideeën voor handelingen die door de industriële robot in de robotcel geautomatiseerd kunnen worden?	Onderwerpen ideeën
4 ^e jaars mechatronica student aan de Hanzehogeschool Groningen	Voorwerpen van een continue doordraaiende transportband afpakken en op een pallet stappelen. Iets van assemblage. Dingen met schroeven vastdraaien. Het zou wel leuk zijn als het echt een proces is wat je ook in een echte fabriek zou kunnen hebben.	Pick and place / product assembleren / realistisch proces in fabriek
4 ^e jaars mechatronica student aan de Hanzehogeschool Groningen	Een robot met vision systeem dat op basis van een camera een product ziet en oppakt. Bijvoorbeeld het oppakken en neerzetten van voorwerpen van of op een transportband.	Pick and place met productherkenning

Tabel 12: Antwoorden van drie mbo-studenten op de gestelde vragen.

Wie	Wat zou je graag willen leren op het gebied van industriële robots?	Globale onderwerpen leerdoelen	Wat zijn je ideeën voor handelingen die door de industriële robot in de robotcel geautomatiseerd kunnen worden?	Globale onderwerpen ideeën
2 ^e jaars student Technicus engineering met uitstroomrichting mechatronica aan de ROC Friese Poort Drachten	Hoe de robot bediend moet worden den hoe een robot in elkaar zit, qua motoren, bekabeling en aansturing.	Algemene robotkennis	Sjoelbak. 1. De robot kan de blokjes vangen die gegooid zijn door een persoon. Doel: hoe snel kan de robot reageren. De detectie van de blokjes kan bijvoorbeeld met vision. 2. De robot gaat sjoelen en gooit de blokjes in de vakjes met de goede snelheid en precisie.	Spel spelen
1 ^e jaars student Technicus engineering (Werktuigbouwkunde) (Niveau 4) aan de ROC Friese Poort Drachten	Het automatiseren van handelingen met behulp van robots. Handelingen die eerst door mensen worden gedaan automatiseren. Het verbeteren van machines.	Algemene robotkennis	Het oppakken en/of neerzetten van producten op een loopband met behulp van een robot. Producten assembleren, zoals bijvoorbeeld in de auto-industrie wordt gedaan. Dit vind ik interessant.	Pick and place / product assembleren / product fabricage
3 ^e jaars studente Technicus engineering (Mechatronica) (Niveau 4) aan Alfa-college	Het programmeren van de robot en het aansluiten van de robot, sensoren en actuatoren.	Algemene robotkennis	Het oppakken en/of neerzetten van blokjes. Het opstapellen van blokjes. Palletiseerhandeling.	Pick and place

Bijlage 3 – Antwoorden leraren

In deze bijlage worden de antwoorden weergegeven van leraren.

Antwoord roboticaleraar Hanzehogeschool:

“You can, of course, ask your classmates what they would like to have in the robot cell. But, to me it seems more important to start with the question from the other side: what do you want students to learn with your cell?

The “actions” to be automated... do you mean the tasks to be performed by the robot?

If so, then the most basic one is pick-and-place. This is the most basic task and it allow students to practice with a lot of different aspects of industrial robot programming (like different moving instructions, adjusting speed and acceleration parameters, TCP calibration etc.). You can have the robot performing palletizing applications. Besides that, you could think of applications in which the robot needs to move its tool with constant speed (like glue dispensing) or while pressing a surface with constant force (like sanding or screwing).

Adding sensors to the cell will increase the interaction with the robot and allow more complex automation. For instance, you could have a conveyor belt with some sensors to detect parts, or even a camera (maybe even with a 3D camera, like PickIt). “

Gesprek leraren Hanzehogeschool:

Op 3 maart 2021 is er een gesprek geweest tussen Josper Bouwer, mij en vier leraren van de Hanzehogeschool. Het gesprek vond plaats via Microsoft Teams. Het waren leraren van de opleiding werktuigbouwkunde. We hebben het gehad over de visie van Josper Bouwer op het gebied van industriële robots. Robots zijn flexibel en kunnen op veel gebieden worden toegepast, waardoor het niet altijd nodig is om een machine compleet te ontwikkelen voor een automatiseringsproces. Er kunnen veel verschillende tools aan een robotarm bevestigd worden, waardoor relatief snel en eenvoudig een proces geautomatiseerd kan worden.

We hebben het gehad over hoe de opleiding werktuigbouwkunde nu opgebouwd is en dat er eigenlijk een verschuiving plaats vindt van de mechanikant naar de meer elektronikant. Studenten van de opleiding werktuigbouwkunde leren nu vooral dingen op het gebied van mechanica. Maar eigenlijk zouden zij ook meer moeten leren op het gebied van elektronica, omdat werktuigbouwkunde steeds meer verbonden wordt met elektronica en programmeren. Eén van de leraren vertelde dat hij bezig is om studenten meer bij te brengen op het gebied van PLC besturing. Hoe de verschillende componenten aangesloten en aangestuurd moeten worden, zoals een motor en een frequentieregelaar. Veel onderdelen voor een machine kunnen ingekocht worden en moeten dan samengebracht worden om samen te werken. Het wordt daarom belangrijker om te weten hoe de verschillende onderdelen werken, met elkaar samenwerken en kunnen communiceren.

De leraren zijn bezig met het maken van een nieuw curriculum. Hier kan de robotcel wellicht een onderdeel van zijn. Er zijn veel studenten die de opleiding volgen. Hierdoor zou je veel robotcellen nodig zijn. Bij de robot wordt één RobotStudio Netwerkllicentie geleverd voor 100 gelijktijdige gebruikers. Hierdoor kunnen de studenten alvast de robot programmeren voordat ze met de robotcel aan het werk gaan. Als het programma klaar is kunnen de studenten in kleine groepjes met de robotcel gaan werken door de robotcel op te bouwen en het gemaakte programma in RobotStudio te uploaden naar de robot. Hierdoor heb je maar een paar robotcellen nodig.

In de robotcel komen veel gebieden samen. Mechanica, voor het opbouwen van de robotcel en voor het ontwerpen van een gripper aan de robotarm. Elektronica, het aansluiten van componenten op de controller en de robot en daarbij het lezen van een elektrisch schema. Programmeren, het programmeren van de robot rekening houdend met de inkomende en uitgaande signalen.

Bijlage 4 – Analyse antwoorden studenten

In deze bijlage worden de antwoorden van de studenten geanalyseerd en geordend.

Opleiding

De enquête is ingevuld door studenten van negen verschillende opleidingen, zie Tabel 13. Voordat de enquête gedeeld is werd aanvankelijk alleen gedacht aan studenten van de opleidingen Mechatronica, Elektrotechniek en Werktuigbouwkunde. Zestien van de 25 ondervraagde studenten volgen een van deze opleidingen. Opvallend aan de resultaten zijn de vijf studenten van de opleiding Game Design. Aan deze groep studenten was niet gedacht, maar het is goed om te weten dat zij robots ook interessant vinden en er wellicht mee werken of willen werken. Aan studenten van de opleidingen Software Engineering en HBO-ICT is ook niet gedacht, maar zij passen bij de studenten van de andere drie technische opleidingen, want zij zijn actief op het gebied van software. De studenten van Game Design zijn ook actief op software gebied, maar focussen zich vooral op het ontwerpen van games. Opvallend zijn ook de twee studenten van de opleidingen Commerciële Economie en Toegepaste Psychologie. Deze twee studenten doen geen technische opleiding, maar vinden robotica blijkbaar wel interessant.

Tabel 13: Opleiding

Nr.	Opleiding	Aantal studenten
1.	Mechatronica	9
2.	Game Design	5
3.	Elektrotechniek	3
4.	Sensor Technology (Elektrotechniek)	2
5.	Werktuigbouwkunde	2
6.	Commerciële Economie	1
7.	Software Engineering	1
8.	HBO-ICT	1
9.	Toegepast Psychologie	1
	Totaal	25

Studiejaar

Tien van de ondervraagde studenten zitten in het tweede studiejaar. In Tabel 14 staat een overzicht. Eén van de ondervraagde studenten zit in het eerste studiejaar. In het derde studiejaar zitten zes studenten. In het vierde studiejaar zitten vijf studenten. Eén student zit zowel in het tweede als derde studiejaar. Waarschijnlijk volgt hij/zij vakken uit beide studiejaren. Twee studenten zitten in het vijfde studiejaar. Waarschijnlijk doen zij een jaar of een gedeelte ervan overnieuw. Het grootste deel van de ondervraagde studenten zit dus in het tweede, derde en vierde studiejaar. Dit komt waarschijnlijk doordat studenten in deze studiejaren in aanraking komen met robotica.

Tabel 14: Studiejaar

Studiejaar	Aantal studenten
1	1
2	10
2/3	1
3	6
4	5
5	2
Totaal	25

Leerdoelen

Aan de ondervraagde studenten van de enquête en de drie mbo-studenten is gevraagd wat ze graag willen leren met betrekking tot industriële robots. Eén student van de enquête heeft geen antwoord op deze vraag gegeven. De antwoorden van deze vraag zijn te verdelen in globale onderwerpen, zie Tabel 15. Vijftien van de 22 antwoorden vallen onder algemene robotkennis. Onder algemene robotkennis valt de werking van een industriële robot, de keuze voor een robot, het programmeren van een robot, de toepassingen van een robot en hoe een robot bediend kan worden. Acht studenten van de opleidingen Mechatronica, Elektrotechniek en Werktuigbouwkunde geven aan dat ze meer willen leren op het gebied van algemene robotkennis. Dit is opvallend, want blijkbaar hebben deze studenten nog geen les gehad in industriële robots. Terwijl dat wel belangrijk is, aangezien er steeds meer gebruik wordt gemaakt van robots in de industrie. Wellicht krijgen deze student nog les in industriële robots. Zeven van de studenten die een andere opleiding dan deze drie volgen geven aan meer te willen leren op het gebied van algemene robotkennis. Dit is begrijpelijk aangezien zij waarschijnlijk niet in aanraking komen met robotica tijdens hun opleiding.

Tabel 15: Onderwerpen leerdoelen

Nr.	Onderwerpen	Aantal
1.	Algemene robotkennis	15
2.	Kunstmatige intelligentie	2
3.	Communicatie met andere apparaten	1
4.	Robots in de toekomst	1
5.	Menselijke arm nabootsen	1
6.	Vision	1
7.	Aanpassingsvermogen en flexibiliteit	1
	Totaal	22

Ideeën

De ideeën van de studenten voor het automatiseren van handelingen zijn ook te verdelen in globale onderwerpen, zie Tabel 16. Per student zijn er meerdere ideeën gegeven, vandaar dat het totale aantal van de onderwerpen 36 is. Een pick en place handeling wordt het vaakst genoemd door de studenten. Elf van de ondervraagde studenten heeft het idee om een pick and place handeling te automatiseren, vier daarvan in combinatie met een productherkenningssysteem. Negen van de elf studenten met het idee voor een pick en place handeling volgen de opleiding Mechatronica, Elektrotechniek of Werktuigbouwkunde.

Er zijn drie studenten met het idee om drinken in te schenken en te verplaatsen. Hierbij is ook een pick en place handeling nodig, namelijk het oppakken en neerzetten van bijvoorbeeld een glas. Daarnaast is een handeling nodig voor het inschenken van drinken. Drie studenten zouden graag een realistisch proces in een fabriek automatiseren. Drie studenten zouden graag een product willen assembleren. En nog drie studenten zouden de robot een spel willen laten spelen. Dit zijn allemaal handelingen die door de robot geautomatiseerd kunnen worden.

Tabel 16: Onderwerpen ideeën

Nr.	Ideeën	Aantal
1.	Pick en place	7
2.	Pick and place met productherkenning	4
3.	Drinken inschenken en verplaatsen	3
4.	Realistisch proces in fabriek	3
5.	Product assembleren	3
6.	Spel spelen	3
7.	Pad volgen	2
8.	Product fabricage	2

9.	Apparaat bedienen	1
10.	Frezen	1
11.	Koken	1
12.	Kunstmatige intelligentie	1
13.	Lassen	1
14.	Opereren	1
16.	Robot lichaamsdeel	1
17.	Werken met andere opleidingen	1
18.	Werken met robot	1
	Totaal	36

Bijlage 5 – Bestaande robotcellen

In deze bijlage worden bestaande robotcellen besproken die op de markt verkrijgbaar zijn. Door verschillende bedrijven zijn robotcellen ontwikkeld die gebruikt worden voor educatieve doeleinden. Deze robotcellen kunnen ook gebruikt worden in een productieproces.

Festo

Festo is een van de bedrijven die een educatieve robotcel heeft ontwikkeld. Het bedrijf heeft meerdere robotcellen ontwikkeld.

Het Robot station met MPS® modules is daar een van, zie Figuur 45. Het is een robotcel met daarin een Mitsubishi robot RV-2FB. De robotcel is gemonteerd op een aluminium plaat met groeven. Op de plaat kunnen verschillende modules bevestigd worden voor bijvoorbeeld het assembleren van een product. De robot in deze robotcel kan een pneumatische cilinder assembleren. Deze robot kan geprogrammeerd worden door bijvoorbeeld studenten. Binnen de robotcel bevinden zich diverse sensoren en actuatoren die respectievelijke uitgelezen en aangestuurd moeten worden. De robotcel is voorzien van zwenkwielen voor het verplaatsen van de robotcel. (Robot station with MPS® modules, 2021)



Figuur 45: Robotcel Festo. (Robot station with MPS® modules, 2021)

Een andere robotcel is de Robot Vision Cell van Festo, zie Figuur 46. De robotcel heeft een visionsysteem. De robotcel kan uitgevoerd worden met twee verschillende robotsystemen, namelijk een Mitsubishi RV-2FB of een KUKA KR5sixx. Verschillende taken kunnen door de robot uitgevoerd worden, zoals palletiseren, producten assembleren of het simuleren van lasbewegingen. De robot is gemonteerd op een aluminium plaat met groeven. Op de plaat kunnen verschillende modules bevestigd worden. De robotcel kan dienen voor verschillende leerdoelen op bijvoorbeeld het gebied van mechanica, sensor technology, vision, veiligheid engineering en robotica. (Robot Vision Cell, 2021)



Figuur 46: Robotcel Festo met vision. (Robot Vision Cell, 2021)

De Robot Vision Cell is een uitbreiding op het robotstation met MPS® modules. Bij beide robotcellen wordt de simulatie- en programmeeromgeving CIROS® geleverd. Hiermee kunnen de taken van de robots geprogrammeerd en gesimuleerd worden. (Industriële robotica, 2021)

KUKA

KUKA heeft een educatieve robotcel ontwikkeld genaamd KUKA ready2_educate, zie Figuur 47. De robotcel is voorzien van een montageplaat met gaten. Op deze plaat is de robot bevestigd. Op deze plaat kan oefenmateriaal bevestigd worden. De robotcel kan aan alle zijden geopend worden, door middel van deuren met veiligheidsschakelingen. De robotcel kan verplaatst worden met een handpalletwagen en past door deuropeningen met minimale afmetingen van 120 x 80 cm. De robotcel is verkrijgbaar in verschillende configuraties: basic, advanced en pro. De robotcel is standaard voorzien van een KR 3 AGILUS Robot of een KR 6 AGILUS Robot en een KR C4 compact sturing. Bij de robot wordt software geleverd voor het programmeren en simuleren van de robot, KUKA.KSS voor het online programmeren van de robot en KUKA.WorkVisual voor het offline configureren en programmeren van de robot. Door extra hardware oefenmateriaal toe te voegen is het mogelijk



Figuur 47: Trainingcel KUKA. (KUKA ready2_educate, 2021)

om de basis cel te upgraden naar de ready2_educate_pro. Met speciale indruk beveiligde stiften en een hot wire spel leren de studenten om te gaan met processen die op lassen lijken. Als de ready2_educate_pro wordt uitgerust met een PLC touchscreen wordt de cel verhoogd naar het ready2_educate_advanced niveau. De ready2_educate_advanced kan ook met een vision systeem uitgerust worden. KUKA levert lesmateriaal bij de robotcel waarmee onderwijs gegeven kan worden op drie verschillende niveaus. De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot is opgevraagd. De robotcel is verkrijgbaar vanaf € 20.000 voor de basis versie. De advanced versie kost € 25.000. (KUKA ready2_educate, 2021)

Lincoln Electric

Lincoln Electric heeft een educatieve lasrobotcel ontwikkeld, zie Figuur 48. De robotcel kan gebruikt worden voor demonstratie-, ontwikkel- en leerdoeleinden voor studenten. De robotcel is mobiel en kan makkelijk verplaats worden met behulp van de zwenkwielen. De robot kan gebruikt worden om de kennis van studenten te vergroten op het gebied van fabricagetechnieken, het programmeren van robots en lastechnieken. (Robotic Welding for Education, 2021)



*Figuur 48: Lincoln Electric.
(Robotic Welding for
Education, 2021)*

Yaskawa

Yaskawa Motoman is een onderdeel van Yaskawa en heeft een educatieve robotcel ontwikkeld, genaamd EduCart, zie Figuur 49. De robotcel is open aan de voor- en zijkanten en bevat een industriële robot met zes assen. Om de robot te laten werken in een veilig werkgebied is de robot aan de voor- en zijkanten omringd met een laser scanner. Aan de achterkant is de robotcel afgeschermd door plexiglas. Het frame bestaat uit aluminium extrusieprofielen. Het heeft inklapbare schermen en een inklapbare tafel, zodat de robotcel ingeklapt door een deur met een breedte van 90 cm past. Met de robotcel kunnen realistische taken uitgevoerd worden. De robotcel heeft een Yaskawa GP8 robot en een YRC1000micro controller. Met een teachpendant kan de robot geprogrammeerd worden en kunnen de in- en uitgangen bediend worden. Een grijper met 3D-geprinte vingers wordt bij de robotcel geleverd. Zwenkwielen zorgen ervoor dat de robotcel verplaatst kan worden. De robot is gemonteerd op een plaat die gemonteerd is aan het frame. Een vervangbare magnetische mat kan op de plaat geplakt worden. Op deze mat kunnen verschillende modules geplakt worden die nodig zijn bij het uitvoeren van bepaalde handelingen door de robot. Bijvoorbeeld palletiseer handelingen of het volgen van een bepaald pad. (Motoman, 2019)



*Figuur 49: Yaskawa EduCart.
(Motoman, 2019)*

ABB

ABB heeft een educatieve robotcel ontwikkeld genaamd ABB's SMART (Software, Maintenance and Robotics Training) Education package, zie Figuur 50. De robotcel bestaat uit een frame met daarin een plaat waarop een IRB 120 robot van ABB is bevestigd. Het werkgebied van de robot is afgeschermd met doorzichtige uitklapbare afscherming met deurtjes. Bij het uitklappen van de afscherming wordt het werkgebied van de robotcel groter. Op de plaat kan lesmateriaal bevestigd worden. Onder de plaat bevindt zich een IRC5 compact controller. De robotcel kan verplaatst worden met behulp van de gemonteerde wielen.

Met behulp van de robotcel leren studenten de gevaren op het gebied van robotica samen met de eisen die gesteld worden op het gebied van gezondheid, veiligheid en onderhoud. Studenten zullen leren om te



*Figuur 50: ABB SMART Education
Package. (Learn with ABB SMART
Education Package, 2021)*

gaan met robots en software die gebruikt worden in de industrie. Bij het werken met de robotcel komen studenten in aanraking met verschillende vakken, zoals Wetenschap, technologie, engineering en wiskunde.

Bij de robotcel worden 50 licenties van RobotStudio geleverd. Ook wordt er een trainingspakket voor leraren bij de robotcel geleverd, zodat leraren de opgedane kennis weer kunnen overdragen aan de studenten. (Learn with ABB SMART Education Package, 2021)

ABB heeft daarnaast een andere educatieve robotcel ontwikkeld, genaamd de ABB Schoolcel, zie Figuur 51. De robotcel is bedoeld om leerlingen in het technisch onderwijs op te leiden voor het vak robotica. Er wordt gefocust op het programmeren van de robot met behulp van RobotStudio. De robotcel bestaat uit een frame van aluminium extrusieprofielen en heeft twee compartimenten, het werkveld van de robot en de plaats voor de controller. Het werkveld is afgeschermd met doorzichtige afscherming met daarin een toegangsdeur. De gebruikte robot is een IRB 1100 van ABB, welke gemonteerd is op een plaat. De robot wordt aangestuurd met een OmniCore C30 controller. De meegeleverde modulaire grijper bestaat uit drie monteerbare componenten, een parallelgrijper, een vacuümzuignap en een afstandssensor. Bij de robot worden verschillende modules geleverd, zoals een stifthouder, een whiteboard, twee rasterborden, pingpong ballen en cilindervormen. Met behulp van deze modules kan de robot bepaalde handelingen uitvoeren. Bij de robot wordt een netwerklicentie geleverd waarmee 100 gebruikers gelijktijdig kunnen werken. Het lesmateriaal bestaat uit drie delen.



Figuur 51: ABB Schoolcel. (ABB, ABB Schoolcel, 2020)

- Algemene theorie in de vorm van een PowerPoint voor het programmeren van de robot.
- Basisoefeningenboek, waarin basisoefeningen stap voor stap uitgelegd worden.
- Uitbreidingsoefeningen bestaande uit oefeningen die met behulp van globale stappen kunnen worden uitgevoerd.

De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot is opgevraagd. De robotcel kost ongeveer € 29.000. (ABB, ABB Schoolcel, 2020)

De hierboven genoemde robotcellen zijn voorbeelden van robotcellen die op de markt verkrijgbaar zijn. De robotcellen hebben veel overeenkomsten. De robotcellen bestaan allemaal uit een frame met daarin een plaat waar de industriële robot op gemonteerd is. Op de plaat kan oefenmateriaal bevestigd worden. De plaat verdeelt de robotcel in twee compartimenten. Het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. In het onderste compartiment bevindt zich de controller. Het bovenste compartiment is vaak afgeschermd met platen en/of deurtjes gemaakt van doorzichtig materiaal. Bij één robotcel is dit niet het geval, daar wordt het werkgebied van de robot grotendeels beveiligd met een laser scanner.

De robotcel die ontworpen en gemaakt gaat worden onderscheidt zich van de bovengenoemde robotcellen, doordat de robotcel opgebouwd kan worden door studenten. Studenten leren zo hoe de robot gemonteerd en aangesloten moet worden, en hoe elektrische componenten aangesloten moeten worden. Dit is bij bovengenoemde robotcellen niet het geval.

Bijlage 6 – Overzicht normen

In deze bijlage wordt een overzicht van normen weergegeven die betrekking hebben op de robotcel, zie Tabel 17.

Tabel 17: Overzicht normen

Normen	Titel
IEC 62061:2005+A1:2012+A2:2015 en;fr	Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems
ISO/TR 22100-1:2021 en	Safety of machinery — Relationship with ISO 12100
NEN-EN 1005-1:2001+A1:2008 en	Safety of machinery - Human physical performance - Part 1: Terms and definitions
NEN-EN 1005-2:2003+A1:2008 en	Safety of machinery - Human physical performance - Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery
NEN-EN 1005-3:2002+A1:2008 en	Safety of machinery - Human physical performance - Part 3: Recommended force limits for machinery operation
NEN-EN 1005-4:2005+A1:2008 en	Safety of machinery - Human physical performance - Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery
NEN-EN 1032:2003+A1:2009 en	Mechanical vibration - Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value
NEN-EN 1299:1997+A1:2009 en	Mechanical vibration and shock - Vibration isolation of machines - Information for the application of source isolation
NEN-EN 1837:2020 en	Veiligheid van machines - Integrale verlichting van machines
NEN-EN 547-1:1997+A1:2008 en	Safety of machinery - Human body measurements - Part 1: Principles for determining the dimensions required for openings for whole body access into machinery
NEN-EN 547-2:1997+A1:2008 en	Safety of machinery - Human body measurements - Part 2: Principles for determining the dimensions required for access openings
NEN-EN 547-3:1997+A1:2008 en	Safety of machinery - Human body measurements - Part 3: Anthropometric data
NEN-EN 614-1:2006+A1:2009 en	Safety of machinery - Ergonomic design principles - Part 1: Terminology and general principles
NEN-EN 614-2:2000+A1:2008 en	Safety of machinery - Ergonomic design principles - Part 2: Interactions between the design of machinery and work tasks

NEN-EN 842:1997+A1:2008 en	Safety of machinery - Visual danger signals - General requirements, design and testing
NEN-EN 981:1997+A1:2008 en	Safety of machinery - System of auditory and visual danger and information signals
NEN-EN-IEC 60204-1:2018 nl	Veiligheid van machines - Elektrische uitrusting van machines - Deel 1: Algemene eisen
NEN-EN-IEC 61310-1:2008 en;fr	Safety of machinery - Indication, marking and actuation - Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals
NEN-EN-IEC 61310-2:2008 en;fr	Safety of machinery - Indication, marking and actuation - Part 2: Requirements for marking
NEN-EN-IEC 61310-3:2008 en;fr	Safety of machinery - Indication, marking and actuation - Part 3: Requirements for the location and operation of actuators
NEN-EN-IEC 62061:2015 nl	Veiligheid van machines - Functionele veiligheid van veiligheidsgerelateerde elektrische, elektronische en programmeerbare elektronische besturingssystemen
NEN-EN-ISO 10218-1:2011 en	Robots and robotic devices - Safety requirements - Part 1: Industrial robots
NEN-EN-ISO 10218-2:2011 en	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration
NEN-EN-ISO 12100:2010 nl	Veiligheid van machines - Algemene ontwerpbeginnselen - Risicobeoordeling en risicoreductie
NEN-EN-ISO 13850:2015 en	Veiligheid van machines - Noodstopfunctie - Ontwerpbeginnselen
NEN-EN-ISO 13854:2019 en	Veiligheid van machines - Minimumafstand ter voorkoming van het bekneld raken van menselijke lichaamsdelen
NEN-EN-ISO 13857:2019 en	Veiligheid van machines - Veiligheidsafstanden ter voorkoming van het bereiken van gevaarlijke zones door bovenste en onderste ledematen
NEN-EN-ISO 14119:2013 en	Safety of machinery - Interlocking devices associated with guards - Principles for design and selection
NEN-EN-ISO 14120:2015 en	Veiligheid van machines - Afschermingen - Algemene eisen voor het ontwerp en de constructie van vaste en beweegbare afschermingen
NEN-EN-ISO 14738:2008 en	Safety of machinery - Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery
NEN-EN-ISO 19353:2019 en	Machineveiligheid - Brandpreventie en -beveiliging
NEN-EN-ISO 9409-1:2004 en	Manipulating industrial robots - Mechanical interfaces - Part 1: Plates

Bijlage 7 – ABB cursus

Van maandag 29 maart 2021 tot en met woensdag 31 maart 2021 heb ik de basiscursus van ABB robots gevolgd in Delft. Deze cursus is eerder ook gevolgd door medewerkers van Bouwtechnics.

Maandag:

Ik heb de cursus gevolgd met drie andere personen. De cursus begon met algemene informatie over ABB robots. Er waren twee robotcellen beschikbaar met IRB 1200 robots van ABB. Na de algemene informatie mochten we met de robot aan de slag. Twee personen per robotcel. Aan de robotkop was een stifthouder gemonteerd, deze is gemaakt door Bouwtechnics. Een stift werd in de stifthouder geplaatst. Met behulp van de joystick op de FlexPendant konden we de robot joggen. We hebben wat figuren getekend op een whiteboard. De punt van de stift was al snel plat, doordat we de stift wat te hard op het whiteboard drukten. Door het joggen kregen we een goed gevoel van hoe de robot beweegt. 's Middags kregen we theorie over de robot. Deze theorie hebben we toegepast op de robot.

Dinsdag:

De dag begon met theorie over met name de TCP, en MoveL en MoveJ basisbewegingsinstructies. De theorie hebben we toegepast op de robot door een TCP voor de stift aan te maken en de massa van de stift en stifthouder te bepalen. We hebben een klein programmatje geschreven op de FlexPendant voor het tekenen van een vierkant en een driehoek. 's Middags kregen we weer wat theorie over de robot, met name over de MoveC instructie. We hebben de theorie op de robot toegepast door een programmatje te schrijven voor het tekenen van een cirkel.

Woensdag:

De dag begon weer met theorie over met name werkobjecten. De theorie hebben we toegepast op de robot door een werkobject aan te maken en het gemaakte programma voor het tekenen van een vierhoek, driehoek en cirkel aan te passen op het werkobject. 's Middags kregen we weer wat theorie, met name over offsets ten opzichte van werkobjecten en tools. De theorie hebben we weer toegepast door een cirkel en vierkant te tekenen vanuit één punt met behulp van offsets.

De cursus was leerzaam. Ik had al wat kennis opgedaan met robots binnen Bouwtechnics. Dus ik wist er het één en ander al van. Door de cursus gevolgd te hebben heb ik de basis van ABB robots goed geleerd.

Bijlage 8 – Grippers

In tabel Tabel 18 zijn verschillende grippers van verschillende leveranciers overzichtelijk weergegeven samen met de prijzen. Bij de grippers is aangegeven wat de slag per grijpvinger is samen met de maximale massa van het te pakken object, de maximale kracht aan de gripper of de maximale grijpkracht.

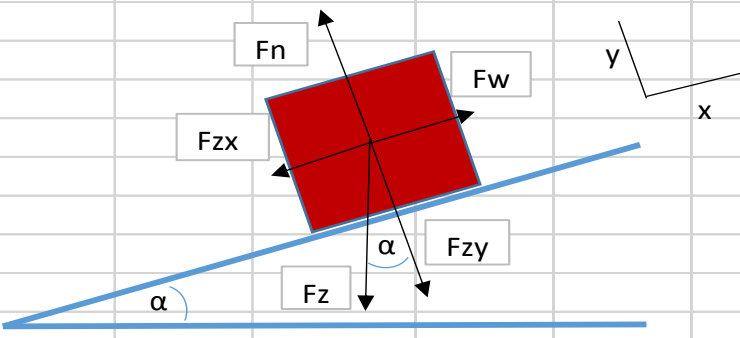
Tabel 18: Overzicht prijzen grippers.

Grippers	Prijs
Festo	
EHPS-16-A (Elektrische parallel gripper) 10 mm slag per grijpklaauw Maximale kracht aan de gripper Fz statisch 200 N	€ 766,07
DHPS-16-A (Pneumatische parallel gripper) 5mm slag per grijpklaauw. Maximale kracht aan de gripper Fz statisch 150 N	€ 321,99
Zimmer	
GEP2010IL-00-B (GEP2010IL-00-A) 10 mm slag per grijpklaauw Maximale grijpkracht 200 N	€1021,-
GEP2010IO-00-B (GEP2010IO-00-A) 10 mm slag per grijpklaauw Maximale grijpkracht 200 N	€956,-
GEP5010IO-00-A (GEP5010N) 10 mm slag per grijpklaauw Maximale grijpkracht 1520 N	€2365,-
GEP5010IL-00-A (GEP5010IL) 10 mm slag per grijpklaauw Maximale Grijpkracht 1520 N	€2434,-
Weiss Robotics	
IEG 55-020 Complete slag 20 mm Massa werkstuk 2,7 kg	€1811
CLG 30-006 Complete slag 6 mm Massa werkstuk 100-200 gram	€1950
GRIPLINK-ET4 (IO-link)	€1190
Schunk (Snelle variant N-S-B)	
EGP 25-N-N-B 3 mm slag per grijpklaauw Massa werkstuk 200 gram	€580
EGP 40-N-N-B 6 mm slag per grijpklaauw Massa werkstuk 700 gram	€630
EGP 50-N-N-B 8 mm slag per grijpklaauw Massa werkstuk 1.05 kg	€740
EGP 64-N-N-B 10 mm slag per grijpklaauw Massa werkstuk 1.25 kg	€890
EGP 64-N-N-IOL (IO-link) 10 mm slag per grijpklaauw Massa werkstuk 1.25 kg	€1220

Bijlage 9 – Berekening hoek aanvoer

In deze bijlage wordt de berekening voor het bepalen van de hoek van de aanvoer weergegeven. Ook wordt de test besproken die uitgevoerd is om de hoek in de praktijk te bepalen.

De Lego Duplo blokjes zijn gemaakt van Acrylnitrilbutadiëenstyreen (ABS). De Wrijvingscoëfficiënt van ABS op staal zonder smering is 0,81. (Acrylnitrilbutadiëenstyreen (ABS), 2021)

Berekening hoek aanvoer				
Variabele	Bron			
μ	0,81 Naeff			
				
Statisch:	$F_{zx} = F_w$ $F_{zy} = F_n$			
	$F_{zx} = F_z * \sin(\alpha) = F_w$			
	$F_{zy} = F_z * \cos(\alpha) = F_n$			
	$F_w = \mu * F_n$			
→	$F_z * \sin(\alpha) = \mu * F_z * \cos(\alpha)$			
→	$\sin(\alpha) = \mu * \cos(\alpha)$			
→	$\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \mu = \tan(\alpha)$			
→	$\alpha = \arctan(\mu) = 39 \text{ graden}$			

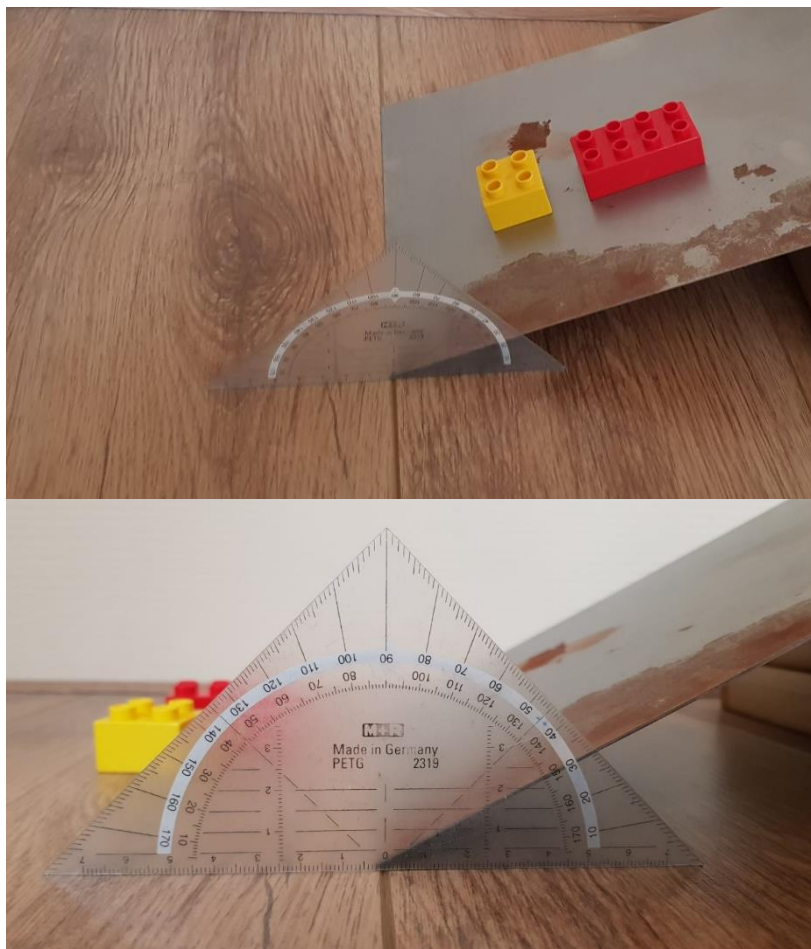
Uit de berekening volgt dat de hoek wanneer de blokjes nog net niet beginnen te bewegen 39 graden is.

Bij de test zijn twee verschillende formaten Lego Duplo blokjes gebruikt. De blokjes zijn op een stalen plaat geplaatst, zie Figuur 52. De helling van de plaat en dus de hoek zijn langzaam vergroot, totdat de blokjes begonnen te bewegen. De test is drie maal uitgevoerd. In Tabel 19 worden de resultaten weergegeven.

Tabel 19: Testresultaten

Test	Hoek
1	29 graden
2	31 graden
3	30 graden
Gemiddelde	30 graden

De gemiddelde hoek is 30 graden. Het verschil met de berekening is 9 graden. Dit is een groot verschil. Het grote verschil komt waarschijnlijk doordat de Lego Duplo blokjes niet alleen van ABS gemaakt zijn en/of er een verschil zit in het gebruikte type staal. De gebruikte wrijvingscoëfficiënt is dan niet juist.



Figuur 52: Testopstelling

Bijlage 10 – Bepaling afscherming bovenkant

In deze bijlage wordt beschreven waarom de robotcel aan de bovenkant moet worden afgeschermd. In Figuur 53 staat een tabel van de norm NEN-EN-ISO 13857:2019. Met behulp van deze tabel kan bepaald worden of de robotcel aan de bovenkant afgeschermd moet worden. In Figuur 54 staat een afbeelding ter verduidelijking van de termen die in de tabel gebruikt worden. Aan de linkerkant van de tabel staat de hoogte van het punt van de gevaarzone welke het dichtst bij het bereik van de arm ligt. Dit komt overeen met de hoogte die de robot maximaal kan bereiken. Dit is ongeveer even hoog als de hoogte van de robotcel. Boven in de tabel staat de hoogte van de afscherming. Dit komt overeen met de hoogte van de robotcel. Dit is 1860 mm. In het midden van de tabel staat de horizontale afstand van het punt van de gevaarzone welke het dichtst bij het bereik van de arm ligt. Dit is ongeveer 300 mm. Door de tabel af te lezen is te zien dat de horizontale afstand ongeveer 600 mm moet zijn, zie de rode markering in Figuur 53. Hierdoor moet de bovenkant van de robotcel afgeschermd worden.

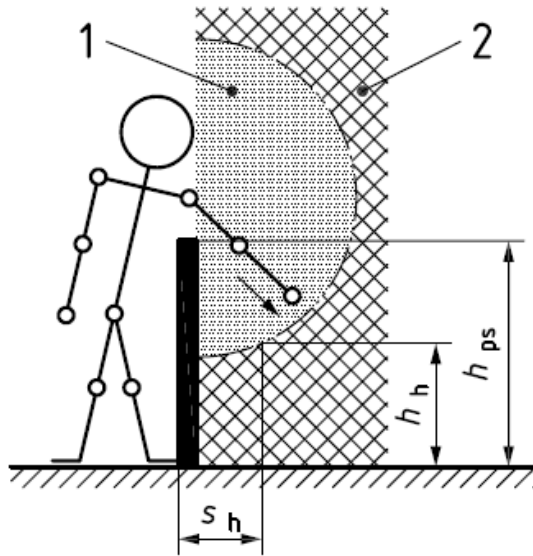
Table 1 — Reaching over protective structures — Only minor injuries along with a low probability of occurrence

Dimensions in millimetres

h_h , height of the point of the hazard zone which is nearest to the area of upper limb reach	h_{ps} , height of protective structure ^a								
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
s_h , horizontal safety distance of the point of the hazard zone which is nearest to the area of upper limb reach									
2 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2 200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2 000	1 100	900	700	600	500	350	0	0	0
1 800	1 100	1 000	900	900	600	0	0	0	0
1 600	1 300	1 000	900	900	500	0	0	0	0
1 400	1 300	1 000	900	800	100	0	0	0	0
1 200	1 400	1 000	900	500	0	0	0	0	0
1 000	1 400	1 000	900	300	0	0	0	0	0
800	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1 200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0

^a Protective structures less than 1 000 mm in height are not included because they do not sufficiently restrict movement of the body.

Figuur 53: Bepaling afscherming bovenkant robotcel. (NEN-EN-ISO 13857, 2019)

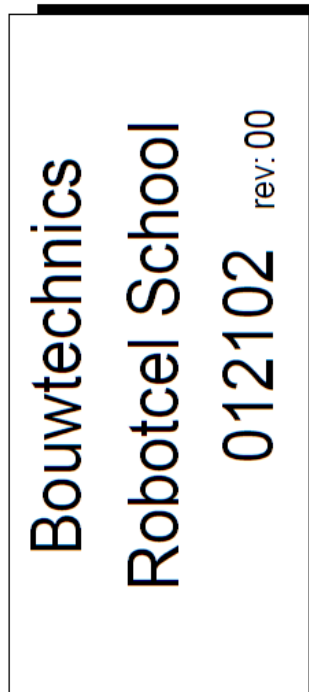


Figuur 54: Bepaling afscherming bovenkant robotcel. (NEN-
 EN-ISO 13857, 2019)

Bijlage 11 – Elektrisch schema

In deze bijlage wordt het elektrisch schema weergegeven die in AutoCAD Electrical is gemaakt.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



	Voorpagina Robotcel School	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 12-5-2021	1
		PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021	
		REV:	GETEKEND: R. Hooftman	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Inhoudsopgave				
Pagina:	Bestandsnaam:	Datum:	Tekenaar:	
1	Voorpagina	12-5-2021	R. Hoogsteen	
2	Inhoudsopgave	14-5-2021	R. Hoogsteen	
15	Project specifieke informatie	14-5-2021	R. Hoogsteen	
45	C01 Montageplanning	14-5-2021	R. Hoogsteen	
50	C01 Hoofdstroom	14-5-2021	R. Hoogsteen	
55	C01 Digital Inputs	14-5-2021	R. Hoogsteen	
60	C01 Digital Inputs(1)	17-5-2021	R. Hoogsteen	
65	C01 Digital Outputs	12-5-2021	R. Hoogsteen	
70	C01 Digital Outputs(1)	12-5-2021	R. Hoogsteen	
100	R01 Controller Overzicht	6-5-2021	R. Hoogsteen	
105	R01 Controller Power	12-5-2021	R. Hoogsteen	
110	R01 Emergency Stop & Auto Stop	7-5-2021	R. Hoogsteen	
115	R01 24V Supply	7-5-2021	R. Hoogsteen	
120	R01 DSQC1030 Digital Inputs	14-5-2021	R. Hoogsteen	
125	R01 DSQC1030 Digital Inputs(1)	14-5-2021	R. Hoogsteen	
130	R01 DSQC1030 Digital Outputs	14-5-2021	R. Hoogsteen	
135	R01 DSQC1030 Digital Outputs(1)	14-5-2021	R. Hoogsteen	
140	R01 Customer Connection	14-5-2021	R. Hoogsteen	
500	Kabellijst	14-5-2021	R. Hoogsteen	
510	Actuallijst	14-5-2021	R. Hoogsteen	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Draadkleuren		
Spanning	Omschrijving	Diameter
Stroom hoofdstroom 400 VAC	Fase L1	Zwart ≥ 1,5 mm²
	Fase L2	Zwart ≥ 1,5 mm²
	Fase L3	Zwart ≥ 1,5 mm²
	Aarde	Blauw ≥ 1,5 mm²
Hoofdstroom 230 VAC	Fase	Zwart ≥ 1,5 mm²
	Aarde	Blauw ≥ 1,5 mm²
Stroom 240 VDC	Plus	Donkerblauw ≥ 0,50 mm²
	Mjn	Donkerblauw/wit ≥ 0,50 mm²
Stroom 230V AC	Fase	Rood ≥ 0,75 mm²
	Common	Rood ≥ 0,75 mm²
Voeding niet afgeschakeld door hoofdschakelaar of scheider PAS OP GEVAAR!!!	Afse	Oranje ≥ 0,75 mm²
	Afse	Oranje ≥ 0,75 mm²
PLC	Afse	Donkerblauw ≥ 0,75 mm²
Noodstopcircuit	Afse	Geel ≥ 0,75 mm²

Afdrukschema volgens NEN-EN 60204-1		
Stroom	Diameter	Diameter
8,6 A	0,75 mm²	25 mm²
10,3 A	1 mm²	35 mm²
13,5 A	1,5 mm²	50 mm²
16,3 A	2,5 mm²	70 mm²
25 A	4 mm²	95 mm²
34 A	6 mm²	120 mm²
59 A	16 mm²	

Norm	
EN 60204-1	

Componentcode	Klemmenstrookcodering
Groep	
ALG = Projectspecifieke informatie K# = Motor besturingspaneel P# = Procs besturingspaneel R/O = Remote I/O paneel OP = Bedieningspaneel	
B = Sensor C = Condensator A = PLC E = Verwarmingselement F = Zekering G = Voedingseenheid H = Lamp/Melddysteem K = Relais M = Motor P = Meetinstrument Q = Motorbeveiligingschakelaar R = Weerstand S = Schakelaar / knop U = Omvormer W = kabel X = Klemmenstrook Y = klep Z = Filter	
Voorbeeld	Voorbeeld
=ALG01-2066 pad component pagina +plaats +groep	=ALG01-X001 KlemNr KlemNr +plaats +groep

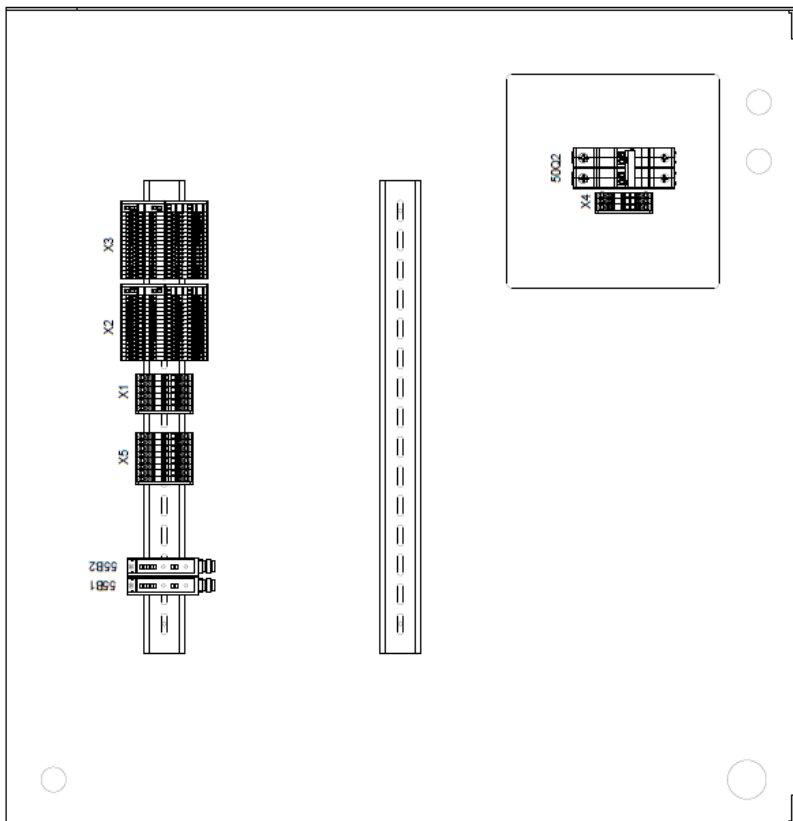
Kleur aanduidingen		
Afhorting	Omschrijving	Afhorting
BK	Zwart	Blauw
BN	Bruin	Violet
RD	Rood	Geel
OG	Oranje	Wit
YE	Geel	Roze
GN	Groen	

Componentcode	
Fabriekst	Coderen op
Brady	Component
Resopal	Montageplaat
50Q2	
pad	
Kernleer	
pagina	

Ademnummer	
Fabriekst	Geen
Phoenix	Volgnummering
Legrand	13
Parcex	VerbindingsNr
50Q2-13	VerbindingsNr
Componentcode	

Kabelcodering	
Fabriekst	Geen
Brady	Volgnummering
Legrand	
Phoenix	
-NCC-01-51W1	Pad
	Component
	pagina
	Plaats
	Groep

Bouw technics	Project specifieke informatie		15
	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWUZ: 14-5-2021	
	PROJECT NR: 012102	PLATDATTM: 20-5-2021	
	REV: R. Hoogstraen	GETEKEND: R. Hoogstraen	---

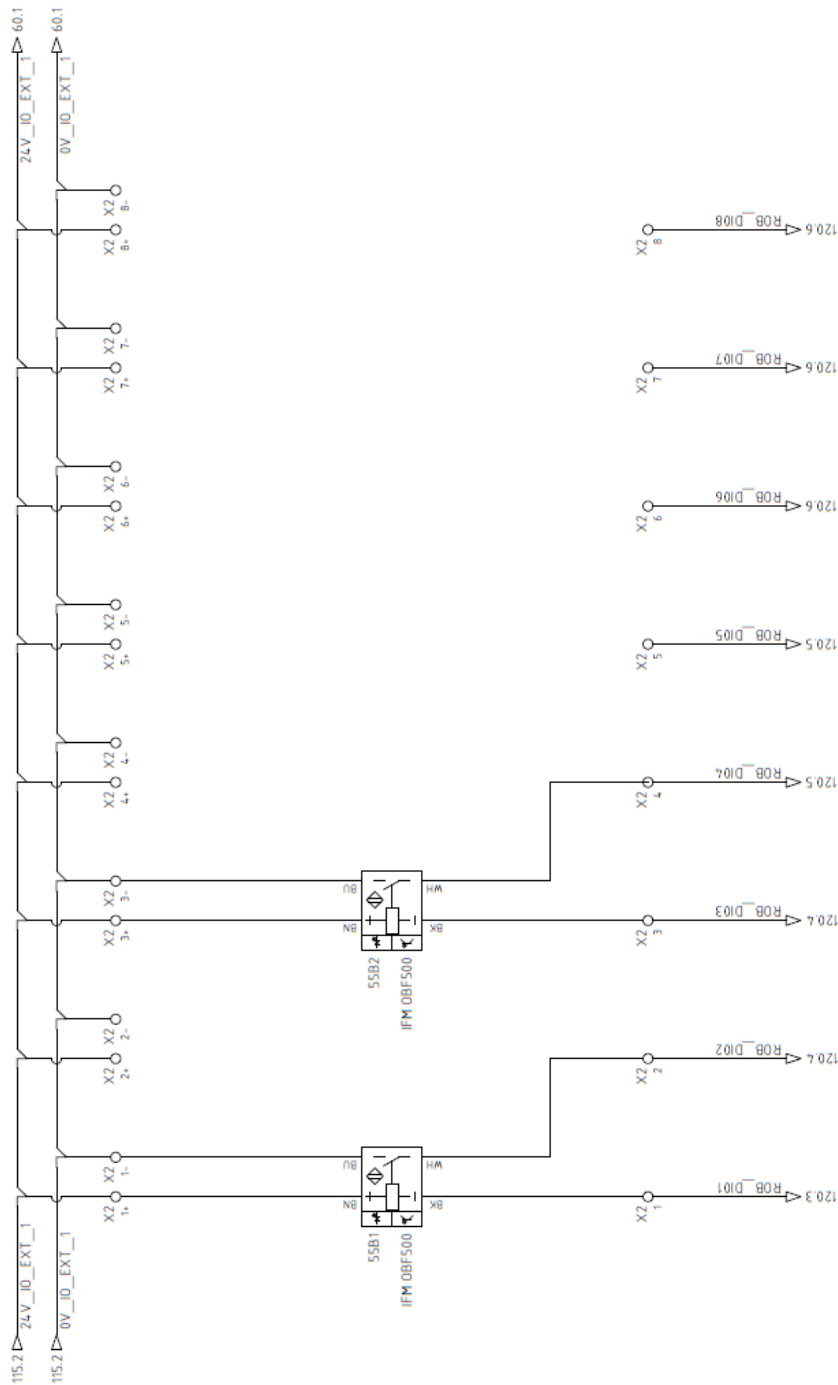
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
											
		C01 Montageplaatindeling Robotcel School					OPDRACHTGEV:	Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ:	14-5-2021	45
							PROJECT NR:	012102	PLOTDATUM:	20-5-2021	
							REV:		GETEKEND:	R. Hoogsteen	CAB

[illegible]

Aansluiting: 230VAC 50HZ 16A

	C01 Hoofdstream		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	50
	Robotcel School			PLOTDATUM: 20-5-2021	
				PROJECT NR: 012102	
				REV:	GETEKEND: R. Hoogstraen

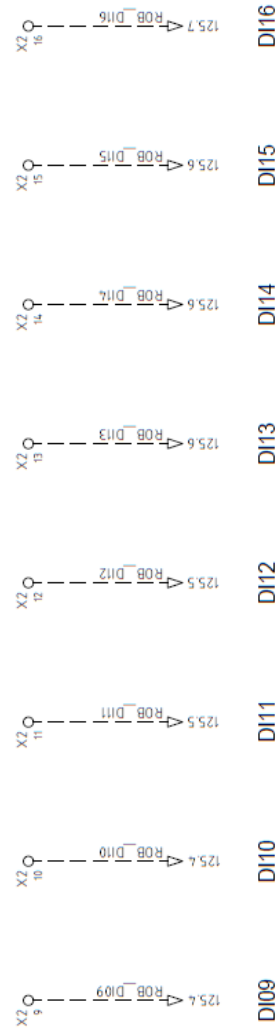
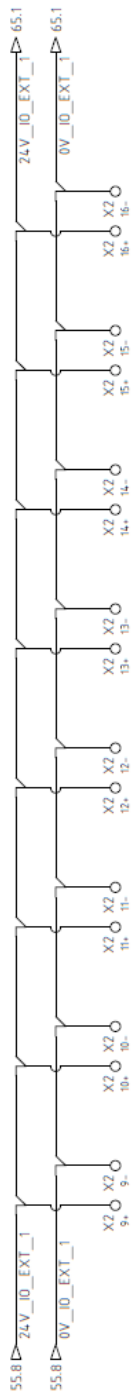
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Out sensor 1 FC sensor 1 Out sensor 2 FC sensor 2 DI05 DI06 DI07 DI08

Bouwtechnics	C01 Digital Inputs Robotcel School	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	55	
		PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021		
		REV:	GETEKEND: R. Hoogstraen	CAB	C01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



	C01 Digital Inputs(1) Robotcel School		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	60
			PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021	
			REV:	GETEKEND: R. Hooftaen	CAB C01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Gripper Open Gripper Close

D008

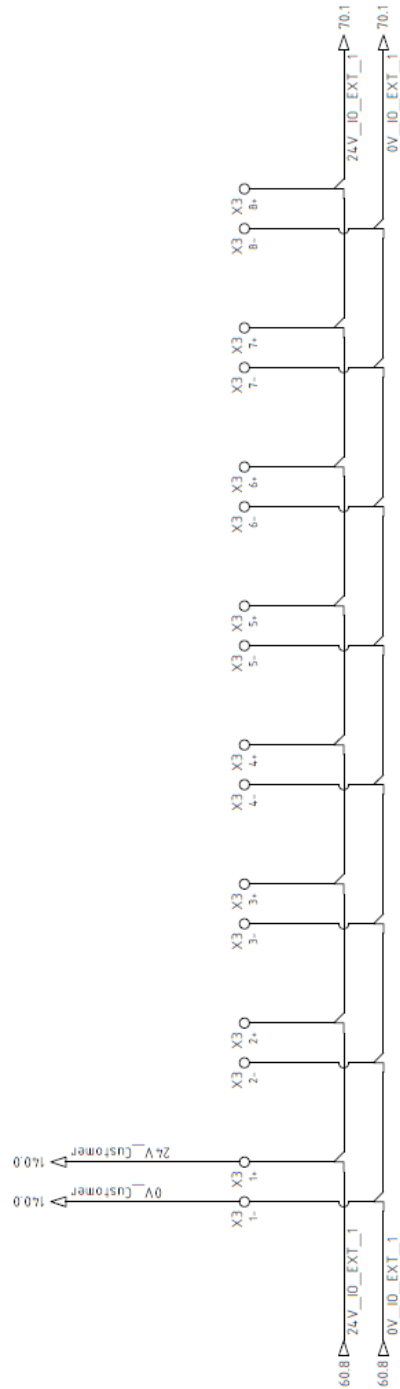
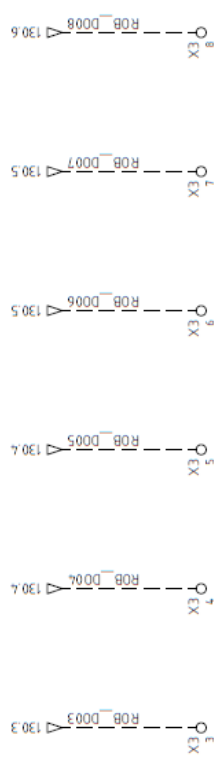
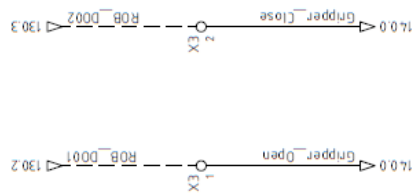
D007

D006

D005

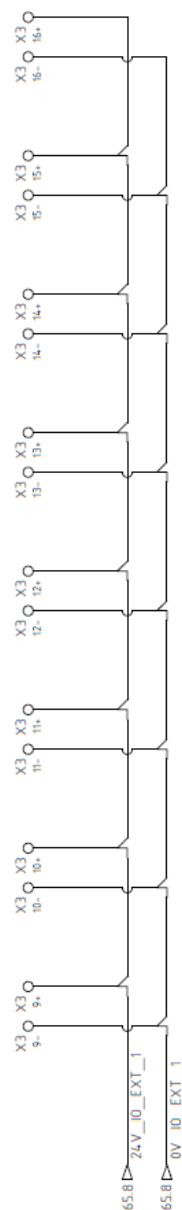
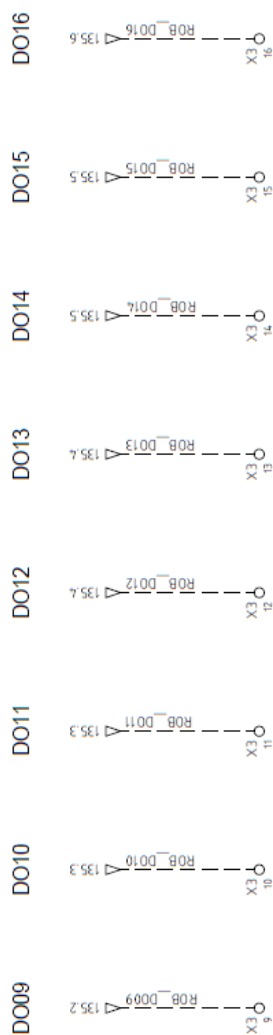
D004

D003



	C01 Digital Outputs Robotcel School		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	65	
			PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021		
			REV:	GETEKEND: R.Hogeleen	CAB	C01

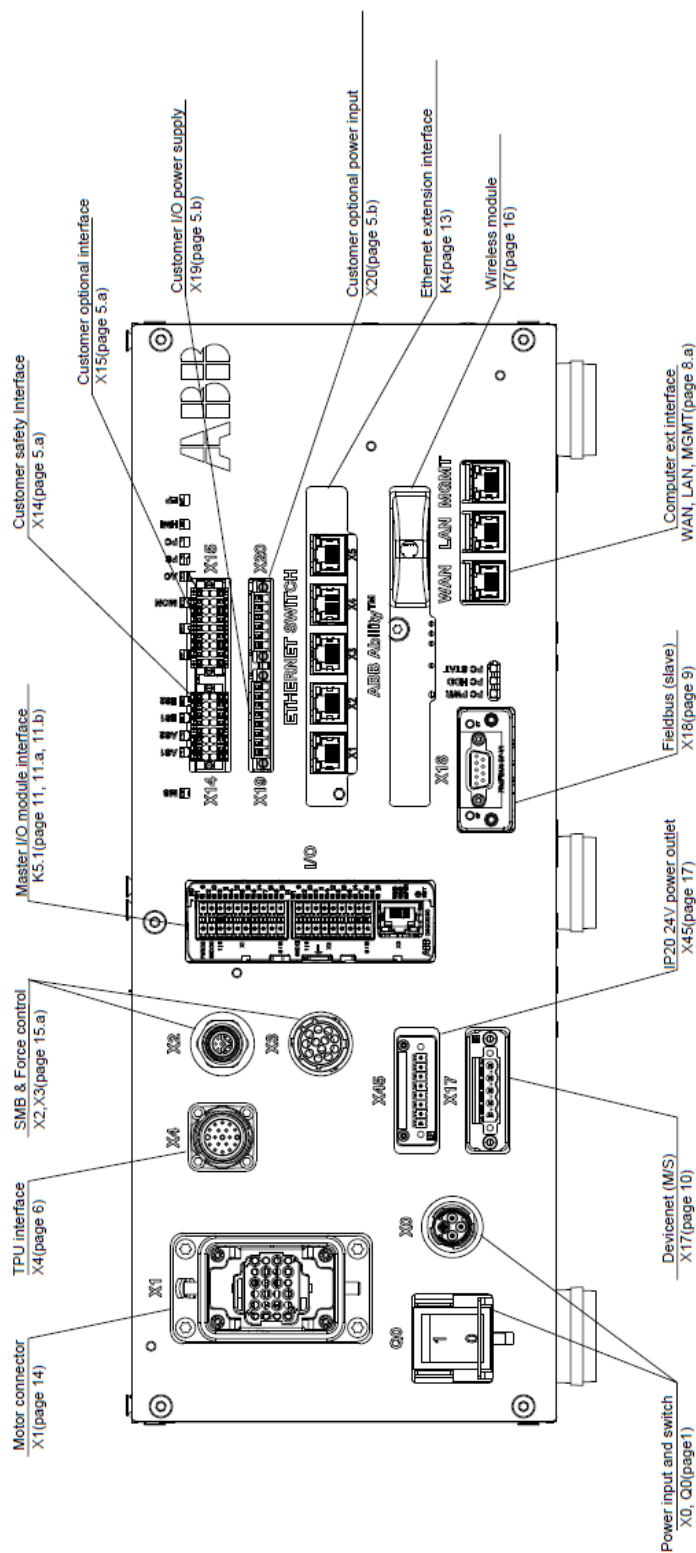
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Bou technics	C01 Digital Outputs(1) Robotcel School		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	70
			PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021	
			REV:	GETEKEND: R. Hoogsteen	CAB C01

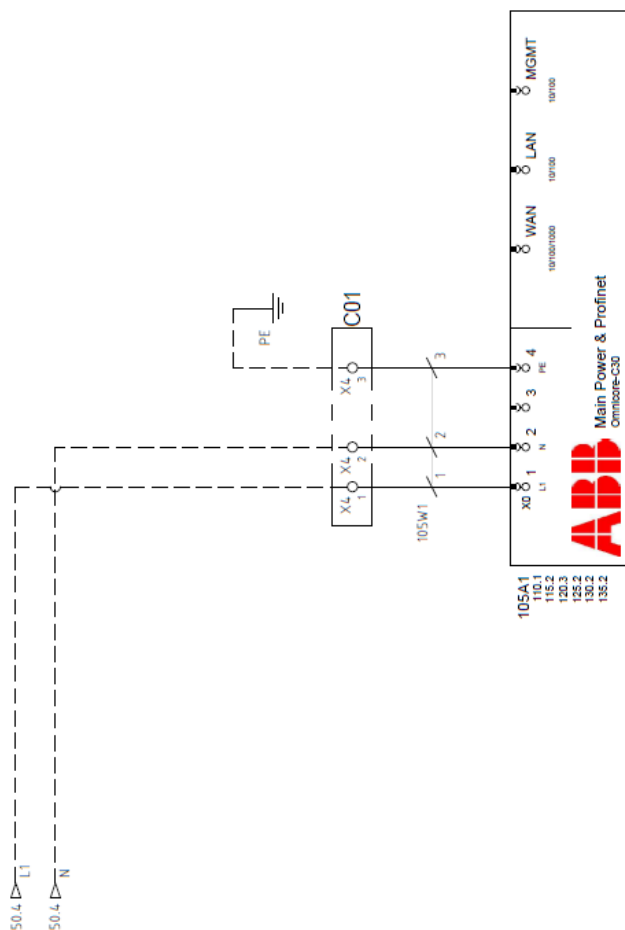
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

105A1 Omnicores C30



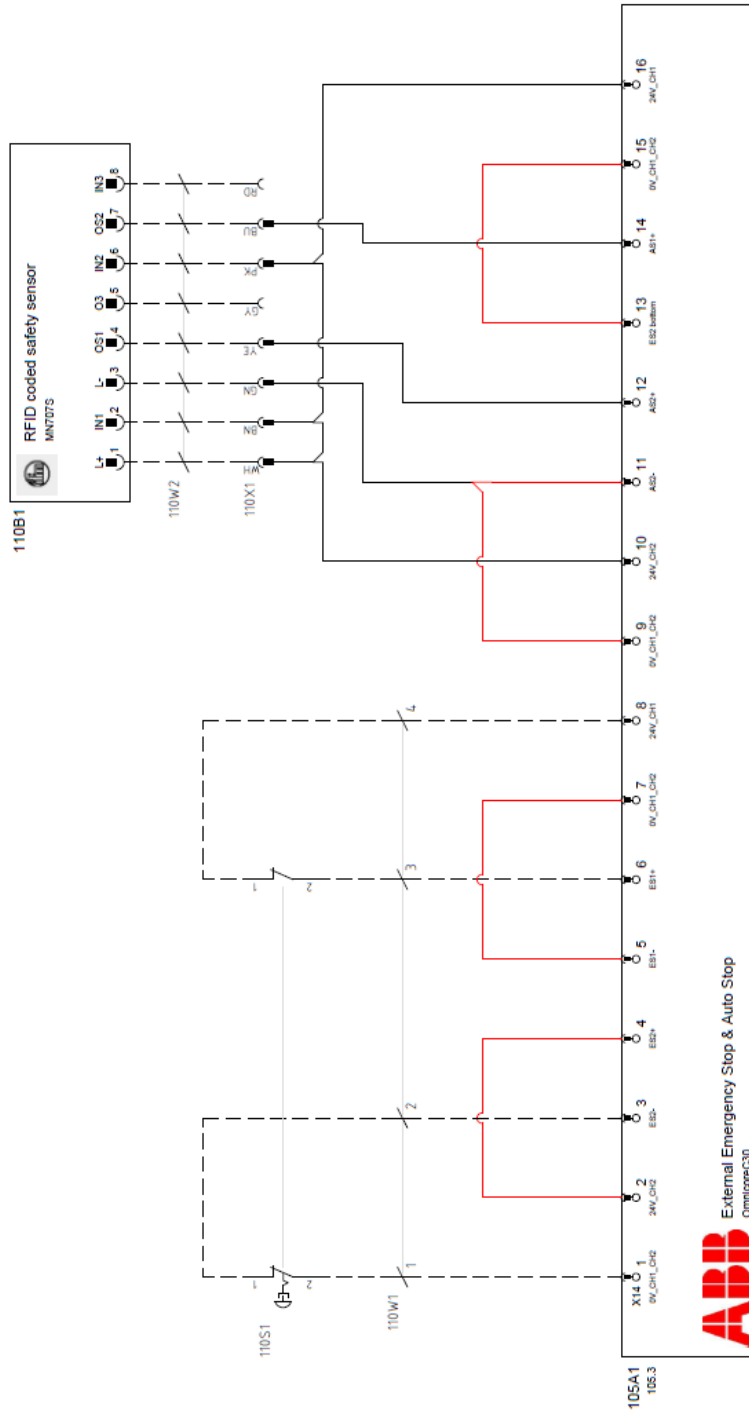
Bouw technics	R01 Controller Overzicht Robotcel School		100	
			LAATST GEWIJZ: 6-5-2021	
			PLOTDATUM: 20-5-2021	
		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics		
		PROJECT NR: 012102		
		REV:	GETEREND: R. Hooftaen	
			ROB	R01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



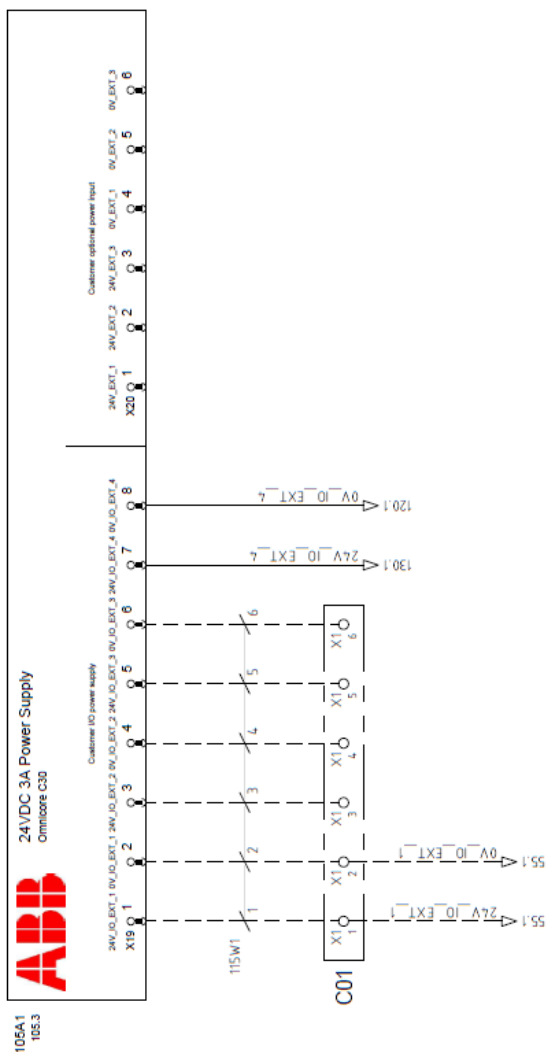
	R01 Controller Power Robotcel School		OPDRACHTGEV:	Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ:	20-5-2021	105	
			PROJECT NR:	012102	PLOTDATUM:	20-5-2021		
			REV:		GETEKEND:	R. Hoogsteen	ROB	R01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

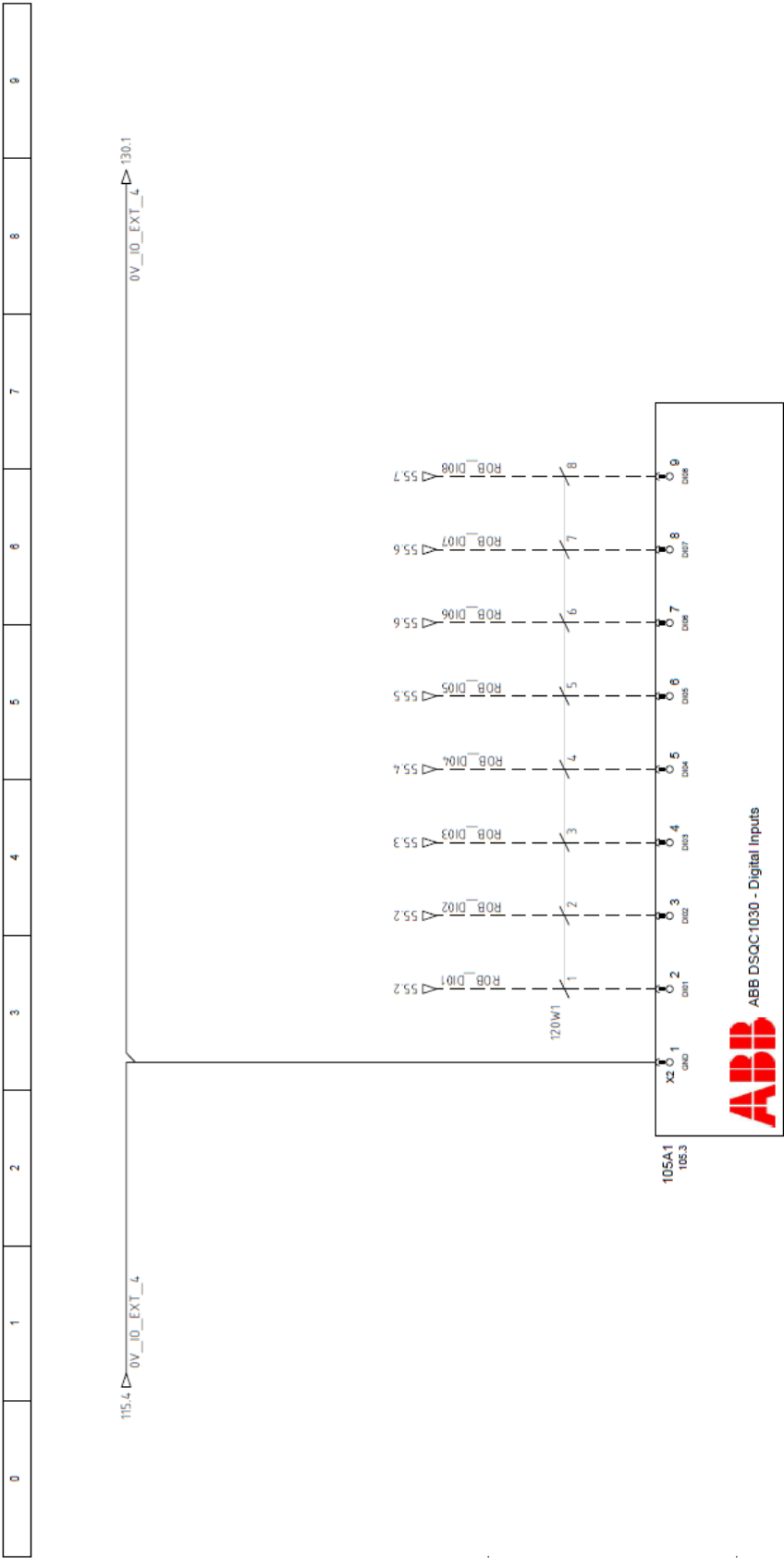


Bou technics	R01 Emergency Stop & Auto Stop Robotcel School	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 7-5-2021	110
		PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021	
		REV:	GETEKEND: R.Hoogsteen	R01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

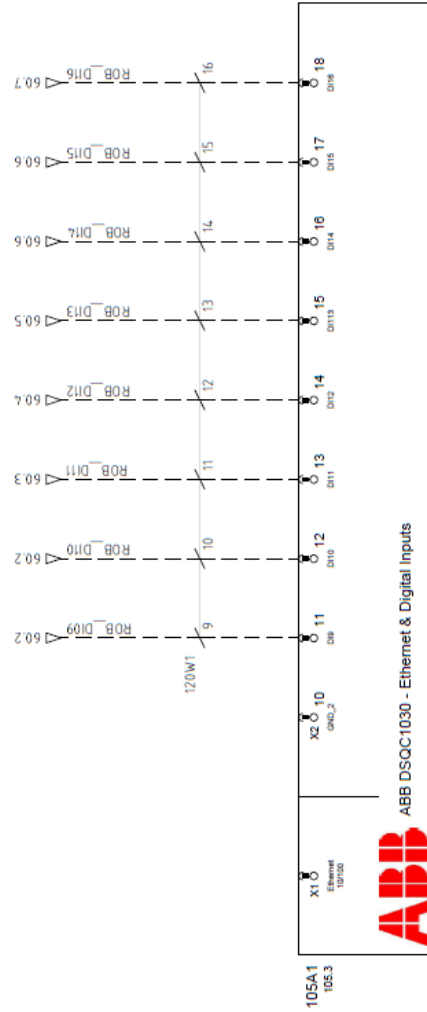


	R01 24V Supply Robotcel School	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics PROJECT NR: 012102 REV:	LAATST GEWILZ: 20-5-2021	115	
			PLOTDATUM: 20-5-2021		
			ROB R01		



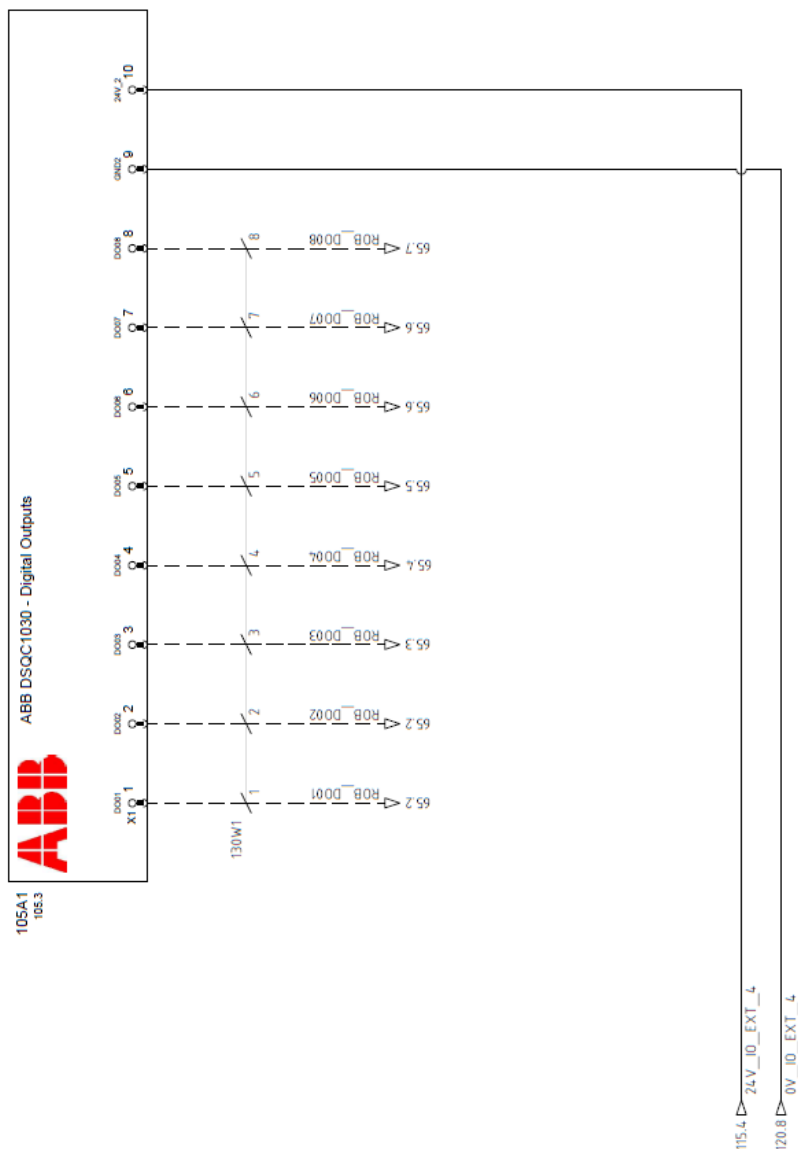
	R01 DSQC1030 Digital Inputs Robotcel School	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	120	
		PROJECT NR: 012102	PLOTDATUM: 20-5-2021		
		REV:	GETEKEND: R. Hoogstraen	ROB	R01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



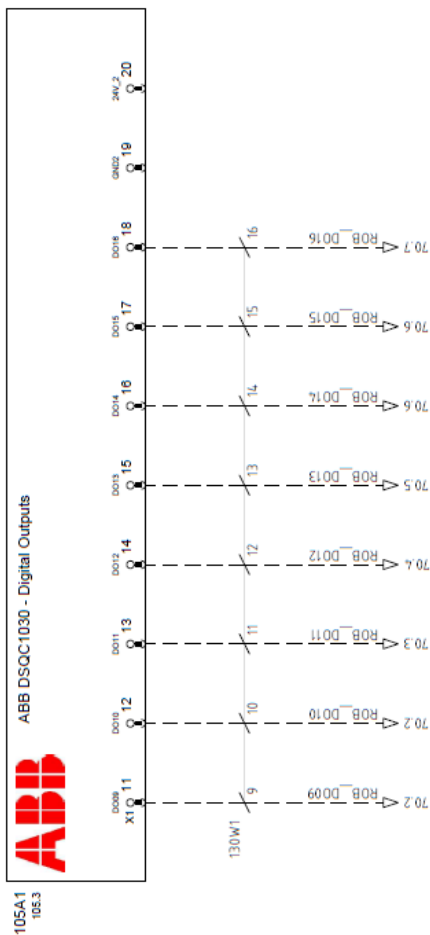
	R01 DSQC1030 Digital Inputs(1)				125	
	Robotcel School					
	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics		LAATST GEWIJZ: 20-5-2021			
	PROJECT NR: 012102		PLOTDATUM: 20-5-2021			
	REV:		GETEKEND: R. Hoogsteen		ROB	R01

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

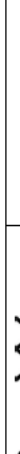


	R01 DSQC1030 Digital Outputs		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021	130
	Robotcel School			PLOTDATUM: 20-5-2021	
				PROJECT NR: 012102	GETEKEND: R. Hoogsteeen

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



	R01 DSQC1030 Digital Outputs(1)		OPDRACHTGEV: Bouwtechnics	LAATST GEWIJZ: 20-5-2021		135
	Robotcel School			PLOTDATUM: 20-5-2021		
				PROJECT NR: 012102	GETEKEND: R. Hoogsteden	

	R01 Customer Connection Robotcel School	OPDRACHTGEBEV:	LAATST GEWIJZ:	20-5-2021	140	
		PROJECT NR:	PLUDDATUM:	20-5-2021		
		REG:	GETEKEND:	R. Hoogsteen	FIELD	----

[illegible]

	Kabellijst Robotcel School	OPDRACHTGEV:	Bouwschmics	LAATST GEWIJZ:	14-5-2021	500	
		PROJECT NR:	012102	PLOTDATUM:	20-5-2021		
		REV:	00	GETEKEND:	R. Hoogstraaten	GEN	----

[illegible]

	Artikellijst Robotcel School	OPDRACHTGEV: Bouwtechnics		LAATST GEWIJZ: 14-5-2021	510
		PROJECT NR: 012102		PLOTDATUM: 20-5-2021	
		REV: 00		GETEKEND: R. Hoogsteen	GEN

Bijlage 12 – Reserve onderdelen

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van onderdelen die kapot zouden kunnen gaan. De onderdelen zijn weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20: Reserve onderdelen

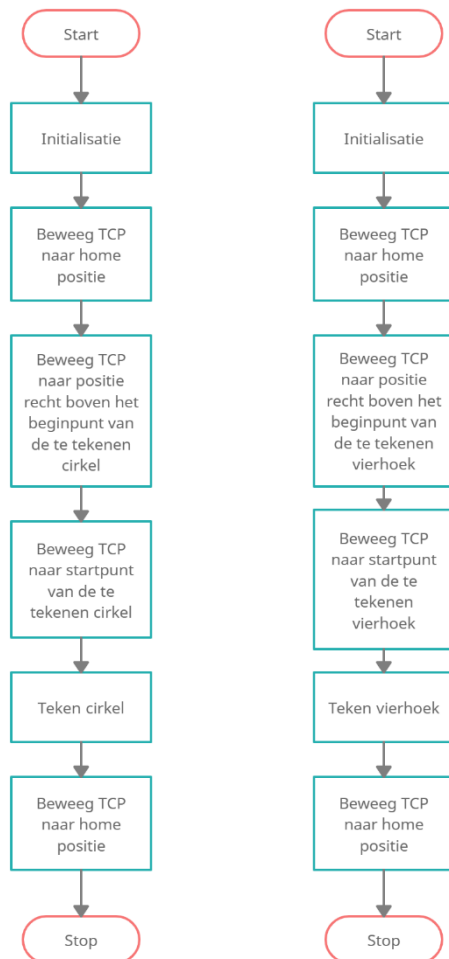
Onderdelen	Prijzen per stuk
Stift	€3
Gefreesde stifthouder	€120
Gefreesde grijpervingers	€120
Gefreesde grijper bevestiging	€120
Lichtsensoren (fiber)	€55
Lichtsensoren versterker	€110
Sensorhouder	€15
Schunk grijper EGP 40-N-N-B	€ 630

Bijlage 13 – Flowcharts

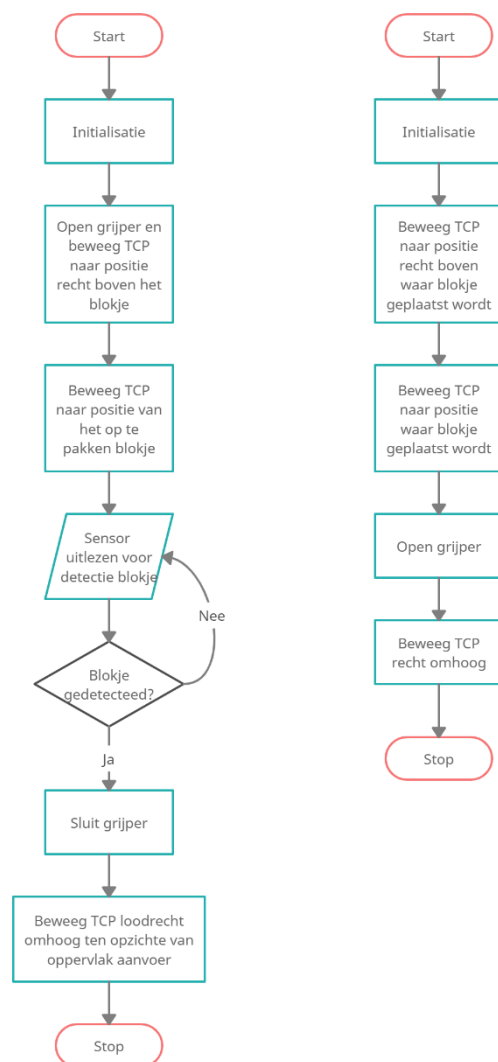
In onderstaande figuren worden de flowcharts weergegeven die gebruikt worden bij het schrijven van de software voor het testen van de robotcel.

In Figuur 56 zijn de flowcharts weergegeven voor het tekenen van een cirkel en een rechthoek. De home positie is de rustpositie van de robot. De instructies teken cirkel en teken vierkant bestaan uit de Move instructies voor het tekenen van respectievelijk een cirkel en een vierkant.

In Figuur 55 zijn de flowcharts voor het oppakken en plaatsen van een blokje weergegeven. Bij het oppakken van een blokje beweegt de grijper naar een punt boven de oppakplaats. De grijper wordt geopend terwijl de grijper naar de oppakplaats beweegt. Vervolgens wordt door een sensor gedetecteerd of er een blokje aanwezig is op de oppakplaats in de aanvoer. Als dat zo is wordt het blokje opgepakt door eerst de grijper te sluiten en vervolgens de grijper loodrecht omhoog te bewegen ten opzichte van aanvoer. Bij het plaatsen van een blokje wordt op de plaats waar het blokje geplaatst moet worden de grijper geopend, zodat het blokje geplaatst wordt. Vervolgens beweegt de grijper loodrecht omhoog.



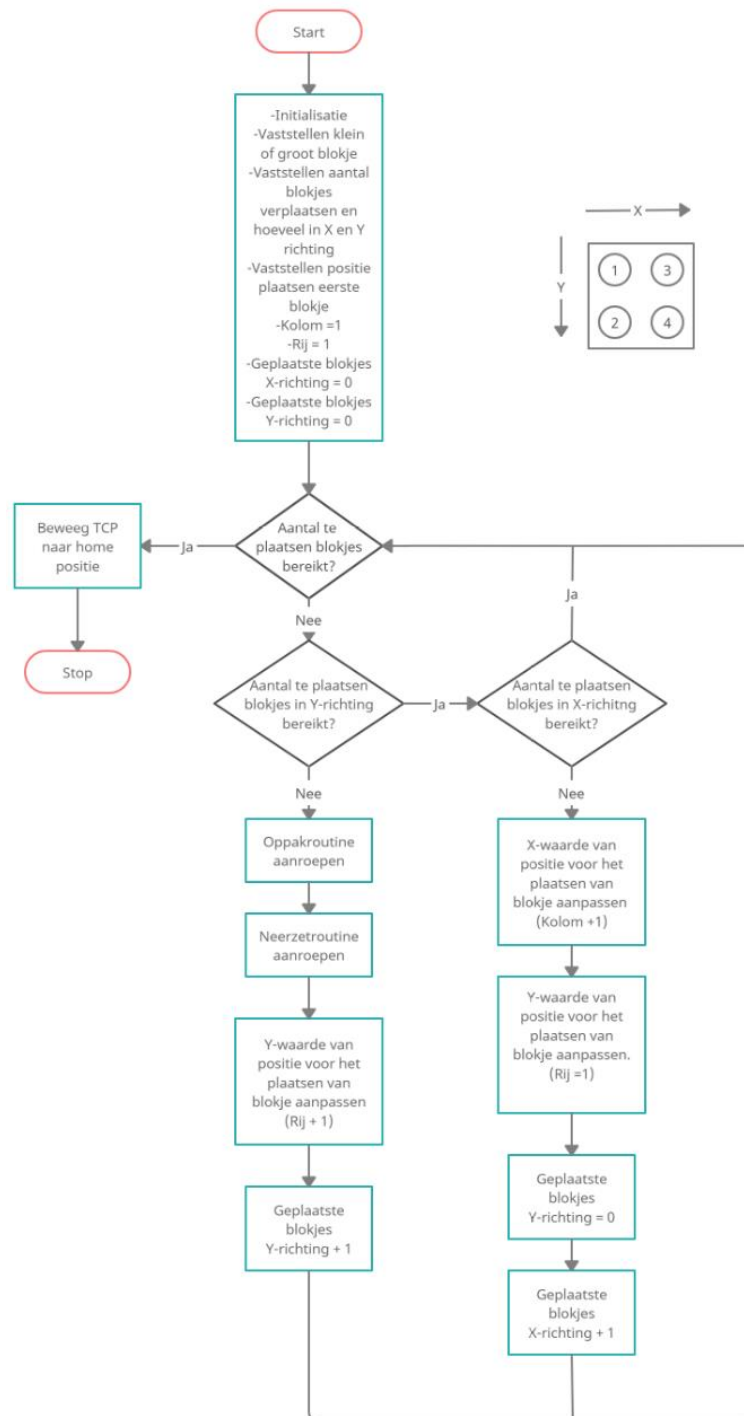
Figuur 56: Flowcharts voor het tekenen van een cirkel (links) en een vierhoek (rechts)



Figuur 55: Flowcharts van de routines voor het oppakken (links) en plaatsen (rechts) van een blokje.

In Figuur 57 is de flowchart voor het palletiseren van een blokje weergegeven. De routines in Figuur 55 worden in deze flowchart aangeroepen. Rechtsoven in Figuur 57 wordt een voorbeeld gegeven voor het palletiseren van vier blokjes.

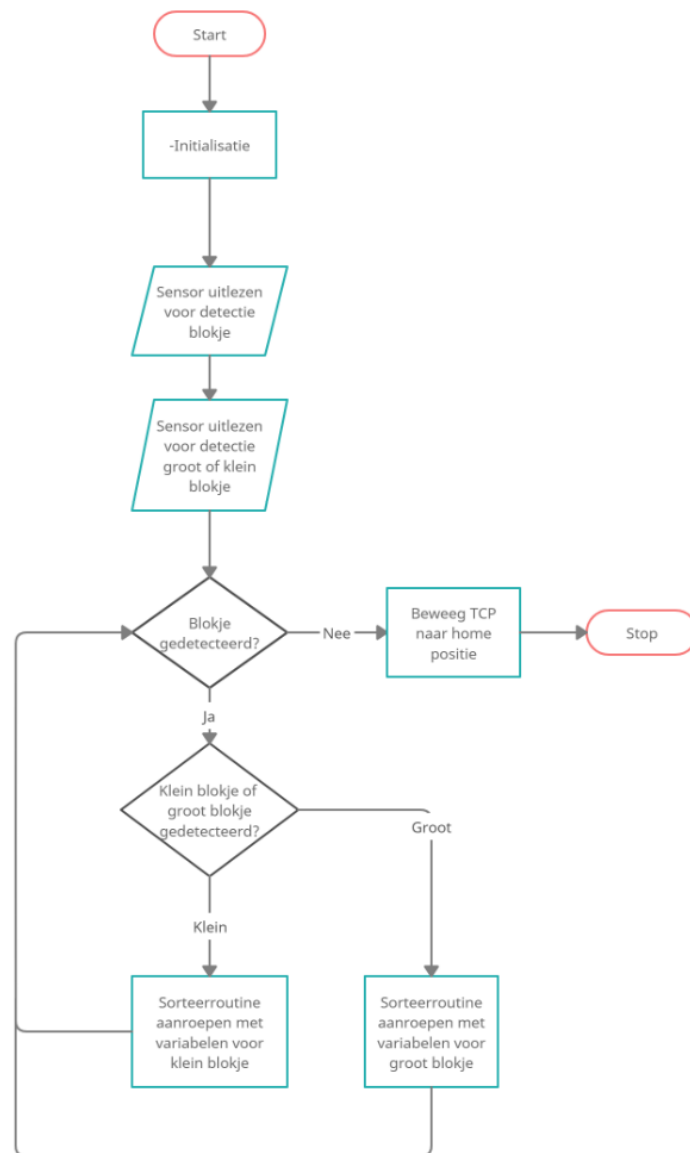
Voor het palletiseerprogramma wordt eerst bepaald hoeveel blokjes verplaats moeten worden, in dit geval vier, en hoeveel in de X-richting en hoeveel in de Y-richting, in dit geval in beide richtingen twee. Ook wordt bepaald of er een groot of klein blokje gepalletiseerd moet worden. Het eerste blokje wordt geplaatst op positie 1, zie rechtsboven in Figuur 57. Dit is rij 1 en kolom 1. Het tweede blokje wordt op positie 2 geplaatst. Dit is rij 2 en kolom 1. Het aantal blokjes dat in de Y-richting moet worden geplaatst is bereikt, namelijk twee. De eerste kolom is gevuld. De volgende twee blokjes worden geplaatst in kolom twee. Het derde blokje wordt op positie 3 geplaatst. Dit is rij 1 en kolom 2. Het vierde blokje wordt op positie 4 geplaatst. Dit is rij 2 en kolom 2. Het aantal blokjes dat in de Y-richting moet worden geplaatst is weer bereikt. Ook is het aantal blokjes dat in de X-richting moet worden geplaatst bereikt, namelijk twee. Er zijn vier blokjes geplaatst. Het aantal te plaatsen blokjes is dus ook bereikt. Dit zorgt ervoor dat het TCP naar de home positie beweegt en het programma stopt.



Figuur 57: Flowchart van de routine voor het palletiseren van een blokje.

In Figuur 58 is de flowchart voor het sorteren van twee groottes blokjes weergegeven. Zoals vastgesteld worden vierkante (kleine) en rechthoekige (grote) Lego Duplo blokjes gesorteerd. Voor het sorteren van de twee groottes blokjes wordt een sensor gebruikt. De palletiseerroutine in Figuur 57 wordt in deze flowchart aangeroepen.

Eerst wordt de sensor uitgelezen die gebruikt wordt voor het detecteren van een blokje bij de oppakplaats van de aanvoer. Als er een blokje wordt gedetecteerd wordt de sensor uitgelezen die gebruikt wordt voor het detecteren van een groot of een klein blokje bij de oppakplaats. Als er een klein blokje wordt gedetecteerd worden de variabelen die horen bij het kleine blokje aangeroepen en wordt de palletiseerroutine aangeroepen. Als er een groot blokje wordt gedetecteerd worden de variabelen voor het grote blokje aangeroepen en wordt de palletiseerroutine aangeroepen. Dit gaat door totdat het aantal te plaatsen blokjes is bereikt of totdat er geen blokjes meer bij de oppakplaats liggen.



Figuur 58: Flowchart van de routine voor het sorteren van twee verschillende formaten blokjes.

Bijlage 14 – Controle formele eisen

In deze bijlage wordt gecontroleerd of aan de formele eisen is voldaan. In Tabel 21 zijn de formele eisen weergegeven met daarachter de status en een toelichting.

Tabel 21: Controle formele eisen.

Nr.	Formele eisen	Status	Toelichting
1.	De robotcel moet veilig zijn om mee te werken en moet voldoen aan de CE-markering.	-	Dit kan nog niet vastgesteld worden. De robotcel is ontworpen met inachtneming van de machinerichtlijn en bijhorende normen.
2.	Het frame van de robotcel moet opgebouwd kunnen worden door een groepje studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot.	-	Dit kan nog niet getest worden.
3.	Bij de robotcel wordt een basistekening en een elektrisch schema geleverd als instructie voor het opbouwen van de robotcel.	Voldoet	Een paar afbeeldingen van het ontwerp in Inventor worden gebruikt als basistekening. Het elektrisch schema van paragraaf 3.6 Deelvraag 6 wordt gebruikt.
4.	Bij de robotcel moet een basis lespakket geleverd worden bestaande uit een paar tutorials waarin wordt aangegeven wat de robot moet doen en wat studenten moeten programmeren.	Voldoet	In paragraaf 3.7 Deelvraag 7 wordt beschreven hoe het lespakket eruit komt te zien.
5.	De robotcel moet een deurpost met een deru van 930 mm breedte kunnen passeren.	Voldoet	De hoogte is 1862 mm en de breedte is 891 mm.
6.	De robotcel moet verplaatst kunnen worden.	Voldoet	Zoals beschreven in paragraaf 3.9 Ontwerp Inventor wordt de robotcel verplaatst door middel van zwenkwielen met een stelvoet.
7.	De robotcel moet gevoed worden met 230 Volt wisselspanning.	Voldoet	De robotcel kan aangesloten worden op 230 VAC. De controller wordt gevoed via een aardlekautomaat.
8.	De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot moet lager zijn dan €25.000.	Voldoet	De verkoopprijs inclusief robot is €24.000, zie <i>Bijlage 15 – Calculatie</i> . Dit is lager dan €25.000.
9.	De robot in de robotcel moet een pick en place taak uitvoeren.	Voldoet	Zoals beschreven in paragraaf 3.1 Deelvraag 1 en 3.7 Deelvraag 7 wordt een pick en place taak uitgevoerd.
10.	De robotcel bestaat uit een vast frame en bevat een plaat waar de robot op gemonteerd is en waar modules op bevestigd kunnen worden. Met behulp van de modules kan door de robot een taak uitgevoerd worden.	Voldoet	In paragraaf 3.9 Ontwerp Inventor wordt beschreven uit welke onderdelen de robotcel is opgebouwd.
11.	De programma's moeten offline geprogrammeerd kunnen worden met Robotstudio voordat aan de slag wordt gegaan met de robot, zodat studenten in kleine groepjes kunnen werken met de robotcel om hun programma te testen.	Voldoet	In paragraaf 2.5 Onderzoek wordt beschreven dat de robot van te voren offline geprogrammeerd kan worden met RobotStudio.

Bijlage 15 – Calculatie

Project - KOSTPRIJS BEREKENINGS BLAD	
nummer/klant	datum/omschrijving
012102_Robotcel_school	12-4-2021
Mechanisch	
basis uitrusting	
Sheet Metal Parts Kokers	
Sheet Metal Parts Modules	
Sheet Metal Parts Montageplaat	
Sheet Metal Parts Overig	
Plexiglas opaalwit 6 mm (200x80 cm)	
Plexiglas opaalwit 6 mm (150x80 cm)	
Plexiglas doorzichtig 6 mm (200x100 cm)	
Plexiglas doorzichtig 6 mm (150x100 cm)	
Plexiglas zwart 6 mm	
Aluminium U-profiel 10x10x10mm 2mm dik L=3m	
	2.500
specifieke uitrusting	
IRB 1100	
Schunk EGP 40-N-N-B grijper + verzendkosten	
Frezen adapterplaten grijper en grijpervingers	
Lasersnijden plexiglas platen	
Lassen hoekprofielen	
Lassen plaatwerk	
Tapwerk	
26 maal zeshoekige busjes draaien/frezen	
Poedercoaten en elektrolytisch verzinken	
	16.500
Koopdelen div	
Stelvoet M12 met zwenkwiel, 500kg	
K1500, Spandoorn staal met excenterhefboom (K1500.1001)	
Aandrukdraaigrendels met variabele aantrekweg (K0528.4313201)	
Scharnieren RVS (K1084.063018181)	
Deurmagneet (K1295.28401)	
JMV 200705 DIN-rail	
Ringmagneet 12x5 met boring van 6 mm vernikkeld N35	
Handgreep Pa/Gf 163 X 8,5 - 132 Zwart (Beschikbaar binnen BT)	
Bevestigingsmateriaal (Boutjes, moertjes, ringetjes, popnagels)	
Isolatiemanchet Type II/M Kunststof Polyamide (nylon) 6.6 M8X6 100st.	
	1.000
Electrisch	
specifieke uitrusting	
Aansluitkabel met connector female EVT134, L=2m PVC M8 connector	
RFID-gecodeerde veiligheidssensoren MN707S	
Fiberoptiek-versterker OBF500	
Fibers als tasteruitvoering E20645	
Snijmes voor fibers E20600	
Aansluitkabel met connector female EVC601 voor connectie OBF500, L=0,7m M12 connector	
Aansluitkabel met connector female E12166 voor connectie MN707S, L=5m M12 connector	
Ring noodstop EATON INDUSTRIES M22-XAK4	
EATON INDUSTRIES T 1 Lastscheider 093451	
Noodstop 1SFA619500R1051	
ABB System pro M compact DS Aardlekautomaat 2CSR255180R1105	
Spelsberg RK RK 4/18 Opbouwdoos wand/plafond 61691201	
Hummel HSK-K wartel M20 lichtgrijs 6/12MM kunststof - 1209200050	
Klemmen en draden	
	1.500
UREN BEREKENING (EXCL FABRIKAGE UREN)	
Montage	
Montage Mechanisch	
Montage Electrisch	
	2.500
PROJECT TOTAAL €	24.000

Bijlage 16 – RAPID code

In deze bijlage word de RAPID code weergegeven. De software is verdeeld in modules en routines. De tekst in het groen is commentaar om de werking van het programma te verduidelijken.

```
MODULE CalibData
  PERS tooldata TCP_Grijper:=[TRUE,[[0,0,136],[1,0,0,0]],[0.5,[-13,-9.619,73.257],[1,0,0,0],0,0,0]];
  TASK PERS wobjdata wobj_aanvoer:=[FALSE,TRUE,"",[[[-82.638,310.52,40.067],[0.953716951,0,0.3007058,0]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
  TASK PERS wobjdata wobj_tekenoppervlak:=[FALSE,TRUE,"",[[[315,227.5,2.01],[0.707106781,0,0,0.707106781]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
  PERS tooldata TCP_Stifthouder:=[TRUE,[[[-21,0,183.65],[1,0,0,0]],[0.2,[-21,0,49.615],[1,0,0,0],0,0,0]];
ENDMODULE
```

```
MODULE MainModule
  !Targets pick & place
  CONST robtarget pBlokje_vierkant_boven_pakken:=[[-16,17,100],[0,1,0,0],[1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget pBlokje_vierkant_pakken:=[[-16,17,14],[0,1,0,0],[1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget pBlokje_rechthoek_boven_pakken:=[[-32,17,100],[0,1,0,0],[1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget pBlokje_rechthoek_pakken:=[[-32,17,14],[0,1,0,0],[1,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  VAR robtarget pBlokje_boven_plaatsen:=[[[30,30,119],[0,-0.707106781,0.707106781,0],[0,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  VAR robtarget pBlokje_plaatsen:=[[[30,30,19],[0,-0.707106781,0.707106781,0],[0,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

  !Targets tekenen
  CONST robtarget pCirkel:=[[[100,140,0],[0,0,1,0],[0,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
  CONST robtarget pVierhoek:=[[[50,90,0],[0,0,1,0],[0,0,-2,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

  !Target Home
  CONST robtarget pHome:=[[[1.923180894,463.704989621,522.499958683],[0.352265823,-0.614594561,0.610142204,0.354836309],[0,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

  !Variabelen
  VAR num Programma:=3; !Welk programma uitvoeren

  !Variabelen Teken en
  VAR num r:=50; !straal cirkel
  VAR num l:=100; !lengte vierhoek
  VAR num b:=100; !breedte vierhoek
  VAR speeddata vCirkel:=v50; !Snelheid tekenen cirkel
  VAR speeddata vVierhoek:=v50; !Snelheid tekenen vierhoek

  !Variabelen Pick and Place
  VAR robtarget pBlokje_pakken:=pBlokje_vierkant_pakken; !Kiezen welk blokje gepakt wordt
  VAR robtarget pBlokje_boven_pakken:=pBlokje_vierkant_boven_pakken; !Kiezen welk blokje boven gepakt wordt

  !Variabelen paletiseren en sorteren
  VAR string blokje:="Vierkant"; !Kiezen welke soort blokje gepalletiseerd wordt, Vierkant of Rechthoek
  VAR num X_aantal:=2; !Kiezen hoeveel blokjes bij palletiseer en sorteer programma in de X richting voor
  zowel vierkante als rechthoekige blokjes
  VAR num Y_aantal:=2; !Kiezen hoeveel blokjes bij palletiseer en sorteer programma in de Y richting voor
  zowel vierkante als rechthoekige blokjes

  VAR num X_aantal_start:=0; !Het tellen van het aantal blokjes dat in de X-richting wordt geplaatst start op 0
  VAR num Y_aantal_start:=0; !Het tellen van het aantal blokjes dat in de Y-richting wordt geplaatst start op 0
  VAR num afstand_x:=0; !Initialisatie horizontale afstand in de X richting tussen middelpunten blokjes bij
  palletiseer en sorteerprogramma
  VAR num afstand_y:=0; !Initialisatie horizontale afstand in de Y richting tussen middelpunten blokjes bij
  palletiseer en sorteerprogramma
  VAR num teller:=0; !Telt hoeveel blokjes verplaatst zijn
  VAR num x:=0; !Initialisatie X waarde van plaatsen blokje
  VAR num y:=0; !Initialisatie Y waarde van plaatsen blokje
  VAR num aantal_blokjes:=0; !Aantal blokjes bij palletiseerprogramma verplaatst worden
  VAR num y_start:=0; !Initialisatie Y beginwaarde plaatsen blokje opslaan

  !Variabelen sorteren
  VAR num Sorteren_vierkant_aantal:=0; !Startwaarde tellen aantal vierkante blokjes gesorteerd
  VAR num Sorteren_rechthoek_aantal:=0; !Startwaarde tellen aantal rechthoekige blokjes gesorteerd
  VAR bool Sorteren_status:=TRUE; !Initialisatie waarden
  VAR bool Sorteren_vierkant:=TRUE;
  VAR bool Sorteren_rechthoek:=TRUE;
  VAR num y_vierkant:=0;
```

```

VAR num x_vierkant:=0;
VAR num y_rechthoek:=0;
VAR num x_rechthoek:=0;
VAR num Y_vierkant_aantal_start:=0;
VAR num X_vierkant_aantal_start:=0;
VAR num Y_rechthoek_aantal_start:=0;
VAR num X_rechthoek_aantal_start:=0;
VAR num y_start_vierkant:=0;
VAR num y_start_rechthoek:=0;
VAR num nummer:=0;

PROC main()

    aantal_blokjes:=X_aantal*Y_aantal;           !Aantal blokjes bij palletiseer en sorteer programma verplaatst worden
    Home;

    IF blokje = "Vierkant" THEN                   !Keuze voor vierkantblokjes bij palletiseerprogramma
        Vierkant;
    ENDIF

    IF blokje = "Rechthoek" THEN                  !Keuze voor vierkantblokjes bij palletiseerprogramma
        Rechthoek;
    ENDIF

    !Cirkel tekenen
    IF Programma=1 THEN
        Home;
        Cirkel;
        Home;
    ENDIF

    !Vierkant tekenen
    IF Programma=2 THEN
        Home;
        Vierhoek;
        Home;
    ENDIF

    !Oppakken en neerzetten
    IF Programma=3 THEN
        Home;
        Blokje_pakken;
        Blokje_plaatsen;
        Home;
    ENDIF

    !Palletiseren
    IF Programma=4 THEN
        nummer:=aantal_blokjes;
        Home;
        Palletiseren;
        Home;
    ENDIF

    !Sorteren
    IF Programma=5 THEN
        nummer:=aantal_blokjes*2;                !De waarde moet keer 2, omdat er twee verschillende blokjes gesorteerd worden
        Home;
        Sorteren;
        Home;
    ENDIF

ENDPROC

PROC Home()
    MoveJ pHome,v200,z100,TCP_Grijper\WObj:=wobj0;
ENDPROC

```

```

PROC Vierkant()
VAR num aanroep_vierkant:=0;
IF aanroep_vierkant <1 THEN      !Deze waardes worden eenmaal ingesteld wanneer programma vierkant wordt aangeroepen
x:=300;                          !Begin x-waarde waar eerste vierkante blokje geplaatst moet worden
y:=30;                          !Begin y-waarde waar eerste vierkante blokje geplaatst moet worden
y_start_vierkant:=y;            !Begin y-waarde wordt opgeslagen in andere variabele
aanroep_vierkant:=aanroep_vierkant+1; !Zorgt ervoor dat IF 1 keer doorlopen wordt
Y_aantal_start:=0;             !Het tellen van het aantal vierkante blokjes dat in de Y-richting wordt geplaatst start op 0
X_aantal_start:=0;             !Het tellen van het aantal vierkante blokjes dat in de X-richting wordt geplaatst start op 0
ENDIF
afstand_x:=40;                  !Horizontale afstand in de X-richting tussen middelpunten vierkante blokjes bij
palletiseer en sorteerprogramma
afstand_y:=40;                  !Horizontale afstand in de Y-richting tussen middelpunten vierkante blokjes bij
palletiseer en sorteerprogramma
pBlokje_pakken:=pBlokje_vierkant_pakken; !Het blokje dat opgepakt moet worden is vierkant en TCP moet bewegen naar de
plaats waar vierkant blokje moet worden opgepakt
pBlokje_boven_pakken:=pBlokje_vierkant_boven_pakken; !Het blokje dat opgepakt moet worden is vierkant en TCP moet
bewegen naar de plaats boven waar vierkant blokje moet worden opgepakt
y_start:=y_start_vierkant; !De start Y-waarde voor het sorteerprogramma wordt op de startwaarde gezet voor het vierkante blokje
ENDPROC

PROC Rechthoek()
VAR num aanroep_rechthoek:=0;
IF aanroep_rechthoek<1 THEN      !Deze waardes worden eenmaal ingesteld wanneer programma vierkant wordt aangeroepen
x:=30;                          !Begin x-waarde waar eerste rechthoekige blokje geplaatst moet worden
y:=150;                         !Begin y-waarde waar eerste rechthoekige blokje geplaatst moet worden
y_start_rechthoek:=y;          !Begin y-waarde wordt opgeslagen in andere variabele
aanroep_rechthoek:=aanroep_rechthoek+1; !Zorgt ervoor dat IF 1 keer doorlopen wordt
Y_aantal_start:=0;             !Het tellen van het aantal rechthoekige blokjes dat in de Y-richting wordt geplaatst start op 0
X_aantal_start:=0;             !Het tellen van het aantal rechthoekige blokjes dat in de X-richting wordt geplaatst start op 0
ENDIF
afstand_x:=40;                  !Horizontale afstand in de X-richting tussen middelpunten rechthoekige blokjes bij palletiseer
en sorteerprogramma
afstand_y:=70;                  !Horizontale afstand in de Y-richting tussen middelpunten rechthoekige blokjes bij
palletiseer en sorteerprogramma
pBlokje_pakken:=pBlokje_rechthoek_pakken; !Het blokje dat opgepakt moet worden is rechthoekig en TCP moet bewegen
naar de plaats waar vierkant blokje moet worden opgepakt
pBlokje_boven_pakken:=pBlokje_rechthoek_boven_pakken; !Het blokje dat opgepakt moet worden is rechthoekig en TCP moet
bewegen naar de plaats boven waar vierkant blokje moet worden opgepakt
y_start:=y_start_rechthoek; !De start Y-waarde voor het sorteerprogramma wordt op de startwaarde gezet voor het
rechthoekige blokje
ENDPROC
ENDMODULE

```

```

MODULE Pick_and_Place
PROC Blokje_pakken()      !Proces blokje pakken
MoveJ pBlokje_boven_pakken,v200,z50,TCP_Grijper\WObj:=wobj_aanvoer; !TCP beweegt naar het punt dat boven het punt
ligt waar het blokje wordt opgepakt (aanvliegroute)
Reset SluitGrijper;      !Het signaal voor het sluiten van de grijper wordt op 0 gezet
Set OpenGrijper;         !Grijper opent
MoveL pBlokje_pakken,v50,fine,TCP_Grijper\WObj:=wobj_aanvoer; !TCP beweegt naar het punt waar blokje wordt
opgepakt
WaitDI Lichtsensor1, 1;  !Wacht tot er een blokje in de aanvoer wordt gedetecteerd
Reset OpenGrijper;      !Het signaal voor het openen van de grijper wordt op 0 gezet
Set SluitGrijper;       !Grijper sluit
WaitTime 0.5;           !Wacht even zodat het blokje goed wordt vastgepakt
MoveL pBlokje_boven_pakken,v100,z50,TCP_Grijper\WObj:=wobj_aanvoer; !TCP beweegt naar het punt dat boven het punt
ligt waar het blokje wordt opgepakt, zodat blokje recht wordt opgepakt
ENDPROC

PROC Blokje_plaatsen()    !Proces blokje plaatsen
MoveJ pBlokje_boven_plaatsen,v200,z50,TCP_Grijper\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !TCP beweegt naar het punt dat boven het
punt ligt waar het blokje wordt geplaatst (aanvliegroute)
MoveL pBlokje_plaatsen,v50,fine,TCP_Grijper\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !TCP beweegt naar het punt waar blokje
wordt geplaatst
WaitTime 0.5;            !Wacht even zodat het blokje niet uit de grijper valt
Reset SluitGrijper;      !Het signaal voor het sluiten van de grijper wordt op 0 gezet
Set OpenGrijper;         !Grijper opent
WaitTime 0.5;           !Wacht even zodat het blokje goed wordt neergelegd

```

```

MoveL pBlokje_boven_plaatsen,v100,z50,TCP_Grijper\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !TCP beweegt naar het punt dat boven het
punt ligt waar het blokje wordt geplaatst, zodat grijper recht omhoog beweegt
ENDPROC

PROC Palletiseren() !Programma voor het palletiseren van de vierkante en rechthoekige blokjes, afhankelijk van de keuze voor het
type blokje

    WHILE teller<nummer AND Sorteren_status=TRUE DO !Gaat zolang door tot het aantal blokjes dat verplaatst moet worden is
bereikt

        WHILE Y_aantal_start<Y_aantal AND Sorteren_status=TRUE DO !Blokjes worden in de Y-richting verplaatst
            pBlokje_boven_plaatsen.trans:=[x,y,119]; !Positie van de aanvliegroete
            pBlokje_plaatsen.trans:=[x,y,19]; !Positie van het punt waar het blokje geplaatst moet worden
            Blokje_pakken; !Het proces voor het oppakken van het blokje wordt aangeroepen
            Blokje_plaatsen; !Het proces voor het plaatsen van het blokje wordt aangeroepen
            y:=y+afstand_y; !Bepaalde afstand in de Y-richting tussen de blokjes wordt ingesteld
            Y_aantal_start:=Y_aantal_start+1; !Het aantal blokjes dat geplaatst wordt in de Y-richting wordt geteld
            teller:=teller+1; !Het totale aantal blokjes dat wordt geplaatst wordt geteld
            IF Programma=5 THEN !Deze loop wordt alleen uitgevoerd als het sorteerprogramma actief is
                Sorteren_status:=FALSE; !De variabele wordt gereset, zodat na elke keer dat een blokje
geplaatst is terug wordt gegaan naar het sorteerprogramma
            ENDIF
        ENDWHILE

        IF X_aantal_start<X_aantal AND Y_aantal_start=Y_aantal THEN !Blokjes worden in de X-richting verplaatst als het aantal
blokjes in de Y-richting bereikt is
            x:=x+afstand_x; !Bepaalde afstand in de X-richting tussen de blokjes wordt ingesteld
            y:=y_start; !De Y-waarde wordt gereset zodat bij het plaatsen van de blokjes het blokje naast
het eerst blokje dat in de Y-richting geplaatst is komt te liggen
            X_aantal_start:=X_aantal_start+1; !Het aantal blokjes dat geplaatst wordt in de X-richting wordt geteld
            Y_aantal_start:=0; !Het tellen van het aantal blokjes dat in de Y-richting wordt geplaatst begint
opnieuw
        ENDIF

    ENDWHILE

ENDPROC

PROC Sorteren() !Programma voor het sorteren van de vierkante en rechthoekige blokjes

    WHILE Sorteren_vierkant=true or Sorteren_rechthoek=true DO !Gaat zolang door tot het aantal blokjes dat verplaatst moet
worden is bereikt
        IF Lichtsensor2=0 And Lichtsensor1=1 and Sorteren_vierkant=true THEN !Als lichtsensor2 'laag' is dan vierkant blokje vooraan
in aanvoer
            Vierkant; !Waardes vierkant worden opgeroepen
            IF Sorteren_vierkant_aantal>0 THEN
                y:=y_vierkant; !Terugzetten van oude waarde
                x:=x_vierkant; !Terugzetten van oude waarde
                Y_aantal_start:=Y_vierkant_aantal_start; !Terugzetten van oude waarde
                X_aantal_start:=X_vierkant_aantal_start; !Terugzetten van oude waarde
            ENDIF
            Sorteren_vierkant_aantal:=Sorteren_vierkant_aantal+1; !Telt hoeveel vierkante blokjes worden geplaatst
            Palletiseren; !Palletiseerprogramma wordt aangeroepen
            y_vierkant:=y; !Opslaan nieuwe y-waarde positie vierkantblokjes
            x_vierkant:=x; !Opslaan nieuwe x-waarde positie vierkantblokjes
            Y_vierkant_aantal_start:=Y_aantal_start; !Opslaan nieuwe waarde van hoeveel vierkante blokjes al geplaatst zijn in de Y-
richting
            X_vierkant_aantal_start:=X_aantal_start; !Opslaan nieuwe waarde van hoeveel vierkante blokjes al geplaatst zijn in de X-
richting
            Sorteren_status:=TRUE; !Variable wordt op waar gezet, zodat de palletiseer programma weer doorlopen
kan worden
            IF Sorteren_vierkant_aantal=aantal_blokjes THEN !Als het aantal te plaatsen vierkante blokjes is bereikt kunnen er geen
vierkante blokjes meer geplaatst worden
                Sorteren_vierkant:=FALSE;
            ENDIF

        ELSEIF Lichtsensor2=1 and Lichtsensor1=1 and sorteren_rechthoek=true THEN !Als lichtsensor1 'hoog' is dan rechthoekig blokje
vooraan in aanvoer
            Rechthoek; !Waardes rechthoek worden opgeroepen

```

```

IF Sorteren_rechthoek_aantal>0 THEN
    y:=y_rechthoek;           !Terugzetten van oude waarde
    x:=x_rechthoek;           !Terugzetten van oude waarde
    Y_aantal_start:=Y_rechthoek_aantal_start; !Terugzetten van oude waarde
    X_aantal_start:=X_rechthoek_aantal_start; !Terugzetten van oude waarde
ENDIF
Sorteren_rechthoek_aantal:=Sorteren_rechthoek_aantal+1; !Telt hoeveel vierkante blokjes worden geplaatst
Palletiseren;           !Palletiseerprogramma wordt aangeroepen
y_rechthoek:=y;         !Opslaan nieuwe y-waarde positie rechthoekig blokje
x_rechthoek:=x;         !Opslaan nieuwe x-waarde positie rechthoekig blokje
Y_rechthoek_aantal_start:=Y_aantal_start; !Opslaan nieuwe waarde van hoeveel rechthoekige blokjes al geplaatst zijn in
de Y-richtingOpslaan nieuwe waarde
X_rechthoek_aantal_start:=X_aantal_start; !Opslaan nieuwe waarde van hoeveel rechthoekige blokjes al geplaatst zijn in
de Y-richtingOpslaan nieuwe waarde
Sorteren_status:=TRUE;           !Variable wordt op waar gezet, zodat de palletiseer programma weer
doorlopen kan worden
    IF Sorteren_rechthoek_aantal=aantal_blokjes THEN !Als het aantal te plaatsen rechthoekige blokjes is bereikt kunnen er
geen vierkante blokjes meer geplaatst worden
        Sorteren_rechthoek:=FALSE;
    ENDIF
    ELSE           !Als het aantal te plaatsen rechthoekige of vierkante blokjes bereikt is en er geen blokjes meer liggen
stopt het programma
        Home;
        stop;
    ENDIF

ENDWHILE

ENDPROC

ENDMODULE

```

MODULE Teken

```

PROC Cirkel()
    MoveJ Offs(pCirkel,-r,0,50),v200,z50,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target boven beginpunt cirkel
    MoveL Offs(pCirkel,-r,0,0),v20,fine,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target beginpunt cirkel
    MoveC Offs(pCirkel,0,r,0), Offs(pCirkel,r,0,0), vCirkel, z0, TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target punt
halverwege cirkel via punt kwart cirkel
    MoveC Offs(pCirkel,0,-r,0), Offs(pCirkel,-r,0,0), vCirkel, z0, TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target beginpunt
cirkel via punt driekwart cirkel
    MoveL Offs(pCirkel,-r,0,50),v50,z50,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target boven beginpunt cirkel
ENDPROC

PROC Vierhoek()
    MoveJ offs(pVierhoek,0,0,50), v200,z50,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target boven beginpunt vierhoek
    MoveL pVierhoek, v20,z0,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target beginpunt vierhoek
    MoveL offs(pVierhoek,0,l,0), vVierhoek,z0,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target punt op tweede hoek
vierhoek
    MoveL offs(pVierhoek,b,l,0), vVierhoek,z0,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target punt op derde hoek
vierhoek
    MoveL offs(pVierhoek,b,0,0), vVierhoek,z0,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target punt op vierde hoek
vierhoek
    MoveL pVierhoek, vVierhoek,z0,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target beginpunt vierhoek
    MoveL offs(pVierhoek,0,0,50), v50,z50,TCP_Stifthouder\WObj:=wobj_tekenoppervlak; !Naar target boven beginpunt
vierhoek
ENDPROC

ENDMODULE

```

Bijlage 17 – Testplan

In deze bijlage wordt het testplan weergegeven. De nummers van de testen komen overeen met de nummers van de functionele eisen:

2. De maximale breedte en hoogte van de robotcel moeten respectievelijk 900 mm en 2000 mm zijn, zodat de robotcel een deurpost met een deur van 930 mm breed kan passeren. Door de robotcel op te meten met een meetlint kan vastgesteld worden of de robotcel aan deze eis voldoet.
3. De robotcel moet door één persoon verplaatst kunnen worden met behulp van de zwenkwielen. De robotcel is voorzien van vier zwenkwielen met stelpoten, zodat de robotcel door een duwend of trekkend persoon verplaatst kan worden. Het testen van het verplaatsen van de robotcel wordt gedaan door de complete robotcel duwend te verplaatsen. En vast te stellen of deze relatief eenvoudig verplaatst kan worden door één persoon.
4. De robotarm moet een cirkel en een vierhoek kunnen tekenen. Software is geschreven voor de tekentaken die de robot uit moet voeren en die studenten moeten programmeren. De software wordt gebruikt om te testen of de robot de tekentaken uit kan voeren.
Voordat de test wordt uitgevoerd is de grijper met de grijpervingers al aan de robot gekoppeld. Het TCP van de stift is van te voren al bekend. Ook is de software al geüpload naar de robotcontroller. De plaats waar de figuren getekend moeten worden is bekend. De grootte van de figuren is ingesteld.
Eerst wordt de stifthouder met de stift vast gepakt met de grijper door de grijpervingers te sluiten. Vervolgens wordt de routine voor het teken van een cirkel aangeroepen en uitgevoerd. Als de cirkel getekend is wordt de routine voor het tekenen van een vierkant aangeroepen en uitgevoerd. Er wordt gekeken of de figuren netjes getekend worden en of de tekenlijn over het gehele figuur ongeveer even breed is. Met een meetlint worden de afmetingen van de figuren opgemeten om te verifiëren of de afmetingen van de figuren overeenkomen met wat geprogrammeerd is. De test wordt drie maal uitgevoerd, om te verifiëren dat de figuren niet per toeval juist getekend worden. Als de figuren met ongeveer gelijke lijndikte (+/- 1 mm) getekend worden en de afmetingen overeenkomen met de vooraf ingestelde afmetingen (+/- 1 mm) is de robotarm in staat om figuren juist te tekenen met een stift.
5. De robotarm moet vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes kunnen verplaatsen van de aanvoer naar een plaats op het tekenoppervlak. Software is geschreven voor de pick en place taken die de robot moet uitvoeren en die studenten moeten programmeren.
Voordat de test wordt uitgevoerd is de grijper met de grijpervingers al aan de robot gekoppeld. Het TCP van de grijper is van te voren al bekend. Ook is de software al geüpload naar de robotcontroller. De aanvoer is al geplaatst op de montageplaat. Ook is de plaats bekend waar de blokjes geplaatst moeten worden.
Voor deze test worden eerst drie vierkante blokjes in de aanvoer gelegd en wordt in het programma gekozen voor het oppakken van vierkante blokjes. Vervolgens wordt de oppakroutine aangeroepen en uitgevoerd. Als de routine uitgevoerd is wordt de plaatsroutine aangeroepen en uitgevoerd. Als deze routine uitgevoerd is, is er als het goed is één vierkant blokje verplaatst. De handelingen worden opnieuw uitgevoerd totdat de aanvoer geen vierkante blokjes meer bevat. De geplaatste blokjes moet na het plaatsen van een blokje verwijderd worden, omdat de robot de blokjes steeds op de zelfde plaats plaatst. Als de aanvoer geen vierkante blokjes meer bevat, worden drie rechthoekige blokjes in de aanvoer gelegd en wordt in het programma gekozen voor het oppakken van rechthoekige blokjes. Vervolgens wordt de oppakroutine aangeroepen en uitgevoerd. Als de routine uitgevoerd is wordt de plaatsroutine aangeroepen en uitgevoerd. Als deze routine uitgevoerd is, is er als het goed is één rechthoekige blokje verplaatst. De handelingen worden opnieuw uitgevoerd totdat de aanvoer geen rechthoekige blokjes meer bevat. De geplaatste blokjes moeten na het plaatsen van een blokje weer verwijderd worden. Er worden tweemaal drie blokjes verplaatst.

Eerst drie vierkante blokjes en daarna drie rechthoekige blokjes. Dit wordt gedaan om te verifiëren dat de blokjes niet per toeval juist opgepakt en geplaatst worden. Als de blokjes netjes opgepakt en geplaatst zijn is de robot in staat om vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes te verplaatsen.

6. Een onderscheid tussen vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes moet kunnen worden gemaakt. Dit wordt getest door eerst de twee verschillende formaten Lego Duplo blokjes willekeurig in de aanvoer te leggen. Voordat de test wordt uitgevoerd is de grijper met de grijpervingers al aan de robot gekoppeld. Het TCP van de grijper is van te voren al bekend. Ook is de software al geüpload naar de robotcontroller. De aanvoer is al geplaatst op de montageplaat. Ook is de plaats bekend waar de blokjes geplaatst moeten worden. Er is bekend hoeveel blokjes geplaatst moeten worden.

Als de blokjes in de aanvoer zijn geplaatst wordt de sorteerroutine aangeroepen en uitgevoerd. Er wordt gekeken of de blokjes netjes gesorteerd worden op grootte. Als dit het geval is betekent dit dat er een onderscheid tussen de twee verschillende formaten Lego Duplo blokjes gemaakt kan worden. Ook wordt getest of de sorteerroutine goed werkt. De test wordt driemaal uitgevoerd, om te verifiëren dat de blokjes niet per toeval juist worden gesorteerd.

7. Het robotcelbouwpakket moet opgebouwd kunnen worden door een groepje van 3 à 4 studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot. Dit wordt getest door de robotcel op te bouwen door mijzelf. Met behulp van een klok wordt de tijd gemeten totdat het bouwpakket compleet opgebouwd is samen met het monteren en installeren van de industriële robot. De gemeten tijd wordt gedeeld door het aantal studenten dat bezig gaat met het opbouwen van de robotcel. Als de uitkomst kleiner is dan 8 uren is de eis gehaald.
8. De modules moeten stevig gemonteerd kunnen worden op de montageplaat, waarbij het tekenpapier niet verschuift wanneer de robot tekent en waarbij de aanvoer alleen verplaatst kan worden in verticale richting, wanneer de aanvoer vlak op de montageplaat staat. Dit wordt getest door het tekenoppervlak met twee spandoorn elementen vast te zetten aan de montageplaat. De verbinding tussen de montageplaat en het tekenoppervlak moet zodanig zijn dat het A4-papier tussen de twee delen van het tekenoppervlak niet kan verschuiven als de robot figuren aan het tekenen is. Het testen van het tekenen van de figuren vierkant en cirkel wordt beschreven bij punt 4. Bij de test van punt 4 wordt getest of het papier niet verschuift. Voordat de robot begint met tekenen wordt de positie van het papier ten opzichte van het tekenoppervlak vastgesteld. Het bovenste deel van het tekenoppervlak bestaat uit plaatmateriaal met een vierkant gat in het midden, zie Figuur 14. De randen van dit vierkante gat worden overgenomen op het papier dat tussen de twee tekenoppervlakdelen ligt. Na het uitvoeren van de testen bij punt 3 wordt vastgesteld of het papier verschoven is door te kijken of het overgenomen vierkant samenvalt met het vierkante gat in het bovenste deel van het tekenoppervlak. Als het papier niet verschoven is, is de module juist op de montageplaat gemonteerd.

De aanvoer wordt met twee M5 schroeven en twee ringen vastgezet aan de montageplaat. De ringen vallen in de gaten van de montageplaat. De verbinding tussen de montageplaat en de aanvoer moet zodanig zijn dat de aanvoer niet kan verschuiven in horizontale richting, wanneer de aanvoer vlak op de montageplaat staat. Dit wordt getest door met de hand de aanvoer proberen te verplaatsen in horizontale richting. Als de aanvoer niet verplaatst wordt is dit deel van de test gehaald. De aanvoer moet omvallen als de grijper tegen de aanvoer aandrukt. Dit wordt getest door de robot met de grijper tegen de aanvoer aan te drukken door met de robot te joggen. Er wordt gekeken wanneer de aanvoer omvalt, zonder dat er schade optreedt aan de robot of de grijper. Als de aanvoer omvalt, zonder dat er schade optreedt aan de robot of de grijper, is de module juist op de montageplaat gemonteerd.

Overige testen bij het inbedrijfstellen van de robotcel:

1. De externe noodstopknop en de veiligheidsschakelaar bij de deur moeten getest worden op juiste werking. Om de externe noodstopknop te testen wordt de knop ingedrukt. Als de melding *10013 Emergency stop state* wordt weergegeven in de event log van de FlexPendant is de test geslaagd. Om de veiligheidsschakelaar bij de deur te testen wordt de deur geopend als de controller in automatische modus staat. Als de melding *20205 Auto stop open* wordt weergegeven in de event log van de FlexPendant is de test afgerond met een voldoende. (ABB, Product manual - OmniCore C30, 2020)
2. De robotcel moet stabiel staan als deze in bedrijf is. De zwenkwielen zijn voorzien van stelpoten. Deze kunnen met behulp van een moer naar beneden gedraaid worden, zodat de wielen van de grond komen. Met behulp van een waterpas en het verdraaien van de moeren van de wielen kan de robotcel waterpas neergezet worden. Bij het waterpas neerzetten van de robotcel moet de waterpas op de montageplaat geplaatst worden. Nadat de robotcel waterpas neergezet is wordt bepaald of de robotcel stabiel staat door eerst met de hand pulserend tegen het frame aan te drukken en te bepalen of het frame niet wankelt. Vervolgens wordt getest of het frame niet wankelt als de robot de pick en place taken en de tekentaken uitvoert. Als de robotcel niet wankelt wanneer met de hand pulseren tegen het frame wordt gedrukt en wanneer de robot de taken uitvoert zonder dat de robotcel wankelt staat de robotcel stabiel en is de test met een voldoende afgerond.
3. De robot moet kunnen bewegen binnen de robotcel zonder de afscherming en de montageplaat te raken. In de software is een gebied gedefinieerd waarbinnen de actieve TCP van de robot mag bewegen. Ook zijn bepaalde assen gelimiteerd, zodat de robot zelf niet buiten het gedefinieerde gebied mag bewegen. As 6 is beperkt om te voorkomen dat de kabel die naar de grijper gaat bekneld kan raken of kapot getrokken wordt. De test wordt uitgevoerd door de TCP van de robot langs de uiterste posities van het gedefinieerde gebied te joggen. Ook wordt de robot per as bewogen om te testen of de robot zelf ook niet tegen de afscherming of de montageplaat komt en of de kabel niet bekneld raakt. De test is met een voldoende afgerond wanneer de afscherming en de montageplaat niet worden geraakt door de robot. En wanneer de kabel van de grijper niet bekneld raakt. Bij het gebruik van de grijper als actieve tool kan de montageplaat wel geraakt worden, omdat het TCP van de grijper tussen de grijpvingers in ligt. Het TCP kan de montageplaat net niet raken maar de uiteinden van de grijpvingers wel.

Bijlage 18 – Resultaten testplan

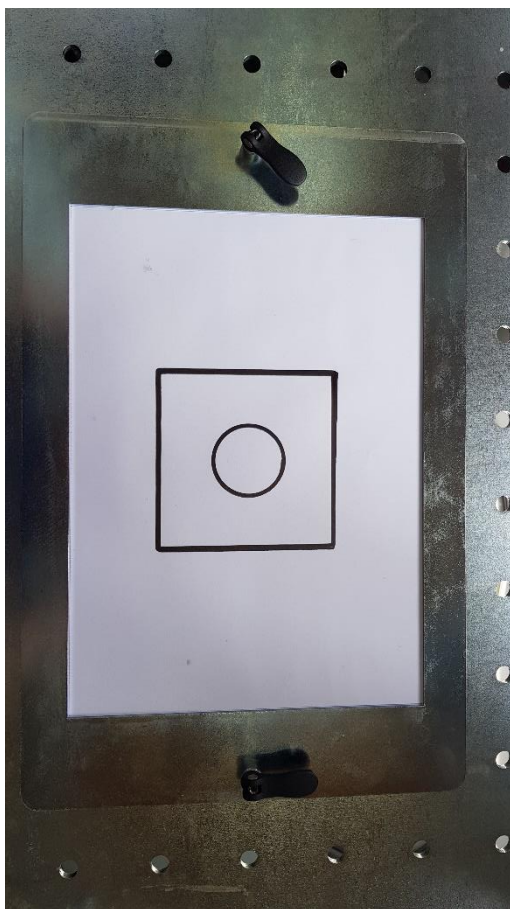
In deze bijlage worden de resultaten van het testplan weergegeven. De resultaten staan in Tabel 22.

Tabel 22: Resultaten testplan.

Nr.	Testen functionele eisen	Resultaat
2.	De maximale breedte en hoogte van de robotcel moeten respectievelijk 900 mm en 2000 mm zijn, zodat de robotcel een deurpost met een deur van 930 mm breed kan passeren.	De robotcel is 892 mm breed en 1860 mm hoog wanneer deze op de zwenkwielen staat.
3.	De robotcel moet door één persoon verplaatst kunnen worden met behulp van de zwenkwielen.	De robotcel kan door één persoon verplaatst worden door deze te duwen of te trekken. Het in beweging zetten van de robotcel gaat vrij zwaar. Het passeren van drempels gaat niet eenvoudig. De robotcel moet hierbij aan één kant met twee personen iets opgetild worden, zodat de wielen op de drempel komen te staan.
4.	De robotarm moet een cirkel en een vierhoek kunnen tekenen.	De robot in de robotcel heeft drie maal een cirkel getekend na het aanroepen van de routine voor het tekenen van een cirkel. In de software is aangegeven dat de straal van de cirkel 20 mm is. Met een meetlint is de getekende cirkel opgemeten. De cirkel heeft een straal van 20 mm. De lijndikte is opgemeten met een schuifmaat en ligt tussen de 2,2 en 2,7 mm. Vervolgens is een vierkant getekend door de routine voor het tekenen van een vierhoek aan te roepen. In de software is aangegeven dat de vierhoek 100 mm bij 100 mm is. Er zat veel variatie in de lijndikte. Vervolgens is het werkobject van het tekenoppervlak opnieuw ingeleerd door het werkobject te teachen. Na het teachen is de vierhoek driemaal getekend. Met een meetlint is de getekende vierhoek opgemeten. De vierhoek is 100 mm bij 100 mm. De lijndikte is opgemeten met een schuifmaat en ligt tussen de 2,5 en 3 mm. In Figuur 59 zijn de getekende vierhoek en cirkel weergegeven. De stifthouder is vastgeklemd met een kracht van 105 N (75%). Bij 70 N (50%) kon de houder nog wat bewegen ten opzichte van de grijpervingers.
5.	De robotarm moet vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes kunnen verplaatsen van de aanvoer naar een plaats op het tekenoppervlak.	De robot met de grijper pakt de drie vierkante Lego Duplo Blokjes in de midden van het blokje op wanneer de oppakroutine wordt aangeroepen en plaatst de blokjes op de gewenste plaats wanneer de plaatsroutine wordt aangeroepen. Ook worden de drie rechthoekige Lego Duplo Blokjes netjes in het midden van het blokje opgepakt en netjes geplaatst op de gewenste plaats. De blokjes verschuiven niet ten opzichte van de grijpervingers bij het oppakken en plaatsen van de twee verschillende blokjes. De blokjes worden netjes loodrecht ten opzichte van de oppakplaats van de aanvoer ophoog getild. Er zijn in totaal drie vierkante en drie rechthoekige Lego Duplo blokjes opgepakt en geplaatst. De kracht van de grijper is ingesteld op de laagste waarde van 35 N (25%).
6.	Een onderscheid tussen vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes moet kunnen worden gemaakt.	De test is eerst uitgevoerd met vier vierkante en vier rechthoekige Lego Duplo blokjes van vier verschillende kleuren. De verschillende kleuren en formaten blokjes zijn willekeurig in de aanvoer gelegd. Bij het aanroepen van de

		sorteeroutine worden de blokjes niet goed gesorteerd op grootte. Vervolgens is de test uitgevoerd met vier vierkante en vier rechthoekige blokjes met een groene kleur. Bij het aanroepen van de sorteeroutine worden de blokjes netjes gesorteerd op grootte. De test is driemaal uitgevoerd. In alle drie de gevallen zijn de blokjes netjes gesorteerd op grootte. De sensoren zijn vooraf aan de testen ingesteld op de gebruikte blokjes.
7.	Het robotcelbouwpakket moet opgebouwd kunnen worden door een groepje van 3 à 4 studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot.	Tijdens het assembleren van de robotcel is de tijd bijgehouden. Het assembleren van de volledige robotcel inclusief het aansluiten van alle elektronische componenten en het lijmen van de acrylaatplaten kostte ongeveer 28 uren. Bij het bouwpakket hoeft de robotcel niet volledig door studenten opgebouwd te worden. Het basisdeel wordt geassembleerd geleverd. Met het assembleren van het bouwpakket ben ik alleen ongeveer 16 uur bezig geweest. 16 uren delen door 3 à 4 studenten is kleiner dan 8 uren.
8.	De modules moeten stevig gemonteerd kunnen worden op de montageplaat, waarbij het tekenpapier niet verschuift wanneer de robot tekent en waarbij de aanvoer alleen verplaatst kan worden in verticale richting, wanneer de aanvoer vlak op de montageplaat staat.	Tijdens test 4 waarbij een vierhoek en een cirkel worden getekend verschuift het papier niet dat tussen de twee platen van het tekenoppervlak geklemd zit. Het tekenoppervlak verschuift ook niet ten opzichte van de montageplaat. Wanneer geprobeerd wordt de aanvoer met de hand in een horizontale richting te verplaatsen wanneer de aanvoer vlak op de montageplaat staat, verschuift de aanvoer niet. De twee schroeven zitten in het midden van de aanvoer. Bij het proberen te verplaatsen van de aanvoer in horizontale richting draait de aanvoer iets om de twee schroeven. Aan de uiteinden beweegt de aanvoer in totaal 1 mm naar rechts en links. Bij het loslaten van de aanvoer beweegt het naar de oude positie terug. De aanvoer valt om wanneer deze bij het eind geraakt wordt door de grijpervingers. Collision detection is ook ingesteld. Deze staat aardig scherp ingesteld, waardoor de robot stopt wanneer de aanvoer aan het begin geraakt wordt. De aanvoer valt dan niet om.
Nr.	Overige testen	Resultaat en evaluatie
1.	Test externe noodstopknop en veiligheidsschakelaar bij de deur.	Bij het indrukken van de externe noodstopknop wordt de melding <i>10013 Emergency stop state</i> weergegeven op de FlexPendant. Ook wordt de melding <i>90518 Safety Controller Emergency Stop triggered</i> weergegeven. Wanneer de robot actief is en de noodstopknop wordt ingedrukt stopt de robot met bewegen. De juiste melding wordt weergegeven op de Flexpendant. Deze test is met een voldoende afgerond. Bij het openen van de deur wanneer de controller in automatische modus staat wordt de melding <i>10012 Safety guard stop state</i> weergegeven. Ook wordt de melding <i>90523 Safety Controller Protective Stop triggered</i> weergegeven. Wanneer de robot actief is in automatische modes en de deur wordt geopend stopt de robot met bewegen en gaan de motoren uit. Bij het testen van de deurschakelaar wordt niet de juiste melding weergegeven. Deze test is met een onvoldoende afgerond. De veiligheidssensor is op een iets andere manier aangesloten op de controller. Hierdoor wordt waarschijnlijk niet de

		juiste melding weergegeven. De deurschakelaar werkt wel, want de robot stopt, zodra de deur geopend wordt.
2.	Test stabiliteit robotcel.	De robotcel wankelt niet wanneer met de hand pulserend tegen het frame van de robotcel wordt gedrukt. Ook wankelt de robotcel niet wanneer de robot de pick en place taken en de tekentaken uitvoert. De robot staat dus stabiel genoeg. De test is met een voldoende afgerond.
3.	De robot moet kunnen bewegen binnen de robotcel, zonder de afscherming en de montageplaat te raken. De kabel van de gripper moet niet bekneld raken.	Bij het joggen van de robot langs de uiterste posities van het gedefinieerde gebied raakt de robot de afscherming en de montageplaat niet. Wanneer de gripper de actieve tool is bij het joggen raakt de gripper de montageplaat wel. Wanneer de actieve tool de stift is dan raakt de stift de montageplaat niet. De kabel van de gripper raakt niet bekneld tijdens het joggen van de assen van de robot. De test is met een voldoende afgerond.



Figuur 59: Getekende cirkel en vierkant met behulp van een stift.

Bijlage 19 – Eisen

In deze bijlage wordt aangegeven of aan de formele eisen en functionele eisen is voldaan. In Tabel 23 zijn de formele eisen en de functionele eisen weergegeven met daarachter een beschrijving of aan de eis voldaan is samen met een toelichting waarom of waarom niet aan de eis voldaan is.

Tabel 23: Controle eisen.

Nr.	Formele eisen	Status	Toelichting
1.	De robotcel moet veilig zijn om mee te werken en moet voldoen aan de CE-markering.	Voldoet niet	Het werkgebied van de robot is afgeschermd. Het werkgebied en de assen van de robot zijn beperkt, zodat de robot binnen een gedefinieerd gebied blijft. De robotcel is ontworpen met inachtneming van de machinerichtlijn en bijhorende normen. Er is geen handleiding geschreven, wat nodig is om de robotcel te laten voldoen aan de CE-markering. Hier was geen tijd meer voor.
2.	Het frame van de robotcel moet opgebouwd kunnen worden door een groepje studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot.	Voldoet	De robotcel is volledig door mij geassembleerd. Bij het bouwpakket hoeft de robotcel niet volledig door studenten opgebouwd te worden. Het basisdeel wordt geassembleerd geleverd. Met het opbouwen van het bouwpakket ben ik ongeveer 16 uur bezig geweest. Het bouwpakket moet dus door een groepje van drie of vier studenten binnen 8 uren geassembleerd kunnen worden samen met het monteren en installeren van de robot.
3.	Bij de robotcel wordt een basistekening en een elektrisch schema geleverd als instructie voor het opbouwen van de robotcel.	Voldoet	Het elektrisch schema dat gemaakt is wordt bij het bouwpakket geleverd, zie <i>Bijlage 11 – Elektrisch schema</i> . Het 3D-CAD ontwerp wordt bij het bouwpakket geleverd, zodat studenten bij het assembleren van het bouwpakket de robotcel van alle kanten kunnen bekijken.
4.	Bij de robotcel moet een basis lespakket geleverd worden bestaande uit een paar tutorials, waarin wordt aangegeven wat de robot moet doen en wat studenten moeten programmeren.	Voldoet	Het lespakket bestaat uit een aantal PowerPoints. Met behulp van afbeeldingen en tekst wordt de lesstof uitgelegd. Ook wordt aangegeven wat de studenten moeten programmeren.
5.	De robotcel moet een deurpost met een deur van 930 mm breed kunnen passeren.	Voldoet	De breedte en hoogte afmetingen van de robotcel zijn kleiner dan de waardes die in de functionele eisen staan, zie <i>Bijlage 18 – Resultaten testplan</i> .
6.	De robotcel moet verplaatst kunnen worden.	Voldoet	De robotcel heeft vier zwenkwielen waarmee de robotcel verplaatst kan worden. Uit het testplan blijkt dat de robotcel door één persoon verplaatst kan worden.
7.	De robotcel moet gevoed worden met 230 Volt wisselspanning.	Voldoet	In de ontwerpfase is vastgesteld dat de robotcel op een stopcontact van 230 VAC aangesloten moet worden.
8.	De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot moet lager zijn dan €25.000.	Voldoet	De verkoopprijs inclusief robot is €24.000, zie <i>Bijlage 15 – Calculatie</i> . Dit is lager dan €25.000.

9.	De robot in de robotcel moet een pick en place taak uitvoeren.	Voldoet	Zoals vastgesteld in paragraaf 3.1 Deelvraag 1 en 3.7 Deelvraag 7 wordt een pick en place taak uitgevoerd.
10.	De robotcel bestaat uit een vast frame en bevat een plaat waar de robot op gemonteerd is en waar modules op bevestigd kunnen worden. Met behulp van de modules kan door de robot een taak uitgevoerd worden.	Voldoet	De robotcel bestaat uit een vast frame met in het midden een montageplaat waar de modules en robot op bevestigd worden. De montageplaat deelt de robotcel in twee compartimenten het bovenste compartiment is het werkgebied van de robot. In het onderste compartiment is de controller geplaatst en bevindt zich de besturingskast. Met behulp van de aanvoer en het tekenoppervlak kan de robot de tekentaak en de pick en place taak uitvoeren.
11.	De programma's moeten offline geprogrammeerd kunnen worden met Robotstudio voordat aan de slag wordt gegaan met de robot, zodat studenten in kleine groepjes kunnen werken met de robotcel om hun programma te testen.	Voldoet	In paragraaf 2.5 Onderzoek wordt beschreven dat de robot van te voren offline geprogrammeerd kan worden met RobotStudio. De pick en place taak wordt met RobotStudio geprogrammeerd. De tekentaak wordt via de FlexPendant geprogrammeerd. De FlexPendant kan ook gesimuleerd worden via RobotStudio, zodat studenten de programma's kunnen maken voordat met de robotcel aan de slag wordt gegaan.
Nr.	Functionele eisen	Status	Toelichting
1.	De robotcel moet voldoen aan de CE-markering.	Voldoet niet	De handleiding is vanwege het gebrek aan tijd niet geschreven. Zoals beschreven in paragraaf 2.5 Onderzoek bij CE-markering moet aan alle stappen voldaan worden. Er moet dus ook een handleiding geschreven worden.
2.	De maximale breedte en hoogte van de robotcel moeten respectievelijk 900 mm en 2000 mm zijn, zodat de robotcel een deurpost met een deur van 930 mm breed kan passeren.	Voldoet	De breedte en hoogte afmetingen van de robotcel zijn kleiner dan de waardes die in de functionele eisen staan. De robotcel kan dus een deurpost passeren.
3.	De robotcel moet door één persoon verplaatst kunnen worden met behulp van de zwenkwielen.	Voldoet	De robotcel kan door één persoon verplaatst worden door deze te duwen of te trekken. Het is wel vrij zwaar om de robotcel in beweging te krijgen. Bij het passeren van een drempel moet de robotcel aan één kant iets opgetild worden.
4.	De robotarm moet een cirkel en een vierhoek kunnen tekenen.	Voldoet	De industriële robot in de robotcel is in staat om een cirkel en een vierhoek te tekenen met een vrij constante lijndikte. De vrij constante lijndikte betekent dat de flens van de robot evenwijdig aan het tekenoppervlak beweegt.
5.	De robotarm moet vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes kunnen verplaatsen van de aanvoer naar een plaats op het tekenoppervlak.	Voldoet	De vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes worden netjes opgepakt vanuit de aanvoer en geplaatst op de gewenste positie op het tekenoppervlak.
6.	Een onderscheid tussen vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes moet kunnen worden gemaakt.	Voldoet	De sensoren van de aanvoer zijn in staat om een onderscheid te maken tussen groene vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes, zodat de twee verschillende formaten blokjes gesorteerd kunnen worden.

			De sensoren zijn niet in staat om een onderscheid te maken tussen vierkante en rechthoekige Lego Duplo blokjes van verschillende kleuren. Dit komt waarschijnlijk doordat het licht van de sensoren anders wordt gereflecteerd op de verschillende kleuren blokjes. De sensoren worden ingesteld op één soort blokje.
7.	Het robotcelbouwpakket moet opgebouwd kunnen worden door een groepje van 3 à 4 studenten binnen 8 uren samen met het monteren en installeren van de industriële robot.	Voldoet	De robotcel is volledig door mij geassembleerd. Bij het bouwpakket hoeft de robotcel niet volledig door studenten opgebouwd te worden. Het basisdeel wordt geassembleerd geleverd. Met het opbouwen van het bouwpakket inclusief het installeren van de robot ben ik ongeveer 16 uur bezig geweest. 16 uren delen door 3 á vier personen komt uit op een tijd kleiner dan 8 uren. De robotcel moet dus binnen 8 uren geassembleerd kunnen worden samen met het monteren en installeren van de robot.
8.	De modules moeten stevig gemonteerd kunnen worden op de montageplaat, waarbij het tekenpapier niet verschuift wanneer de robot tekent en waarbij de aanvoer alleen verplaatst kan worden in verticale richting, wanneer de aanvoer vlak op de montageplaat staat.	Voldoet	Het tekenoppervlak is stevig gemonteerd op de montageplaat. Bij het tekenen van een cirkel en een vierhoek verschuift het papier niet ten opzichte van tekenoppervlak. Ook verschuift het tekenoppervlak niet ten opzichte van de montageplaat. De aanvoer beweegt minimaal in de horizontale richting, wanneer deze vlak op de montageplaat staat. De aanvoer kan wel bewegen in de verticale richting. De aanvoer valt namelijk om wanneer de aanvoer aan de bovenkant wordt geraakt met de grijper. In eerste instantie was het de bedoeling om de aanvoer vast te zetten met magneten aan de montageplaat. De aanvoer zit zonder magneten voldoende vast aan de montageplaat, magneten zijn daarom niet meer nodig.
9.	De taken moeten door studenten geprogrammeerd kunnen worden in RobotStudio en via de FlexPendant.	Voldoet	De tekentaak kan via de FlexPendant geprogrammeerd worden. De pick en place taak kan via RobotStudio geprogrammeerd worden.
10.	De stekker van de robotcel moet op een stopcontact met 230 VAC aangesloten worden.	Voldoet	In de ontwerpfase is vastgesteld dat de robotcel op een stopcontact van 230 VAC aangesloten moet worden. De stekker van de robotcel wordt daarom op een stopcontact met 230 VAC aangesloten.
11.	De verkoopprijs van de robotcel inclusief robot moet lager zijn dan €25.000.	Voldoet	Voor het bestellen van de onderdelen is gekeken waar de onderdelen het goedkoopst zijn en of bepaalde onderdelen van een ander merk goedkoper zijn. In <i>Bijlage 15 – Calculatie</i> is te zien dat de verkoopprijs lager is dan €25.000, namelijk €24.000.

Bijlage 20 – PowerPoints lespakket

In deze bijlage worden de PowerPoints van het lespakket weergegeven. Het lespakket bestaat uit zes PowerPoints.

1. Robot, controller en FlexPendant





Robotcel Bouwtechnics

Robot, controller en FlexPendant

Informatie uit de *Operating manual – OmniCore* is gebruikt voor het maken van deze powerpoint.



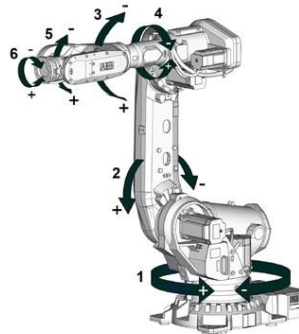
Inhoud

- Robot en controller
- FlexPendant
- Veiligheid

2

Robot en controller

- IRB 1100-4/0.58
- Omnicore C30 desktop controller
- FlexPendant
- 6 assige robot



Bron afbeelding: Operating manual - OmniCore



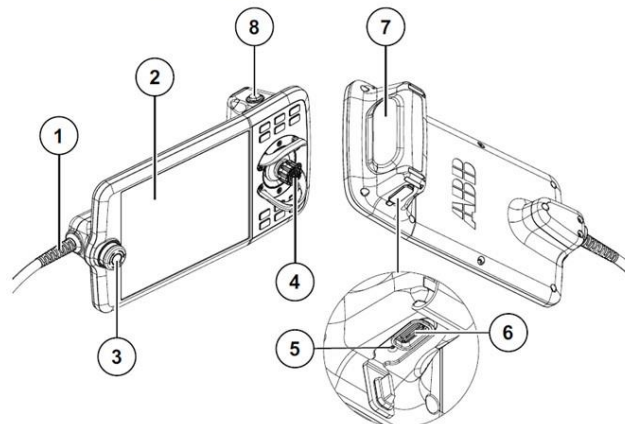
Bron afbeelding: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1100>

3

FlexPendant



1. Kabel
2. Touch screen
3. Noodstopknop
4. Joystick
5. Reset knop
6. USB poort
7. Drie-positie knop
8. Duim knop (Collaborative robots)

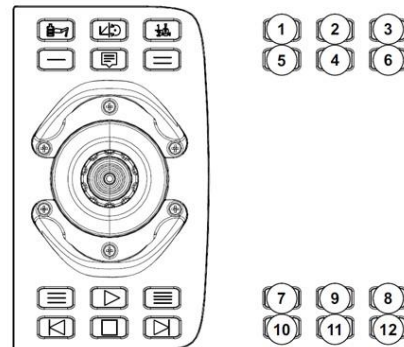


Bron afbeelding FlexPendant: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/omnicore>
Bron afbeelding rechts: Operating manual - OmniCore

4

FlexPendant

1. Mechanische unit knop
2. Knop voor wisselen tussen linear en reorient modus.
3. Knop voor wisselen tussen as 1-3 en as 4-6
4. Knop voor openen QuickSet menu
5. Programmeerbare knop
6. Programmeerbare knop
7. Programmeerbare knop
8. Programmeerbare knop
9. Startknop voor starten programma
10. Terugknop voor uitvoeren vorige instructie
11. Stopknop voor stoppen programma
12. Vooruitknop voor uitvoeren volgende instructie

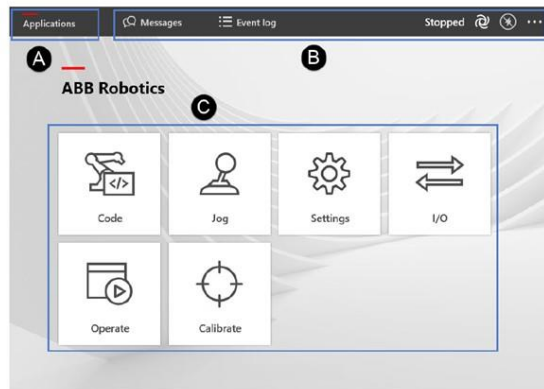


Bron afbeelding: Operating manual - OmniCore

5

FlexPendant

- A. Applicatie knop, terug naar hoofdscherm
- B. Status bar knoppen, bereichten, event logs en QuickSet menu
- C. Applicaties

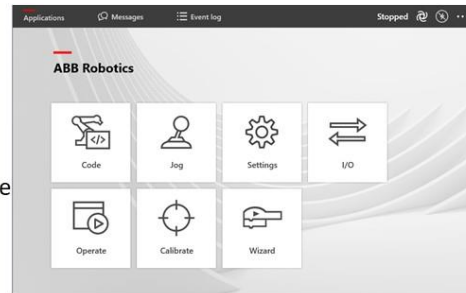


Bron afbeelding: Operating manual - OmniCore

6

Flexpendant

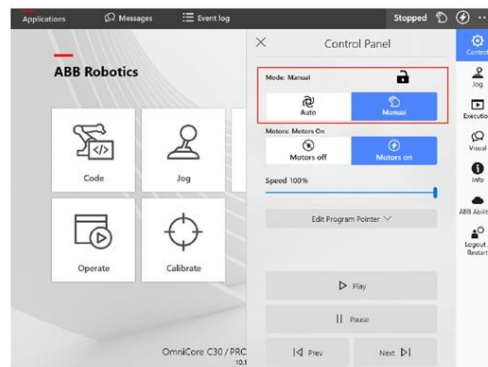
- Code: creeren nieuw programma of aanpassen programma in RAPID code.
- Jog: joggen van de robot.
- Settings: configureren van verschillende instellingen.
- I/O: configureren inputs en outputs.
- Operate: laten zien van RAPID code wanneer het programma wordt uitgevoerd.
- Calibrate: calibreren robot en definiëren van TCP, gewicht tool, werkobject, enz.
- Wizard: Easy wizard programming, programmeren met behulp van blokken.



7

Flexpendant

- Wisselen tussen automatische en handmatige modus
- QuickSet menu, Control



Bron afbeelding: Operating manual - OmniCore

8

FlexPendant

- Joggen is het bewegen van de robotarm in handmatige modus met bijvoorbeeld de joystick of via Touch Jog.
- Lineair joggen: TCP beweegt over een rechte lijn.
- As bij as joggen: Bewegen van afzonderlijke assen.

9

FlexPendant

- Voor meer informatie over het bedienen van de FlexPendant, lees hoofdstuk 2 *Navigating and handling the FlexPendant* in de *Operating manual – OmniCore*.
- Voor meer informatie over het wisselen tussen automatische en handmatige modus, lees hoofdstuk 3 *Changing operating modes* in de *Operating manual – OmniCore*.
- Voor meer informatie over het joggen, lees hoofdstuk 5 *Jogging* in de *Operating manual – OmniCore*.

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

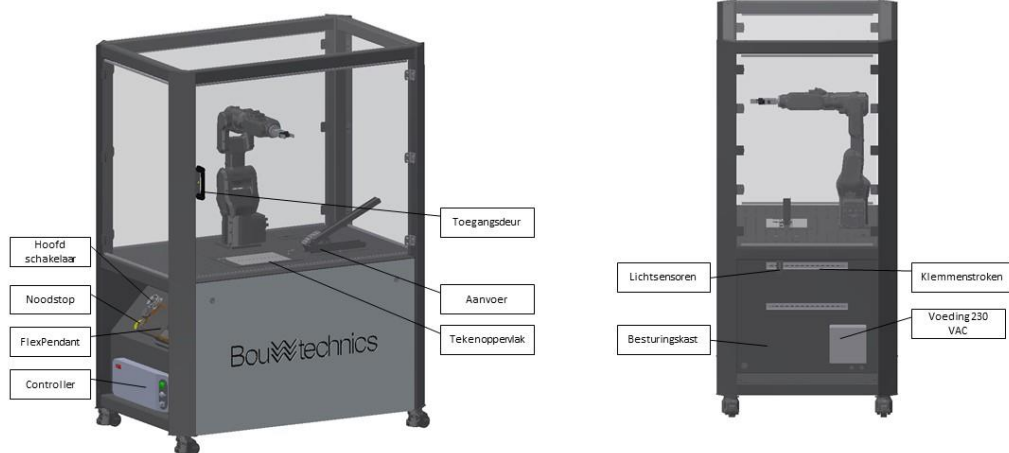
10

Veiligheid

- Noodstop knoppen op robotcel en flexpendant, actief in automatische en handmatige modus
- Veiligheidsschakelaar deur, alleen actief in automatische modus.
- Drie-positie knop in handmatige modus.
- Drie-positie knop is een drukschakelaar met drie posities.
- Midden positie: activeren motoren in handmatige modus.
- Knop loslaten of helemaal indrukken: Robot stop.

11

Robotcel



12

2. Coördinatensystemen en move instructies

Robotcel Bouwtechnics

Coördinatensystemen en move instructies

Informatie uit de *Operating manual – OmniCore* is gebruikt voor het maken van deze powerpoint.

Inhoud

- Coördinaatsystemen
- Wobj (werkobject) en robtargets
- TCP (Tool Center Point)
- Move instructies
- Zones
- Motion en program pointers

Coördinatensystemen

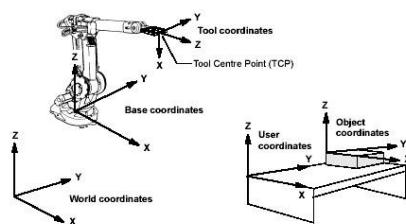
- Een coördinatensysteem definieert een vlak of ruimte vanuit een vast punt, de oorsprong. In de 3D ruimte wijzen drie assen vanuit de oorsprong, X, Y en Z.
- De robot gebruikt verschillende coördinatensysteem: Base, Wobj, Tool en World.

3

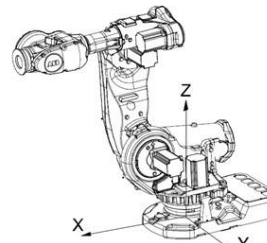
Coördinatensystemen

- Base coördinatensysteem ligt bij de basis van de robotarm.
- Wobj (werkobject) coördinatensysteem is gerelateerd aan het werkstuk
- Tool coördinatensysteem definieert de positie van de tool
- World coördinatensysteem valt gewoonlijk samen met de base coördinatensysteem

Coordinate systems



Bron afbeelding:
http://www.ipacv.ro/proiecte/robotstudio/textbooks/file/robot_motion.htm



Bron afbeelding: Operating manual - OmniCore

4

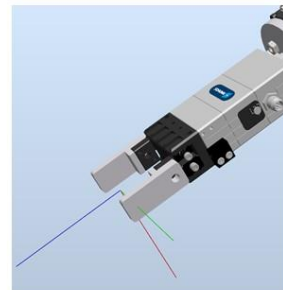
Wobj (werkobject) en robtargets

- Wobj0 is standaard coördinatensysteem en valt samen met de het Base coördinatensysteem.
- Het werkobject bestaat uit een user frame en een objectframe. Deze vallen meestal samen.
- Meerdere werkobjecten kunnen aangemaakt worden.
- Robtargets zijn punten die gedefinieerd zijn in een ruimte en een richting hebben. De robot gebruikt deze punten om te bepalen waarlangs de tool moet bewegen.
- Robtargets zijn gedefinieerd ten opzichte van een werkobject.
- Voordeel: bij een wijziging in positie van bijvoorbeeld een module hoeven niet alle robtargets opnieuw ingeleerd te worden.

5

TCP (Tool Center Point)

- De oorsprong van het tool coördinatensysteem is de TCP (Tool Center Point)
- Tool0 is TCP van flens robot.
- Nieuwe TCP is ten opzichte van tool0
- Bij een Move instructie beweegt de TCP van de robot van robtarget naar robtarget. De TCP valt samen met de robtargets.



6

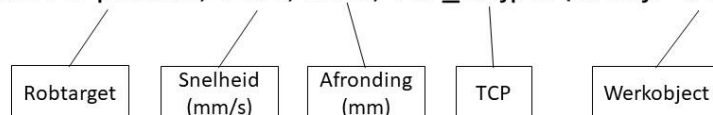
- Voor meer informatie over coördinaatsystemen, lees paragraaf 5.2 *Coordinate systemes for jogging* in de *Operating manual – OmniCore*.

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

7

Move instructies

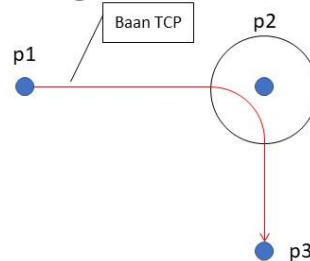
- MoveL: TCP beweegt in rechte lijn van punt naar punt
- MoveJ: TCP beweegt met behulp van een joint beweging van punt naar punt
- MoveC: TCP beweegt in een cirkel van punt naar punt.
- Voorbeeld: MoveJ pHome, v200, z100, TCP_Grijper\WObj:=wobj0



8

Afronding (Zone)

- Zone is de afronding van de baan die de robot volgt.
- Straal cirkel is de zone grootte.
- Zones zorgen ervoor dat de cpu gaat voorrijlen.



- Let op. Bij het gebruik van zones wordt bijvoorbeeld een uitgang eerder geactiveerd. Voor het bepalen van de baan wordt gekeken naar de volgende move instructie. Als er voor de volgende move instructie een instructie staat voor bijvoorbeeld het activeren van een uitgang, wordt deze tussendoor geactiveerd.

9

Motion en program pointers

- Motion pointer (MP): geeft aan welke instructie momenteel wordt uitgevoerd door de robot. (robot symbool)
- Program pointer (PP): geeft aan welke instructie wordt uitgevoerd en waar het programma start. (pijlte symbool)



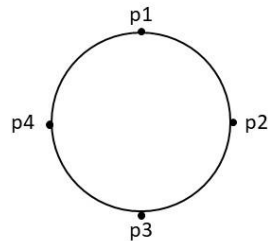
5	Set OpenGrijper;
6	MoveL pBlokje_pakken,v50,fine,TCP_Grijper\WObj:=wobj_aanvoer;
7	WaitDI Lichtsensor1, 1;
8	Reset OpenGrijper;

10

Voorbeeld programma cirkel

```
MODULE MainModule
  PROC main()
    MoveL p1, v100, fine, TCP_Stifhouder \WObj:=wobj_tekenoppervlak;
    MoveC p2, p3, v100, z1, TCP_Stifhouder \WObj:=wobj_tekenoppervlak;
    MoveC p4, p1, v100, fine, TCP_Stifhouder \WObj:=wobj_tekenoppervlak;
  ENDPROC
ENDMODULE
```

!TCP beweegt naar p1
!TCP beweegt naar p3 via p2
!TCP beweegt naar p1 via p4



11

Offset

- Offset kan gebruikt worden in een Move instructie.
- Binnen de offset functie kan een verschuiving in de X, Y en Z ten opzichte van een robtarget aangegeven worden.
- Voorbeeld: MoveL Offs(pHome, x, y, z), v200, z100, TCP_Grijper\WObj:=wobj0
- Voor x, y en z kan een getal ingevuld worden. Er wordt dan bewogen naar het punt dat verschoven is met een offset ten opzichte van pHome.

12

3. TCP, werkobjecten, gewichten en digitale in- en uitgangen definiëren

Robotcel Bouwtechnics

TCP, werkobjecten, gewichten en digitale in- en uitgangen definiëren via FlexPendant

Informatie uit de *Operating manual – OmniCore* is gebruikt voor het maken van deze powerpoint.

Inhoud

- TCP gripper, stifthouder en teachpen
- Stappenplan aanmaken tool en TCP
- Stappenplan inleren TCP
- LoadIdentify
- LoadIdentify Tool
- LoadIdentify Product
- Stappenplan LoadIdentify
- Werkobject aanvoer en tekenoppervlak
- Stappenplan aanmaken werkobject
- Stappenplan inleren werkobject
- Digitale in- en uitgangen
- Digitale in- en uitgangen beheren

TCP gripper, stifthouder en teachpen

- Tool Center Points kunnen van te voren aangemaakt worden in RobotStudio of via de FlexPendant.
- TCP gripper is verschoven met 136 mm in Z-richting t.o.v. tool0.
- Waarde van TCP gripper kan ingevuld worden.
- TCP stifthouder is de TCP van de stift.
- Stift kan verschoven worden in stifthouder en TCP moet daarom ingeleerd worden.
- TCP teachpen is de TCP van de teachpen voor het inleren van werkobjecten



3

Stappenplan aanmaken tool en TCP

1. Ga naar *Calibrate* en kies dan *Tool* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
 2. Ga naar *Create New Data* in het rechter menu. (Drie zwarte stipjes) De *Create Tool* menu wordt weergegeven. Vul alle informatie in bij de tap *Declaration*.
 3. Vul bij de tap *Value* de data bij *Tool Frame* in wanneer bekend. (Bij TCP gripper vul bij Position 0, 0, 136 in)
 4. Kies *Apply* om de informatie op te slaan en de tool aan te maken.
- Voor meer informatie over het aanmaken van een TCP, lees paragraaf 6.6.3 *Creating a tool* in de *Operating manual – OmniCore*.

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

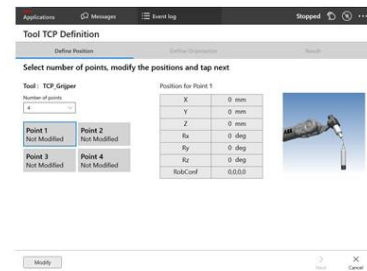
4

Stappenplan inleren TCP

1. Ga naar *Calibrate* en kies dan *Tool* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
2. Kies welke tool gedefinieerd moet worden.
3. Kies *Define* in het menu. (Drie zwarte stipjes achter tool)
4. Het *Tool TCP Definition, Define Position* scherm wordt weergegeven.
5. Selecteer bij *Number of points* 4 en kies *Modify* om de punten te definiëren.
6. Beweeg met de punt van de stift om een vast punt
7. Kies *Next*. Het *Tool TCP Definition, Define Orientation* scherm wordt weergegeven.
8. Selecteer bij Methode de methode voor orientatie. (Bij TCP stifthouder en TCP teachpen kies *TCP (default orient.)*)
9. Kies *Modify* om de punten te definiëren.
10. Kies *Next*. Het *Tool TCP Definition, Calibration Result* scherm wordt weergegeven. (Max Error < 2 en Mean Error < 0,8)
11. Kies *Finish* om de informatie op te slaan.

- Voor meer informatie over het inleren van het TCP, lees paragraaf 6.6.5 *Defining the tool frame* in de *Operating manual – OmniCore*

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.



5

LoadIdentify

- LoadIdentify voor het automatisch bepalen van het de fysieke eigenschappen, zoals gewicht en massamiddelpunt van de tool en het te verplaatsen product.
- De informatie voor het gewicht en het massamiddelpunt kan ook handmatig ingevuld worden bij de tooldata, zie Stappenplan aanmaken tool en TCP.

6

LoadIdentify Tool

Aandachtspunten vóór starten LoadIdentify service routine voor bepalen toolgewicht:

- De tool is geselecteerd in het jogging menu.
- De tool is juist gemonteerd.
- As 6 is ongeveer horizontaal gepositioneerd.
- De assen 3, 5 en 6 zijn niet gepositioneerd dichtbij de limieten.
- De snelheid staat op 100%.
- De handmatige modus is geselecteerd.

7

LoadIdentify Product

Aandachtspunten vóór starten LoadIdentify service routine voor bepalen productgewicht:

- De tool en product zijn juist gemonteerd.
- As 6 is ongeveer horizontaal gepositioneerd.
- Het gewicht van de tool is bepaald.
- Het TCP van de tool moet bekend zijn.
- De assen 3, 5 en 6 zijn niet gepositioneerd dichtbij de limieten.
- De snelheid staat op 100%.
- De handmatige modus is geselecteerd.

8

Stappenplan LoadIdentify

1. Ga naar *Operate* en kies dan *Service Routines* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
 2. Kies *LoadIdentify*
 3. Druk de Drie-positie knop tot halverwege in.
 4. Druk de startknop op de FlexPendant in.
 5. De *Load Identification* wordt weergegeven. Klik op *OK*.
 6. Kies *Tool* of *Payload* voor respectievelijk het bepalen van het toolgewicht of het productgewicht.
 7. Volg alle instructies op de FlexPendant.
- Voor meer informatie over het LoadIdentify, lees paragraaf 6.10.6 *Load identification service routine* in de *Operating manual – OmniCore*

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

9

Werkobject aanvoer en tekenoppervlak

- Werkobjecten kunnen van tevoren aangemaakt worden in RobotStudio of via de FlexPendant.
- De werkobjecten moeten in de praktijk ingeleerd worden om de juiste positie vast te stellen.
- Voor het inleren van de werkobjecten moet de teachpen gebruikt worden. Deze heeft een scherpe punt voor het nauwkeurig inleren van de werkobjecten.

10

Stappenplan aanmaken werkobject

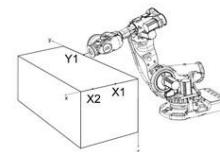
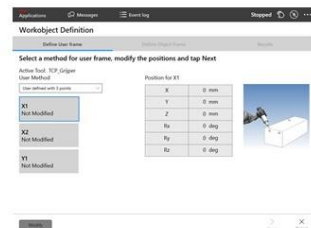
1. Ga naar *Calibrate* en kies dan *Workobject* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
 2. Ga naar *Create New Data* in het rechter menu. (Drie zwarte stipjes) De *Create Workobject* menu wordt weergegeven. Vul alle informatie in bij de tap *Declaration*.
 3. Vul bij de tap *Value* de data bij *User Frame* en *Object Frame* in wanneer bekend.
 4. Kies *Apply* om de informatie op te slaan en het werkobject aan te maken.
- Voor meer informatie over het aanmaken van een werkobject, lees paragraaf 6.7.2 *Creating a work object* in de *Operating manual – OmniCore*.

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

11

Stappenplan inleren werkobject

1. Kies de TCP van de teachpen als actieve TCP.
2. Ga naar *Calibrate* en kies dan *Workobject* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
3. Kies welk werkobject gedefinieerd moet worden.
4. Kies *Define* in het menu. (Drie zwarte stipjes achter tool)
5. Het *Workobject Definition, Define User frame* scherm wordt weergegeven.
6. In de *User method* lijst selecteer *User defined with 3 points*.
7. Selecteer elke punt, jog de TCP van de teachpen naar het punt en klik op *Modify*.
8. Kies *Next*. Het *Workobject Definition, Define Object frame* scherm wordt weergegeven.
9. In de *Object method* lijst selecteer *No Change (same as User frame)*
10. Kies *Next*. Het *Workobject Definition, Calibration Result* scherm wordt weergegeven.
11. Kies *Finish* om de informatie op te slaan.



- Voor meer informatie over het inleren van het werkobject, lees paragraaf 6.7.4 *Defining a work object* in de *Operating manual – OmniCore*

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

12

Digitale in- en uitgangen

- De controller beschikt over 16 digitale ingangen en 16 digitale uitgangen.
- Digitale ingangen worden gebruikt om de waarde van sensoren uit te lezen. En kunnen 'hoog' (1) of 'laag' (0) zijn.
- Digitale uitgangen worden gebruikt om bijvoorbeeld een gripper te openen of te sluiten. Digitale uitgangen kunnen 'hoog' (1) of 'laag' (0) geschakeld worden.

13

Digitale in- en uitgangen beheren

1. Ga naar I/O en kies dan *Signals* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
 2. Alle signalen worden weergegeven. De signalen kunnen gefilterd worden.
 3. Kies voor *Digital Inputs* om alle digitale ingangen weer te geven.
 4. Kies voor *Digital Outputs* om alle digitale uitgangen weer te geven.
- Voor meer informatie over in- en uitgangen, lees hoofdstuk 8 *Handling inputs and outputs, I/O* in de *Operating manual – OmniCore*

Wijzigingen zijn voorbehouden. Bij updates van de *Operating manual – OmniCore* kunnen wijzigingen optreden in de hoofdstuknummers en/of de hoofdstuknamen.

14

4. RobotStudio

Robotcel Bouwtechnics

RobotStudio

Inhoud

- Informatie
- Beginschermbot RobotStudio
- Omgeving robotcel
- Tabbladen
- Station en RAPID
- Station
- RAPID
- Modules
- Computer verbinden met controller
- Inloggen op controller via RobotStudio

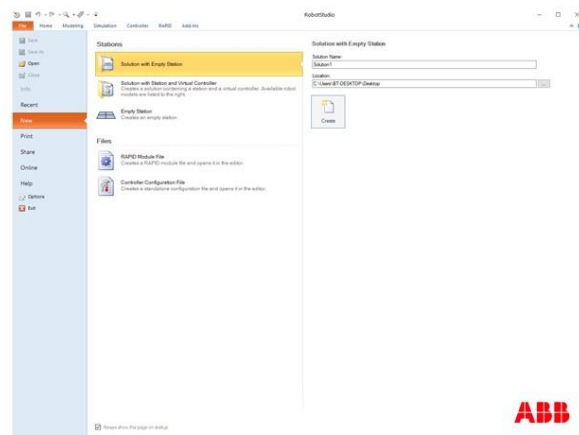
Informatie

- RobotStudio is een computerprogramma waarin de robot geprogrammeerd en gesimuleerd kan worden.
- Online en offline programmeren.
- Offline programmeren met behulp van virtuele controller.
- Virtuele controller is gelijk aan robotcontroller.

3

Beginscherm RobotStudio

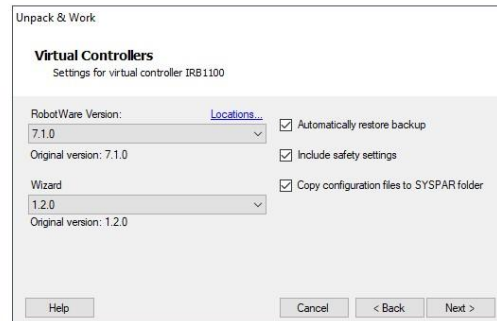
- Openen solution en nieuwe solution maken



4

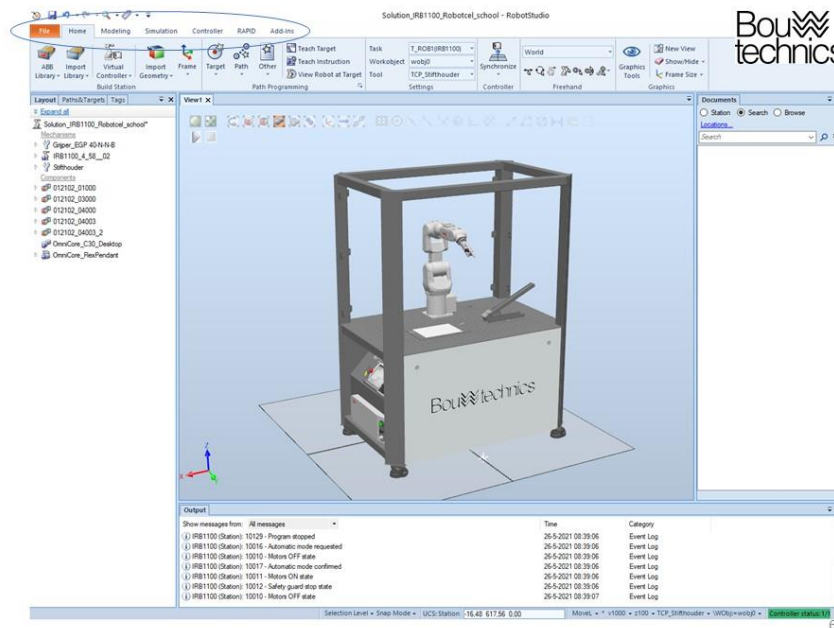
Omgeving robotcel

- Uitpakken bestand *Solution_IRB1100_Robotcel_school*.
- Alles aanvinken, zie afbeelding.
- Als het bestand is uitgepakt wordt de station van de robotcel weergegeven.



5

- Home
- Modeling
- Simulation
- Controller
- RAPID



Tabbladen

- Home: toevoegen 3D onderdelen, targets en paden aanmaken, etc.
- Modeling: Modellen aanmaken voor bijvoorbeeld het bewegen van transportbanden, grippers en andere objecten.
- Simulation: Simuleren van de robot en eventuele andere objecten.
- Controller: Parameters en configuratie van de controller bewerken.
- RAPID: Het schrijven van het programma in RAPID en het programma testen.

7

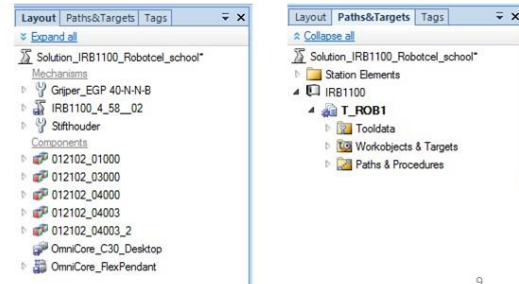
Station en RAPID

- Station bestaat uit de tabbladen: Home, Modeling en Simulation
- RAPID bestaat uit de tabbladen: Controller en RAPID
- Het is handig om de Station te gebruiken voor het aanmaken van werkobjecten, tools en robtargets.
- Het is handig om RAPID te gebruiken voor het schrijven van een programma.
- Tussen deze twee kan gesynchroniseerd worden.
- Synchroniseren van Station naar RAPID: Overzetten van paden en targets in de Station naar RAPID code.
- Synchroniseren van RAPID naar Station: Overzetten van RAPID code naar paden en targets in de Station.

8

Station

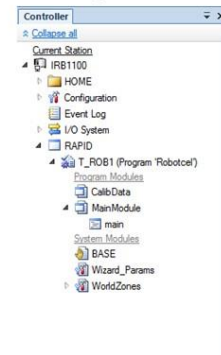
- Layout en Paths&Targets in linker kolom, zie afbeeldingen
- Layout geeft de 3D onderdelen in de Station aan, zoals de robotcel, de gripper, de robot, etc.
- Paths&Targets geeft de Tooldata, de werkobjecten & targets en de paden & procedures weer.



9

RAPID

- Controller in linker kolom, zie afbeelding
- Configuration: configureren van de controller, bijvoorbeeld aanmaken van I/O signalen.
- RAPID bestaat uit één of meer taken (T_ROB1).
- De taak T_ROB1 bestaat uit Program Modules en Sytem Modules. Program Modules worden gebruikt om het programma in te schrijven.



10

Modules



- In de Program Module CalibData zijn de tools, de payloads en de werkobjecten gedefinieerd.
- In de Program Module MainModule is de main procedure gedefinieerd. In de main procedure kan begonnen worden met programmeren.
- In de main procedure kunnen bijvoorbeeld andere procedures in andere Program Modules aangeroepen worden.

11

Computer verbinden met controller

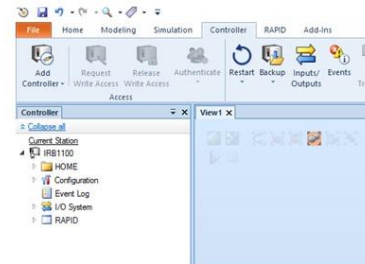


- Met behulp van een UTP kabel kan een computer verbonden worden met de controller.
- De computer moet aangesloten worden via de MGMT poort op de controller.
- Als de computer met de controller is verbonden kan RobotStudio opgestart worden.

12

Inloggen op controller via RobotStudio

- Ga naar het tabblad *Controller* in RobotStudio.
- Klik links bovenin op *Add Controller* en dan op *One Click Connect...*
- Nu is ingelogd op de controller. Het onderstaande scherm wordt weergegeven.



13

Programma uploaden naar controller

- Ga naar het tabblad *Controller* in RobotStudio.
- Klik links op de verbonden controller.
- Ga in het tabblad *Controller* naar *Transfer* en klik op *Create Relation*.
- Maak een naam aan voor de relation en kies de richting van de relation. Controller -> Virtuele controller of Virtuele controller -> Controller.
- Vink de delen aan die naar de controller geüpload moeten worden.

14

5. Tutorial tekenen via FlexPendant

Robotcel Bouwtechnics

Tutorial tekenen via FlexPendant

Inhoud

- Vierkant tekenen met joggen
- Programma testen
- Instructies tekenen
- Vierhoek tekenen
- Cirkel tekenen
- Tekenmodule en routine aanmaken
- Cirkel tekenen
- Vervolg oefeningen

Vierkant tekenen met joggen

- De digitale uitgangen van de gripper zijn gedefinieerd.
1. Bevestig de stifthouder met de stift aan de gripper door de gripper te sluiten. (Signaal OpenGripper op '0' zetten en signaal SluitGripper op '1' zetten m.b.v. FlexPendant)
 2. Teken een vierkant op het papier door de robot met de stifthouder en stift te joggen.

3

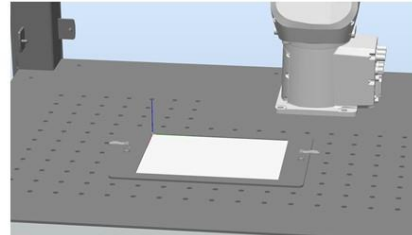
Programma testen

- Testen werking robotprogramma
 - Wanneer programma klaar:
1. QuickSet menu, Control en speed naar 10% zetten.
 2. Klik op *Debug* en vervolgens op *PP to Main*.
 3. Om het programma stap voor stap te doorlopen gebruik de vooruitknop op de FlexPendant voor het uitvoeren van de volgende instructie.
 4. Om het programma compleet te testen klik op de startknop.
 5. Als het programma goed werkt kan de speed omhoog gezet worden.

4

Instructies tekenen

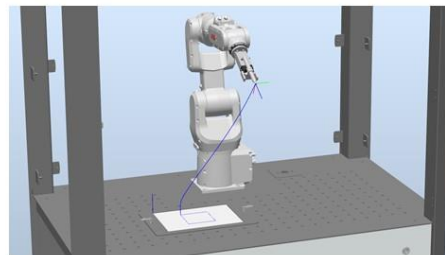
- De TCP van de gripper is bekend.
 - De robtarget voor de homepositie van de robot is bekend.
1. TCP van stifthouder inleren, zie PowerPoint 3.
 2. Werkobject aanmaken en definiëren voor het tekenoppervlak, zie PowerPoint 3.
Leg het werkobject in een hoek van het tekenoppervlak, zie afbeelding.



5

Vierhoek tekenen

1. Ga naar *Code* op de FlexPendant.
2. Programmeer met behulp van MoveJ en MoveL instructies een vierhoek in de main procedure, zie PowerPoint 2.
3. Eindig het programma met een Move instructie naar de home target.
4. Test het programma.



6

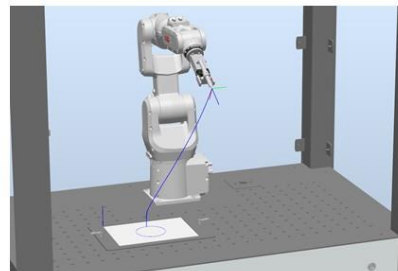
Tekenmodule en routine aanmaken

1. Ga naar *Code* en kies dan *Modules* in het menu. (Drie zwarte streepjes)
2. Kies *New Module* in het menu om een nieuwe module aan te maken. (Drie zwarte stipjes achter tool)
3. Vul een naam in (Teken), kies bij *Module Type* voor *Program* en kies *apply* om de module aan te maken.
4. Kies *View Routines* door op de drie zwarte stipjes te klikken achter de gemaakte module.
5. Maak een nieuwe routine aan door op de drie zwarte stipjes te klikken rechts bovenin.
6. Vul een naam in (Vierhoek), kies bij *Routine Type* voor *Procedure* en kies *apply* om de routine aan te maken.
7. Kopieer de Move instructies in de main voor het tekenen van een vierhoek naar de gemaakte routine (Vierhoek) in de Tekenmodule.
8. Test het programma

7

Cirkel tekenen

1. Maak een nieuwe routine voor het tekenen van een cirkel aan binnen de tekenmodule, zie vorige dia.
2. Programmeer met behulp van MoveJ, MoveL en MoveC instructies een cirkel in de nieuwe aangemaakte routine, zie PowerPoint 2.
3. Eindig het programma met een Move instructie naar de home target.
4. Roep de routine aan in de main.
5. Klik op *Debug*, vervolgens op *PP to Main* en start het programma met de startknop.



8

Vervolg oefeningen

- Teken de cirkel vanuit één robtarget die in het midden van de cirkel ligt met behulp van offsets, zie PowerPoint 2.
- Teken de vierhoek vanuit één robtarget met behulp van offsets.
- Teken de cirkel in het midden van de vierhoek, door eerst de routine voor het tekenen van een vierhoek aan te roepen in de main en vervolgens de routine voor het tekenen van een cirkel.

6. Tutorial pick en place

Robotcel Bouwtechnics

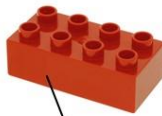
Tutorial pick en place RobotStudio

Inhoud

- Informatie
- Aanmaken robtargets en werkobjecten
- Openen en sluiten gripper
- Sensoren uitlezen
- Programma testen
- Opdrachten
- Blokje oppakken
- Blokje plaatsen
- Blokjes palletiseren
- Blokjes sorteren

Informatie

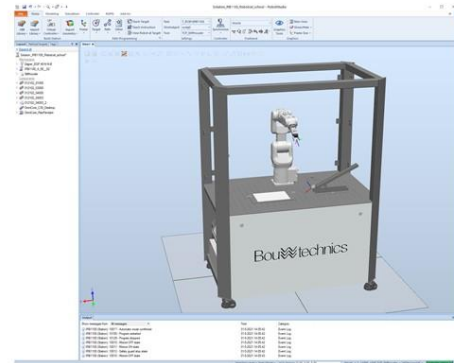
- TCP gripper is bekend en aangemaakt.
- Werkobject aanvoer is aangemaakt.
- TCP en Werkobject data staat in module CalibData
- Lego Duplo blokjes van twee verschillende formaten worden gebruikt bij de pick en place taak.
- De aanvoer moet op de montageplaat gemonteerd worden.



Rechthoekig Lego
Duplo blokje



Vierkant Lego
Duplo blokje



```
1 MODULE CalibData
2   PERS tooldata TCP_Gripper=[TRUE,[[0,0,190],[1,0,0,0]],[[0,0,-15,-9,619,73,257],[1,0,0,0],[0,0,0,0]]];
3   TASK PERS wobjdata wobj_aanvoer=[FALSE,TRUE,--,[[182.638,318.52,40.067],[0.953716951,0,0.3807958,0]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
4 ENDMODULE
```

3

Aanmaken robtargets en werkobjecten

- Robtargets en werkobjecten kunnen het best gemaakt worden in de Station. Hierbij kunnen de robtargets visueel gemaakt worden.
- De robtargets en werkobjecten kunnen in het Home tabblad aangemaakt worden. De robtargets zijn gekoppeld aan een werkobject. Activeer eerst het juist werkobject voordat de robtargets aangemaakt worden.
- Robtargets: ga naar *Target* en dan *Create Target*.
- Werkobjecten: ga naar *Other* en dan *Create Workobject*.



- Robtargets en werkobjecten synchroniseren naar RAPID:
 1. Voeg de robtargets eerst toe aan een leeg pad. Ga naar *Path* en dan *Empty Path* in het *Home* tabblad om een leeg pad aan te maken. Sleep de robtargets vervolgens naar het lege pad.
 2. Ga naar *Synchronize* en dan *Synchronize to RAPID...* in het *Home* tabblad.
 3. Vink de robtargets en werkobjecten aan en druk op OK.
 4. De werkobjecten staan in de module *CalibData*. De robtargets staan in de *MainModule*.

4

Openen en sluiten grijper

- Twee signalen zijn aangemaakt: SluitGrijper en OpenGrijper.
- Set: activeren signaal (signaal op 'hoog' (1) zetten)
- Reset: deactiveren signaal (signaal op 'laag' (0) zetten)
- Voordat een signaal geactiveerd wordt moet het andere signaal gedeactiveerd worden.
- Open grijper: `Reset SluitGrijper;`
`Set OpenGrijper;`
- Sluit grijper: `Reset OpenGrijper;`
`Set SluitGrijper;`

5

Sensoren uitlezen

- Twee signalen zijn aangemaakt: lichtsensor1 en lichtsensor2.
- Lichtsensor 1 is voor het detecteren of er een blokje vooraan in de aanvoer ligt.
- Lichtsensor 2 is voor het detecteren of er een groot of klein blokje vooraan in de aanvoer ligt.
- Als er vooraan een klein blokje ligt en daarachter een groot blokje, dan ontstaat er een spleet tussen de twee blokjes, zie de afbeelding. Als er een spleet is ter hoogte van sensor 2 wordt de uitgang niet geactiveerd. Als er geen spleet is wordt de uitgang van sensor 2 geactiveerd.
- Instructie voor het wachten totdat een sensor geactiveerd (1) wordt: `WaitDI`.
- Instructie voor het wachten totdat bijvoorbeeld sensor 1 is geactiveerd: `WaitDI Lichtsensor1, 1;`



6

Programma testen

- Door op Check Program te klikken in het *RAPID* tabblad wordt het programma gecheckt.
- Visualiseer het programma:
 1. Ga naar *Synchronize* en dan *Synchronize to Station...* in het *RAPID* tabblad.
 2. Vink alles aan en druk op OK.
 3. Ga naar het *Simulation* tabblad en druk op Play. De simulatie start



7

Opdrachten

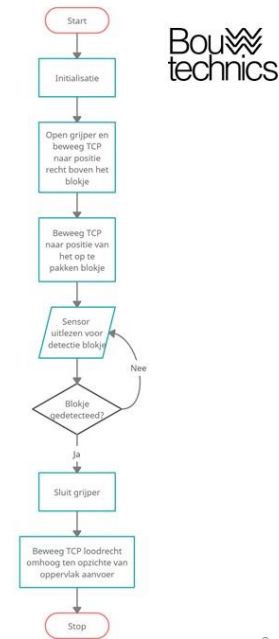
- Open de *Solution_IRB1100_Robotcel_school* in RobotStudio en voer de volgende opdrachten uit met behulp van RAPID code:
 - Blokje oppakken
 - Blokje plaatsen
 - Blokjes palletiseren
 - Blokjes sorteren

8

Blokje oppakken

- Maak een routine in de Module Pick_and_Place voor het oppakken van een vierkant Lego Duplo Blokje aan de hand van de flowchart.

1. Creëer de robtargets.
2. Maak de routine aan.
3. Gebruik MoveL en MoveJ instructies.
4. Open gripper en sluit gripper op juiste moment.
5. Test het programma door de routine in de main() aan te roepen.



9

Blokje plaatsen

- Maak een routine in de Module Pick_and_Place voor het plaatsen van een vierkant Lego Duplo Blokje aan de hand van een zelfgemaakte flowchart.

1. Maak een werkobject aan voor de plaats waar de blokjes moeten worden geplaatst. Plaats de blokjes bijvoorbeeld op het tekenoppervlak.
2. Creëer de robtargets.
3. Maak de routine aan.
4. Gebruik MoveL en MoveJ instructies.
5. Open gripper en sluit gripper op juiste moment.
6. Test het programma door de routine in de main() aan te roepen.

10

Bou techniques

- 11

Bou techniques

- $\xrightarrow{X}$
 $\downarrow Y$
- | | |
|---|---|
| 1 | 3 |
| 2 | 4 |



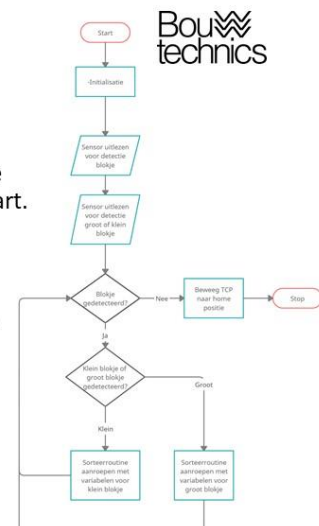
Blokjes palletiseren uitbreiden

- Pas het palletiseerprogramma aan, zodat een keuze kan worden gemaakt tussen het palletiseren van een rechthoekige en vierkante Lego Duplo blokjes.
- Pas het palletiseerprogramma vervolgens aan, zodat van te voren gekozen kan worden hoeveel blokjes in de X-richting en Y-richting geplaatst moeten worden.

13

Blokjes sorteren

- Maak een routine in de Module Pick_and_Place voor het sorteren van de vierkante en rechthoekige blokjes op grootte aan de hand van de flowchart.
1. Maak de routine aan.
 2. Gebruik de Lichtsensor2 voor het detecteren welk type blokje vooraan in de aanvoer ligt.
 3. Gebruik de aangemaakte routines voor het oppakken en plaatsen van de Lego Duplo blokjes.
 4. Gebruik de aangemaakte routine van het palletiseren van de blokjes voor het netjes sorteren van de twee verschillende groottes blokjes.



14

Bijlage 21 – Foto's assembleerproces

In deze bijlage worden de foto's van het assembleerproces weergegeven. In het bijschrift van de figuren wordt een omschrijving weergegeven.



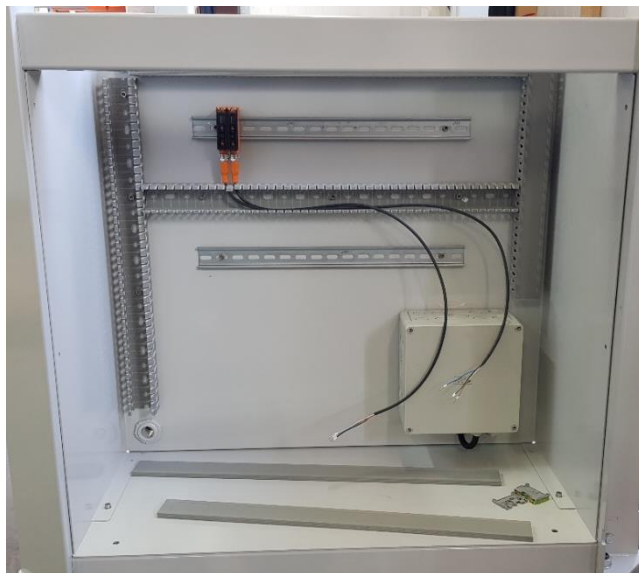
Figuur 61: Gepoedercoate onderdelen.



Figuur 60: Geassembleerd frame met alle gecoate onderdelen.



Figuur 62: Geassembleerd frame met noodstopknop en werkschakelaar.



Figuur 64: Assemblage besturingskast.



Figuur 63: Elektrokastje met aardlekautomaat.



Figuur 67: Geassembleerd frame met controller en deur.



Figuur 68: Frame met montageplaat.



Figuur 65: Frame met robot en modules.



Figuur 66: Bevestiging controller door de achterkant van controller in te sluiten met een plaat met daarin een gat in de vorm van de controller.



Figuur 69: Robot bezig met het sorteren van Lego Duplo blokjes.



Figuur 70: Geassembleerde robotcel met opaalwitte platen.