

Digital Business & Society
Industriële Automatisering & Robotica

Eindrapportage

Automatisering van Flexibele Quick Response Manufacturing (AutoFlex-QRM)





Colofon

Titel: Eindrapportage: Automatisering van Flexibele Quick Response Manufacturing (Autoflex QRM)

Publicatie nummer: DBS IAR 108938 2201

Datum: 15 december 2022

Auteurs: Wilbert van de Ridder
Paul Klop
Peter Schuurhuis
Richard Rosing
Aart Schoonderbeek

Subsidieverstrekker: Tech For Future - Centre of Expertise HTSM Oost

In samenwerking met: AWL Techniek

Deze publicatie van Windesheim valt onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie. Dit betekent dat de kennis uit deze publicatie hergebruikt mag worden als basis voor de ontwikkeling van nieuwe kennis mits de naam van de auteur en/of Windesheim hierbij vermeld wordt.

Deze publicatie wordt uitgebracht door de programmalijn Industriële Automatisering & Robotica van het lectoraat Digital Business & Society, een praktijkgerichte onderzoeksgroep van Hogeschool Windesheim.

Voorwoord

Dit rapport bevat de inhoudelijke eindrapportage van de uitgevoerde werkzaamheden binnen het TechForFuture project 'Automatisering van Flexibele Quick Response Manufacturing', afgekort 'AutoFlexQRM'. TechForFuture is een samenwerking tussen hogeschool Saxion en hogeschool Windesheim. Binnen TechForFuture wordt toegepast onderzoek gedaan, kennis ontwikkeld en worden (versnelde) innovaties gerealiseerd door een unieke samenwerking tussen hogescholen, universiteiten en bedrijven op het gebied van Hightech Systemen & Materialen (HTSM).

Dit project zou onmogelijk zijn geweest zonder de inzet van vele personen. Daarom gaat onze dank uit naar:

AWL Techniek

Matthijs van der Heide, Wilbert van de Ridder.

Hogeschool Windesheim

Aart Schoonderbeek, Wilbert van de Ridder, Richard Rosing, Paul Klop, Peter Schuurhuis, Annemiek Overweg, Mark Naves, Marthijn Westrup.

Edwin Pap, Stijn Otten, Xander Bronkhorst, Benthe Meijer, Marco Wiersma, Toon Helmer, Jeffrey Dijkstra, Peter Pakkert, Jesse Visch, Koen ter Horst, Mike van Boven, Randy Hofstede, André van Vliet, Noah Snoeks, Mattias Westerink, Bart Eekelder, Herralt Smienk, Emre Gürcan, Bert-Jan Koerts, Gijs van Eldik.

Diverse bedrijven voor hun ondersteuning en input:

- RTI: voor het beschikbaar stellen van hun RTI Connex software omgeving.
- KPN: voor de input omtrent 5G voor Industrial IoT.
- ECI Solutions: voor het beschikbaar stellen van hun ERP pakket.
- OTTO / OMRON / MiR / Geek+: voor het beschikbaar stellen en de kennisdeling van mobiele robot applicaties.

Dit project is mede mogelijk gemaakt door Perron038; de locatie waar de onderzoeksactiviteiten zijn uitgevoerd, het Fieldlab Industrial Robotics; voor de inspirerende gesprekken en het meedenken.

Het onderzoek is uitgevoerd onder leiding van de onderzoekers van de onderzoeksgroep Industriële Automatisering & Robotica (IA&R) van hogeschool Windesheim. Hierbij zijn ook studenten en het bedrijfsbureau van diverse technische studies betrokken. De resultaten van het project zijn onder de aandacht gebracht van het bedrijfsleven door middel van diverse presentaties en publicaties. De projectdeelnemers zien terug op een leerzaam, inspirerend en succesvol project. Wij wensen u veel leesplezier toe!

Het projectteam,

Zwolle, december, 2022

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
1 Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding & context.....	5
1.2 Doelstelling.....	7
1.3 Aanpak	7
2 Projectresultaten.....	11
2.1 Werkpakket 1: Product Handling	13
2.1.1 Het inzetten van een AMR om de halffabricaten, producten en gereedschappen te transporteren...13	
2.1.2 Ontwerp en realisatie geoptimaliseerde grippers en houders	17
2.1.3 Positionering en kalibratie van producten in de werkcellen.....	21
2.2 Werkpakket 2: Tooling.....	24
2.2.1 Inzet van cobots en robots	24
2.2.2 Inzet flexibele en/of uitwisselbare tooling.....	26
2.2.3 Software afloop aangepast aan het te verwerken product / proces	31
2.3 Werkpakket 3: Werkcel.....	33
2.3.1 Ontwerp en realisatie software aansturing van werkcellen.....	33
2.3.2 Realisatie universele en flexibele werkcellen	34
2.3.3 Integratie kwaliteitsinspectie – quality control	35
2.4 Werkpakket 4: Fabriek.....	36
2.4.1 Virtueel ontwerp en validatie productiefaciliteit.....	37
2.4.2 Virtual commissioning (VR/AR)	39
2.4.3 Onderzoek optimalisatie logistiek en routing	41
2.4.4 Koppeling en aansturing systemen op verschillende lagen in de fabriek	42
3 Samenvatting en conclusie.....	48
4 Vervolg.....	50
6 Bronnen.....	51
7 Bijlagen.....	52
7.1 Lijst met afkortingen en begrippen.....	52
7.2 Toegepaste software o.a.....	54
7.3 Protocol koppeling MES en werkcellen.....	55

1 Inleiding

1.1 Aanleiding & context

Veranderingen in de markt vinden steeds sneller plaats. Snel kunnen reageren op deze veranderingen vraagt flexibiliteit van de maakindustrie. De maakindustrie van hoog-volume productie verschuift steeds meer naar op maat gemaakte producten. Flexibiliteit in een productieproces kan worden gedefinieerd als “het vermogen om te veranderen of reageren met minimale terugval op het gebied van tijd, kosten of prestaties”. Er zijn veel verschillende vormen van flexibiliteit. Denk onder andere aan flexibiliteit wat betreft productvariaties, designs, aantallen, routing door de fabriek en product mix [1].

Als flexibiliteit goed toegepast wordt, is het vanuit de maakindustrie gezien mogelijk om sneller en beter aan te sluiten op de klantvraag. Denk hierbij onder andere aan verandering in type producten, volume en product mix. Zo kunnen de kosten verminderd en de tijd verkort worden waarbinnen aan een nieuwe klantvraag kan worden voldaan. Verder kan er een breder product-portfolio worden aangeboden zonder (potentieel grote) voorraden te moeten aanleggen. Ook kan er sneller worden ingesprongen op vertragingen die optreden in het productie en/of distributieproces [1].

Door de vooruitgang in de techniek wordt er steeds meer mogelijk. Daarom is het belangrijk om onderzoek en ontwikkeling te blijven uitvoeren om inzicht te krijgen welke elementen in een productieproces verder toegepast en verbeterd kunnen worden om flexibiliteit te vergroten.

Veel bedrijven in Nederland (en Europa) moeten het niet zozeer hebben van massaproductie, maar zijn vooral sterk in flexibiliteit, nodig voor enkelstuksfabricage en kleine series. Los van de vraag naar flexibiliteit zijn er maatschappelijke ontwikkelingen die een belangrijke rol spelen. Denk aan het tekort aan werknemers, lokale productie en reshoring van activiteiten. In het kader van medewerker welzijn groeit de wens om repetitief en gevaarlijk werk te automatiseren.

De vraagstelling voor dit onderzoek is geïnitieerd door AWL-Techniek in samenwerking met de onderzoekslijn Industriële Automatisering & Robotica (IA&R) van het lectoraat Digital Business & Society en wordt uitgevoerd bij het innovatiecentrum Perron038. Het project is ondersteund door TechForFuture. Het project is medio 2020 gestart en medio 2022 afgerond.

AWL-Techniek is een systeemintegrator (machinebouwer) die zich specialiseert in het ontwerpen en bouwen van slimme (modulaire) machines. AWL focust zich op drie disciplines: verbindingstechnologie, (logistieke) automatisering en assemblagetechniek. Het portfolio omvat laserlassen, booglassen, weerstandslassen, lijmverbindingen, Vision systemen, producthandling, kwaliteitscontrole en traceerbaarheid. AWL richt zich op zowel de automotive-, metaalverwerkings- als ook de logistieke branche waarbij hoge automatiseringsniveaus (met als pijlers PLC-techniek en industriële robots) en grote mate van flexibiliteit essentieel zijn. AWL is wereldwijd actief met vestigingen in Nederland, Tsjechië, China, Mexico, de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk.

Het lectoraat Digital Business & Society is een zelfstandige groep binnen Hogeschool Windesheim. Onder dit lectoraat valt de onderzoekslijn Industriële Automatisering & Robotica. Het lectoraat voert praktijkgerichte onderzoeksprojecten uit met diverse partners, waaronder AWL. De onderzoeksprojecten hebben als doel om kennis te ontwikkelen en om deze kennis te verspreiden. Daarnaast wordt aan docenten de mogelijkheid geboden om als onderzoeker kennis op te doen en bij te houden, wat uiteindelijk de kwaliteit van het onderwijs verhoogd. De opgedane kennis helpt bij het aanscherpen en relevant houden van het curriculum.

Perron038¹ is een innovatiecentrum gelegen naast het station in Zwolle, opgezet door de maakindustrie uit de regio. Machinebouwers en technische productontwikkelaars werken binnen deze omgeving samen aan innovatie op het gebied van robotics, IT-technologie, mechatronica, sensoren, additive manufacturing, vision en meer.

De vraag naar flexibiliteit in de maakindustrie vraagt invulling door zowel de producent als de machinebouwer. De producent moet inzichtelijk krijgen welke verbeteringen er mogelijk zijn (getoetst op technische en economische haalbaarheid) in samenwerking met de machinebouwers. Voor AWL is het van belang om te kunnen reageren op de toenemende vraag naar meer flexibiliteit in de productieprocessen bij het ontwerp van machines. Vanuit deze ontwikkeling wil AWL meer inzicht krijgen in productieconcepten waarbij hoge productieaantallen gecombineerd worden met hoge variëteit in producten en vraag op basis van vergaande automatisering.

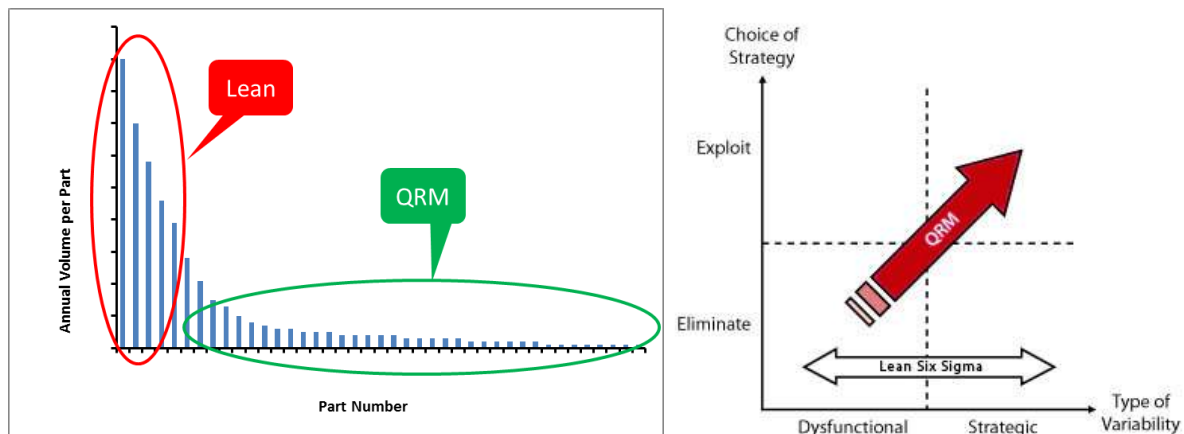
De aansturing van productiebedrijven zijn vaak in meer of mindere mate gebaseerd op in de industrie breder gedragen principes in de vorm van procesmanagement methodes. Bekende methodes zijn onder andere LEAN, (LEAN) Six Sigma, Total Predictive Maintenance (TPM) en Quick Response Manufacturing (QRM). Deze methodes zijn een collectie van best-practices die in de loop van de afgelopen eeuw zijn ontstaan en worden ook wel gezamenlijk geschaard onder de noemer World Class Manufacturing (WCM). Het is belangrijk om in het achterhoofd te houden dat ze vanuit verschillende invalshoeken (logistiek management, efficiëntieverbetering, doorlooptijdverkortening, foutreductie, kwaliteitsbeheersing, productiviteitsbeheersing, etc.) zijn ontstaan en in verschillende vormen van industrie. Daarom zit er overlap tussen de methodes en kunnen elementen uit de methodes elkaar prima aanvullen. Het zijn ook geen kant en klare recepten voor toepassing in eigen omgeving. Het is belangrijk dat de context en achtergrond van het ontstaan en toepasbaarheid van de verschillende methodes gewogen worden tegen de eigen situatie.

De procesmanagementmethodes zijn doorgaans brede concepten met uitwerking op de gehele organisatiestructuur. Binnen de scope van het project wordt dit verder buiten beschouwing gelaten. Er wordt puur onderzoek gedaan naar de toepassingen van de richtlijnen op de indeling en ontwerp van de geautomatiseerde productievloer. Ook worden de handvatten op het gebied van materiaalplanning, aankoop, leveringsketen, orders en ontwikkeling niet verder beschouwd in dit onderzoek.

In vooronderzoek is QRM geïdentificeerd als veelbelovend concept omdat dit specifiek focust op het strategisch inzetten van variabiliteit in het proces en focust op het verkorten van de doorlooptijd in het gehele proces [2]. Deze hoofdgedachten passen goed bij het uitgangspunt van dit project om meer flexibiliteit door middel van automatisering te realiseren. Dit als tegenhanger van de LEAN-gedachte om variabiliteit (in producttypes en productiecapaciteit) zoveel mogelijk te elimineren. Een belangrijk argument voor QRM is dat de totale kosten

¹ www.perron038.nl

dalen door het verminderen van de verborgen kosten die voortkomen uit een langere doorlooptijd (denk aan opslag, buffersystemen en infrastructuur).



FIGUUR 1 - QRM FOCUS. LINKS: MEER VARIATIE BIJ GELIJKE PRODUCTIEAANTALLEN [3]. RECHTS: STRATEGISCHE INZET VARIABILITEIT [2].

Met de opkomst van Smart Industry / Industry 4.0 zijn diverse ideeën ontstaan over hoe de fabriek van de toekomst er uitziet. Verder zijn er ook ontwikkelingen die AWL ziet in de markt die meegenomen worden als uitgangspunt. Denk hierbij aan de inzet van robots/cobots, Autonome Mobiele Robots (AMR) en vergaande digitalisering.

In dit project is de te onderzoeken probleemstelling: “hoe kan een geautomatiseerde flexibele ‘single-piece-flow’ productiefaciliteit volgens het QRM-principe worden opgezet”. In tegenstelling tot productie met vaste productierouting en productiestraten is QRM proces-georiënteerd en geschikt voor deze high-mix/low-volume productie. De complexiteit zit niet in de individuele producten (single-piece) maar in de grote diversiteit aan verschillende producten. De lange termijnvisie (over het eind van het project heen) is een productiefaciliteit met aantallen producten zoals in massaproductie gebruikelijk is, maar waarbij ieder product uniek is.

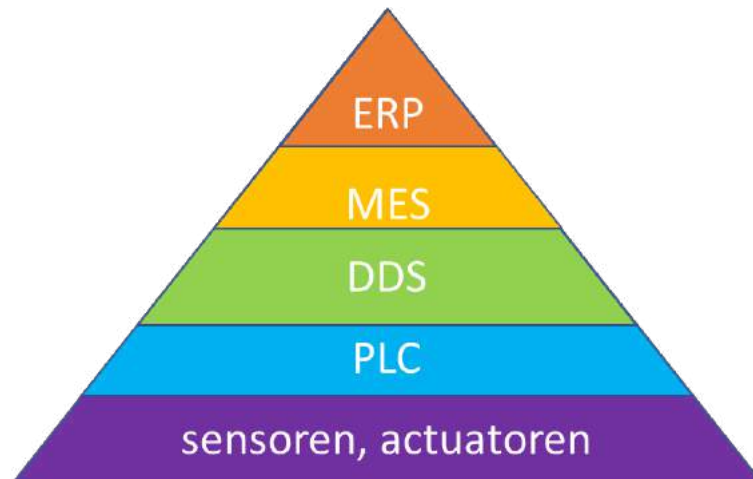
De focus in dit project ligt op het onderzoeken van de mogelijkheden van een geautomatiseerde flexibele QRM-productiefaciliteit. Daarbij is een deels fysieke en deels virtuele productiefaciliteit gerealiseerd voor testdoeleinden en als demonstrator. Deze demonstrator zal assemblage- en montagehandelingen verrichten.

1.2 Doelstelling

Doel van dit project is kennis te ontwikkelen rondom een ‘single-piece-flow’ productiefaciliteit met als leidraad het QRM-principe. Hiervoor worden generieke methoden en handreikingen ontwikkeld, die worden getoetst met simulatie van een volledige productiefaciliteit en een fysieke realisatie bestaande uit tenminste één werkcel gecombineerd met autonoom transport.

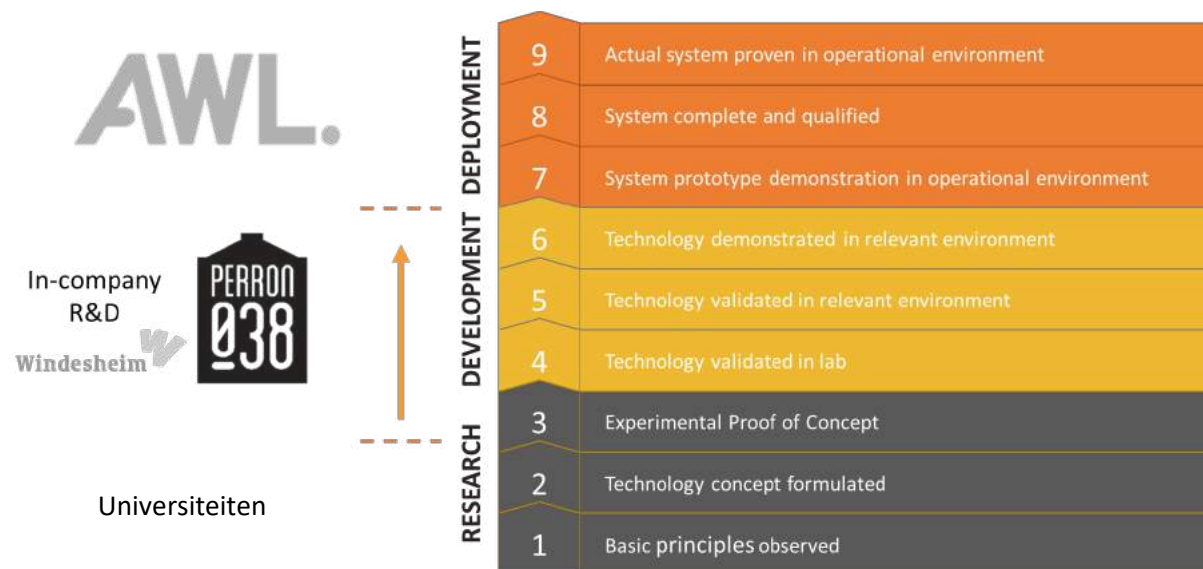
1.3 Aanpak

De kaders van het project worden gevormd door de systeem-pyramide op basis van de ISA95 en IEC 62264 standaarden zoals getoond in Figuur 2, beoogde TRLs (Technology Readiness Level) getoond in Figuur 3 en het QRM-concept. Het ERP systeem wordt als bovenzijde van het kader en op zichzelf staand aangenomen. Dus binnen het ERP systeem worden de producten en productiestappen als al bestaande informatie aangenomen.



FIGUUR 2 - SYSTEEM NIVEAUS PRODUCTIEOMGEVING OP BASIS VAN ISA 95 EN IEC 62264 EN RELEVANTE TECHNIEKEN OP HORIZONTAAL VLAKE EN TECHNIEKEN TER ONDERSTEUNING VAN VERTICALE INTEGRATIE.

Bij het identificeren, inzetten en evalueren van nieuwe concepten dient er rekening gehouden te worden met de toepasbaarheid in de industriële context van AWL. De ontwikkeling en technologiefocus is gebaseerd op de TRL-levels 3 t/m 6 (zie Figuur 3). Dit houdt concreet in dat het project de nieuwe ontwikkelingen op basis van beschikbare Proof of Concepts (PoC) en theorieën (b.v. uit academisch onderzoek) als uitgangspunt neemt, maar zelf geen fundamenteel onderzoek uitvoert naar bijvoorbeeld nieuwe planningstechnieken.

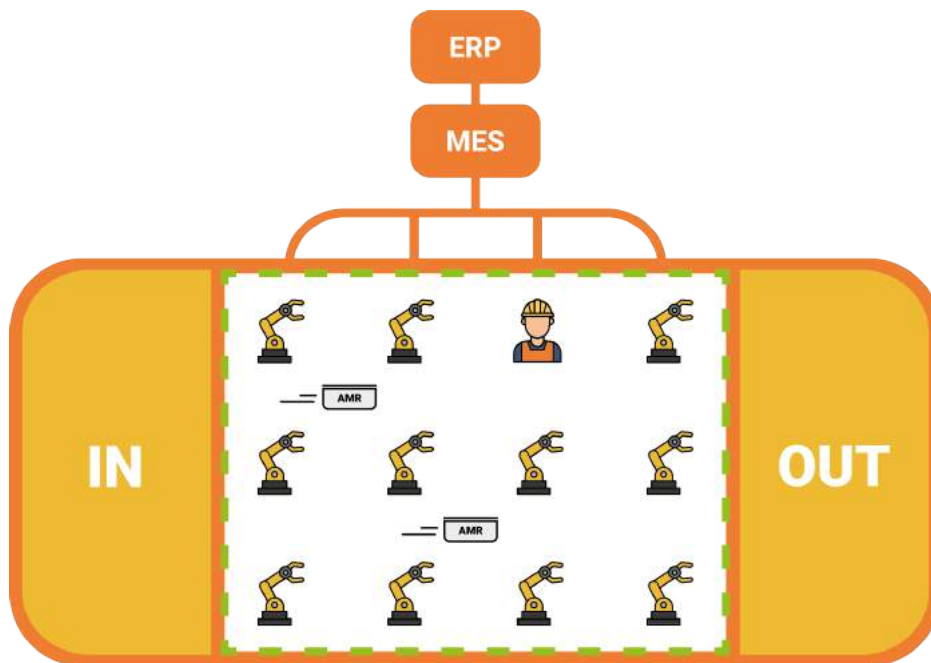


FIGUUR 3 - TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVELS).

Als kapstok binnen het project is er een conceptuele fabriekslay-out gedefinieerd met daarin een productieproces welke relevant is voor de industrie waarin AWL zich beweegt en waar het lectoraat kennis van zaken heeft (de maakindustrie).

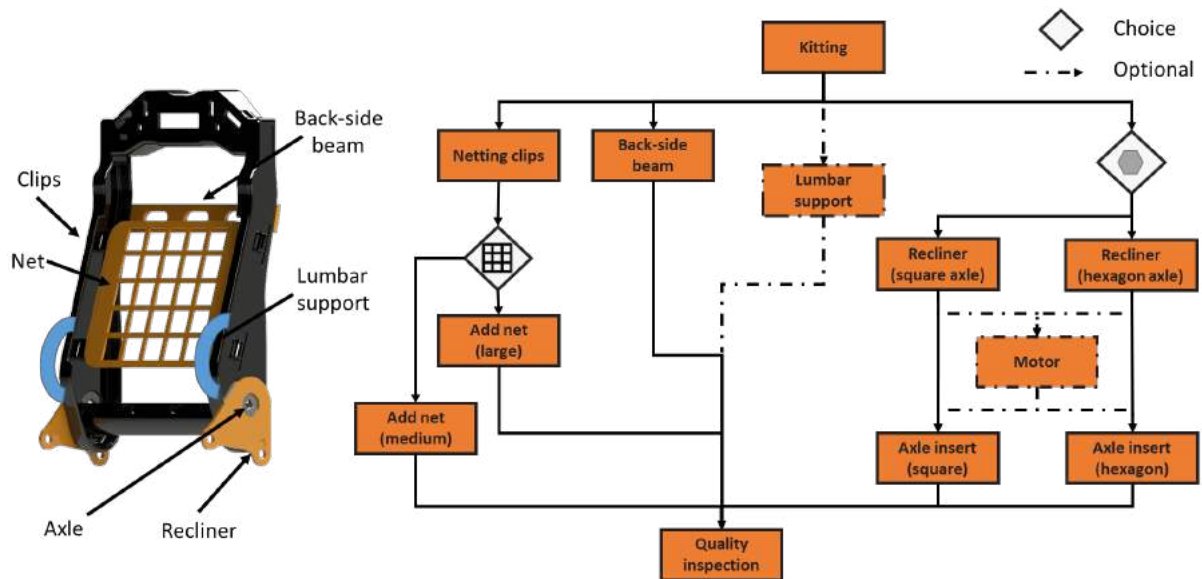
Op basis van het QRM-principe gecombineerd met inspiratie uit de industrie en literatuur (waaronder het KUKA matrix productieconcept, [4]) bestaat de conceptuele lay-out uit losse werkcellen (zowel volautomatisch als potentieel bemand). Elke werkcel kan één of meerdere stappen van het productieproces uitvoeren. De onderdelen

per eindproduct worden automatisch getransporteerd tussen de werkcellen (single-piece-flow). De lay-out (plaatsing en functionaliteit) van de werkcellen is flexibel en deze kunnen eenvoudig geplaatst, verplaatst en weggenomen worden om de productielay-out telkens opnieuw te optimaliseren. De werkcellen communiceren met het bovenliggende systeem, het Manufacturing Execution System (MES), welke vervolgens in contact staat met een ERP systeem. Conceptueel wordt dit weergegeven in Figuur 4.



FIGUUR 4 - CONCEPT FABRIEK.

Voor de concept fabriek is er een product met bijbehorende productiestappen gedefinieerd. Dit product is een FSB (Front Seat Back), het frame in de rugleuning van een voorstoel van een personenauto. Het product is gebaseerd op een product waar AVL regelmatig machines voor bouwt. Dit ondersteunt interne betrokkenheid binnen AVL omdat alle werknemers het product en het bijbehorende proces kennen en daarom ook ideeën hebben bij de automatisering van processtappen. In dit product, de FSB, is variatie aangebracht door middel van verschillende (optionele) onderdelen en functionaliteiten welke vrijelijk gecombineerd kunnen worden, zie Figuur 5. Als uitgangspunt is gesteld dat de duur van de verschillende assemblagestappen tussen de 5 en 30 seconden zal mogen bedragen, afhankelijk van de complexiteit. Er is gekozen om een mock-up van een FSB te definiëren om vertrouwelijkheid van klantdelen te borgen en open te kunnen communiceren over de projectresultaten in media, workshops, LinkedInberichten enz..



FIGUUR 5 – MOCK-UP PRODUCT MET PRODUCTIESTAPPEN.

Door de deelnemers is op basis van de kaders, de hiervoor genoemde concepten en literatuur vervolgens een aantal hoofdthema's gedefinieerd. Deze zijn vormgegeven in de volgende werkpakketten:

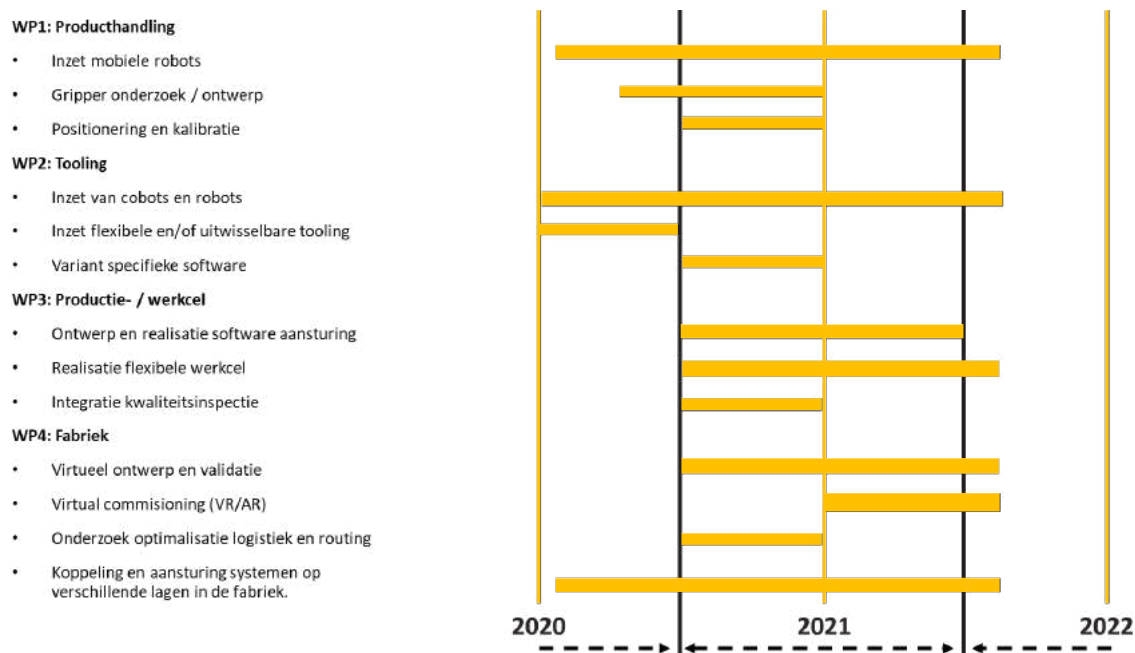
- Werkpakket 1: Product handling
 - 1.1 Inzet van AMRs voor flexibel transport
 - 1.2 Realisatie van lichte gripperconstructies door middel van topologie optimalisatie
 - 1.3 Automatisch positioneren en kalibreren van producten en/of gereedschappen in de werkcel
- Werkpakket 2: Tooling
 - 2.1 Inzet van cobots en robots in een werkcel
 - 2.2 Automatische toolwissel systemen
 - 2.3 Software afloop afhankelijk van specifieke product
- Werkpakket 3: Productie- en werkcel
 - 3.1 Het softwarematig aansturen van de cel
 - 3.2 Realisatie van universele en flexibele werkcellen
 - 3.3 Integratie van kwaliteitsinspectie om producten te controleren
- Werkpakket 4: Fabriek
 - 4.1 Virtueel ontwerp en testen van een productiefaciliteit
 - 4.2 Virtuele commissioning / virtuele inbedrijfstelling
 - 4.3 Optimalisatie van logistiek en routing
 - 4.4 Verticale integratie besturingslagen

Binnen deze werkpakketten zijn opdrachten gedefinieerd voor afstudeerders, stagiaires en (minor)projecten. Deze opdrachten zijn begeleid door de onderzoekers van het lectoraat. Binnen de opdrachten is gekozen voor een rapid-prototyping aanpak gebaseerd op de agile scrum/kanban methode. Hierbij zijn elke 2 weken publieke demo's georganiseerd voor elke lopende opdracht waarin de voortgang is gepresenteerd en feedback ontvangen. Waar mogelijk is aangestuurd op fysieke realisatie binnen de opdrachten die opgenomen worden in de demonstrators die getoond worden op Perron038.

Kennisdiffusie vindt plaats via artikelen in vaktijdschriften, kennisdelingssessies op Perron038 en bij AWL, via sociale media en door middel van het open-source beschikbaar stellen van de binnen dit project ontwikkelde software.

2 Projectresultaten

In dit hoofdstuk worden de projectresultaten samengevat. Binnen alle vooraf gedefinieerd werkpakketten zijn deelprojecten uitgevoerd. Dit is weergegeven in Figuur 6.

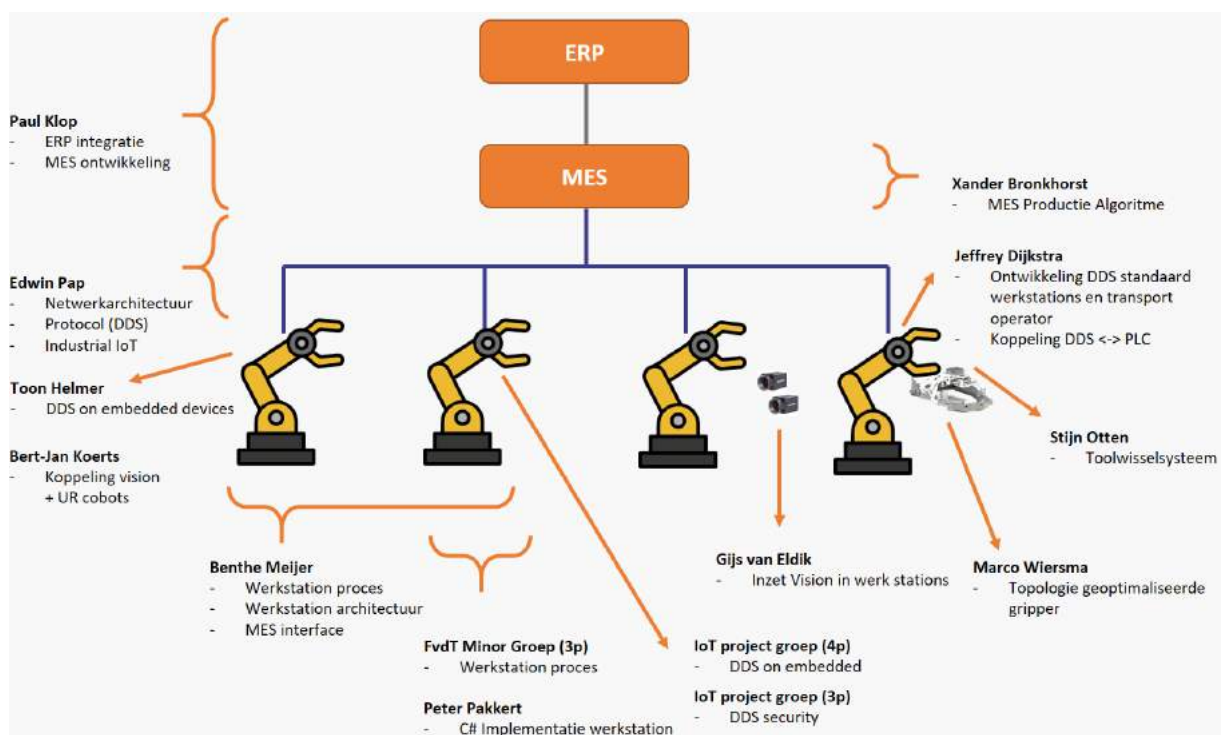


FIGUUR 6 - ACTIVITEITEN BINNEN WERKPAKKETTEN GEDURENDE LOOPTIJD PROJECT.

In totaal hebben meer dan 21 studenten, zeven docenten/onderzoekers/medewerkers van het lectoraat en drie medewerkers van AWL een directe bijdrage geleverd. Er is gebruik gemaakt van een brede selectie studenten wat betreft studieachtergrond (Figuur 7). Dit vanwege het uiteenlopende type opdrachten, weergegeven in Figuur 8. Zo zijn er studenten met een elektrotechniek, werktuigbouwkunde, mechatronica, technische bedrijfskunde en ICT-achtergrond. Er heeft naast studenten van hogeschool Windesheim ook een studente van de hogeschool van Amsterdam meegewerkt.

Lectoraat	Stage / afstudeerders	Minoren / groepen
Aart Schoonderbeek	2020 Q3 Stijn Otten (WB)	2020 Q4 Marco Wiersma (WB)
Geert Heideman	2020 Q3 Edwin Pap (E)	2021 Q1 Minor FvdT
AWL	2021 Q1 Paul Klop (E)	- Mike van Boven (E)
Wilbert van de Ridder	2021 Q1 Bente Meijer (E/WB)	- Koen ter Horst (WTB)
Matthijs van der Heide	2021 Q1 Bert-Jan Koerts (WB)	- Jesse Visch (WTB)
Tom Vrugteveen	2021 Q1 Gijs van Eldik (E)	2020 Q1 IoT project
Docenten / onderzoekers	2021 Q1 Xander Bronkhorst (TBK)	- Mattias Westerink (ICT)
Peter Schuurhuis (TBK)	2021 Q3 Jeffrey Dijkstra (E)	- Bart Eekelder (ICT)
Richard Rosing (E)	2021 Q3 Toon Helmer (ICT)	- Herralt Smienk (ICT)
Paul Klop (E)	2021 Q4 Peter Pakkert (ICT)	- Emre Gürçan (ICT)
Bram Abbekerk (ICT)		2021 Q3 IoT project
Mark Naves (WB)		- 3 studenten

FIGUUR 7 - DEELNEMERS PROJECT AUTOFLEX-QRM



FIGUUR 8 - FOCUS OPDRACHTEN INDIVIDUELE STUDENTEN BINNEN CONCEPT FABRIEK.

In deze rapportage worden per werkpakket het doel en de inhoud uiteengezet. Vervolgens volgt er een samenvatting van de binnen het project behaalde resultaten voor dat werkpakket.

2.1 Werkpakket 1: Product Handling

Product handling behelst het transport van producten tussen de werkcellen. Het transport van producten van en naar het magazijn naar de productievloer en het transport (handling) van een product binnen een werkcel.

Er zijn verschillende vormen van transport mogelijk. Manueel transport bestaande uit heftrucks, trolleys, handgeduwde karren of bijvoorbeeld een milk-run trein. Daarnaast ook transportbanden van normale conveyor systemen tot precieze indexing conveyors. Ook kan er gewerkt worden met autonoom transport op basis van AGVs (Autonomous Guided Vehicles) en AMRs (Autonomous Mobile Robots). Verder kan er overwogen worden om een product altijd bij een werkcel af te zetten voor het proces, of deze op een transportmiddel te laten staan en daarop de werkcel de handeling uit te laten voeren.

Bij de keuze voor het type transport binnen dit project is er rekening gehouden met de gevraagde flexibiliteit en mate van automatisering. De AMR is geïdentificeerd als best passende vorm van transport. Dit omdat manueel transport sterk leunt op een strakke planning en invloed van de mens. Voor AGVs is er infrastructuur nodig (denk aan belijning op de vloer) wat snel wijzigen van de productie-layout lastig maakt. Transportbanden tussen de werkcellen zijn inflexibel en staat ook het snel aanpassen van de layout in de weg.

Naast het transport van de producten moet er ook nagedacht worden over de flow van consumables, tooling en halffabricaten van en naar de werkcellen. Enerzijds is het mogelijk dit alles los te transporten en op te slaan bij de betreffende werkcellen. Bijvoorbeeld schroeven of onderdelen die aan het product moeten worden bevestigd. Aan de andere zijde van het spectrum bestaat het concept 'kitten'. Dit houdt in dat je een producthouder definieert waarop het product geplaatst wordt, samen met de toe te voegen onderdelen (b.v. een as of een elektromotor) en benodigde consumables (zoals schroeven). Het voordeel van kitten is simpeler voorraadbeheer bij de werkcellen. Een nadeel is de complexere houders (ook wel mallen genoemd in dit project). Deze mallen dienen dan vooraf in het magazijn geprepareerd te worden voordat deze de productievloer op komen.

Zowel kitten als los transport van de producten, halffabricaten, consumables en tooling is mogelijk. Er is onderzocht welke vorm het beste aansluit bij het product en de organisatie-inrichting. Binnen dit project is gekozen voor kitten. Verder is gekozen voor één mal (producthouder) per product en wordt er dus geen rekening gehouden met dat er meerdere mallen voor een enkel product ingezet worden of dat er meerdere producten op een enkele mal worden geplaatst.

Wat betreft het bewerken van een product binnen de werkcel (met afname van het transportmiddel) of dat deze op het transportmiddel blijft staan zijn beide mogelijkheden meegenomen. De casus waarbij het product op het transportmiddel blijft staan is verder uitgediept in paragraaf 2.1.3.

2.1.1 Het inzetten van een AMR om de halffabricaten, producten en gereedschappen te transporteren.

Om de inzet van een AMR in het productieproces te onderzoeken zijn de mogelijkheden van AMR-systemen geëvalueerd. Allereerst is de werking van AMR-systemen onderzocht en welke gangbare types verkrijgbaar zijn. Vervolgens is er op basis van beschikbaarheid een implementatie uitgevoerd met mobiele robots van het merk MiR, OMRON en OTTO. De MiR100 en de OMRON LD-60 waren reeds beschikbaar binnen het project (eigendom

AWL) en er is een training gevolgd verzorgd door OTTO waarbij een OTTO-100 robot enkele maanden op Perron038 ingezet is.

Tabel 1 toont een overzicht van de opgestelde categorieën waaronder de geëvalueerde varianten mobiele robots zijn geschaard. Er zijn verschillende kenmerken waarop AMRs zich onderscheiden. Allereerst het laadvermogen, dit varieert van enkele tientallen kilo's (single-piece-robots) tot 1 à 2 ton (Large AMRs). Een ander onderscheidend kenmerk is de wijze waarop de lading met de AMR wordt verplaatst. In veel gevallen wordt de lading op de AMR gezet (AMR small/medium/large, ultra low, single-piece-robot, shelf-carrier) en zijn de robots differentieel gestuurd (wat betekent dat mobiele robot kan draaien om zijn centrale as), maar in het geval van de vorkheftruck en pallet-mover variant wordt de lading opgenomen op lepels waarbij de AMR zelf daarna alleen in de vrij zichtbare richting (weg van de lading) kan rijden en zijn gestuurd volgens het Ackermann-principe. Een voordeel van deze laatste twee types is dat deze lading van de grond kunnen opnemen. In het geval van de andere types is dit alleen mogelijk als het een lading op staanders (zoals een rek) betreft. Een voordeel van de varianten waarbij de lading zich boven op de AMR bevindt is dat de AMR 360 graden de omgeving kan scannen. Dit zorgt voor meer flexibiliteit qua beweging, snelheid en veiligheid.

			
AMR Small <u>MIR-100/200</u> OMRON LD-60/90 Geek+ M100 Otto-100	AMR Medium MIR-250 <u>OMRON LD250</u> OTTO-750 KUMA Dual John	Large AMR <u>MIR-500/1000</u> OMRON MD750, HD1500 SEW MAXO-MS-LA015 OTTO-1500 KUMA Tractor Tom	Ultra Low AMR <u>Eurotec Lowpad Medium</u> Eurotec Lowpad Large
			
Single-piece-robot <u>Geek+ S20C-H</u>	Shelf carrier Kiva warehouse robot <u>Geek+ P500/800</u> Swisslog CarryPick KMP600	Vorkheftruck <u>Geek F14L/F16L</u> OTTO Omega Agilox	Pallet mover <u>Nipper</u> Lowpad Fork KUMA Pallet Jack

TABEL 1 - OVERZICHT CATEGORIEËN AUTONOME MOBIELE ROBOTS. ONDERSTREEPT HET GETOONDE MODEL.

De AMR Small types hebben in sommige gevallen ook de mogelijkheid om verrijdbare stellingen te duwen of trekken. Bijvoorbeeld in het geval van de OMRON LD-60/90 met de OMRON Cart en de MiR 100/200 met de 'MiR Hook', zie Figuur 9.



FIGUUR 9 - LINKS: OMRON MET VERRIJD BARE STELLING. RECHTS: MIR100 MET HAAK EN AANKOPPELBARE TROLLEY.

Veruit de meest gangbare methode van navigatie is op basis van horizontaal werkende laser scanners. In het voorgenoemde overzicht is enkel de Lowpad uitgerust met een vloerscanner die de ondergrond in kaart brengt, in plaats van horizontaal de omgeving waarneemt (zoals in het geval van laser scanners). Daarnaast wordt er soms gebruik gemaakt van 3D camera's om objecten op hoogte te kunnen detecteren (MiR), ultrasoon sensoren voor korte afstand detectie (OMRON) en worden de lampen aan het plafond gebruikt voor navigatie (OMRON Acquity) en 2D QR-codes op de vloer (Geek+, Kiva). Hoewel de laser scanners veruit het meest gebruikt worden, is uit ervaring gebleken dat zodra de omgeving sterk verandert (b.v. een magazijn met pallets) dit problemen op kan leveren voor de navigatie.

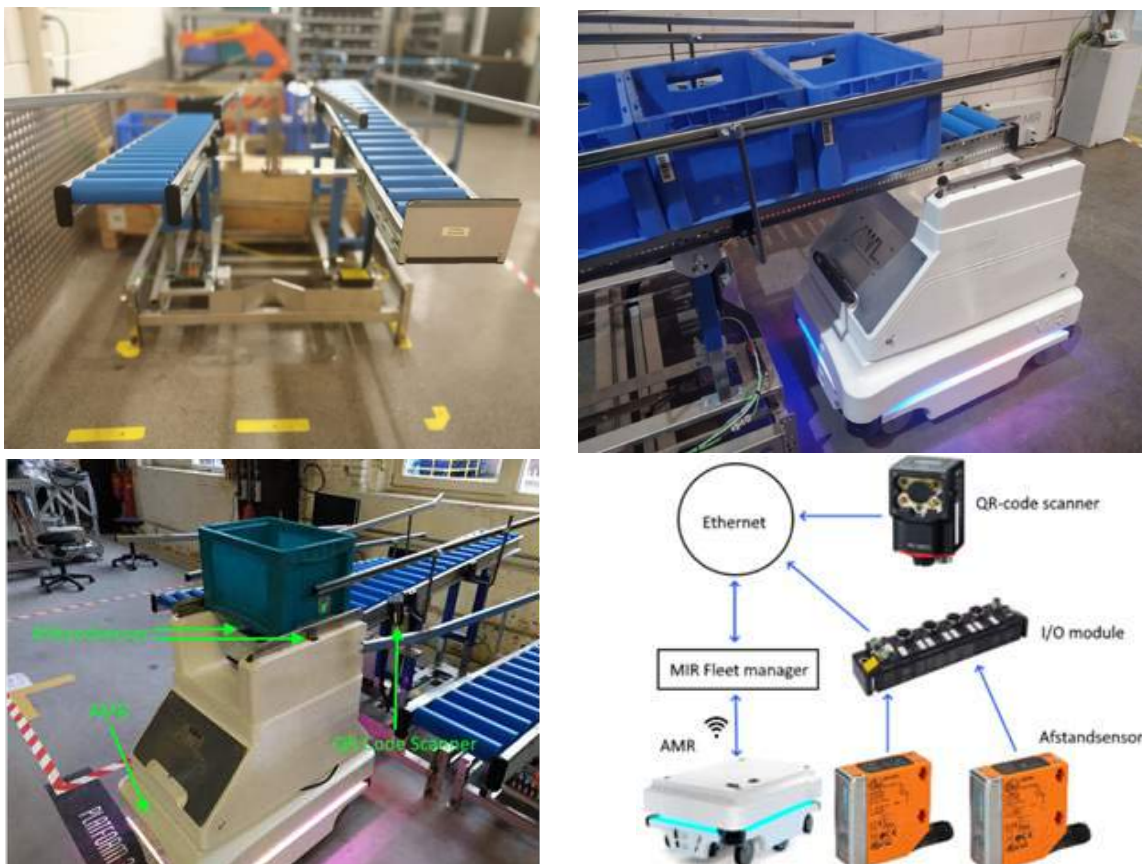
Wat betreft lokalisatie (bepalen waar de robot zich bevindt) werken vrijwel alle type robots met een kaart van de omgeving. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van laser scanners wordt eerst een opname gemaakt van de omgeving. Dit gaat door middel van minimaal eenmaal door de omgeving rijden met een robot. Vervolgens wordt de sensor data van de robot vergeleken met de kaart en op basis daarvan wordt bepaald waar de robot zich bevindt (ook wel SLAM genoemd). Dit in combinatie met encoder waardes van de wielen levert een vrij precieze lokalisatie op (doorgaans +/- 10cm, nauwkeurigheid tot +/- 1cm mogelijk indien er gebruik wordt gemaakt van speciale geometrische markeerpunten, ook wel docking- of precisie-markers genoemd). Indien nog meer precisie gewenst is, ondersteunen sommige merken bijvoorbeeld het volgen van magneetbelijning (OMRON). In het geval van een sterk veranderende omgeving is het raadzaam om extra technieken in te zetten (zoals de vloerscanner van Accerion [5]) of de lamp navigatie zoals bij de OMRON mobiele robots.

Verder zijn de onderlinge verschillen in kaart gebracht op het gebied van ingebouwde hefmogelijkheden (waarbij bijvoorbeeld OTTO-100 een ingebouwde lift heeft, maar bij de MiR-100 het aan de eindgebruiker is hier zelf een hefmechanisme in te kopen of te ontwerpen en op de robot te plaatsen). Onderzocht zijn de maximale snelheid (doorgaans 1 à 2 meter per seconde), de rotatiesnelheid (variërend van 120°/s tot 300°/s), de afmeting, grondafstand, leeggewicht, operationele tijd (variërend van 4 tot 10 uur) en laadtijd (doorgaans 1 tot 4 uur), interfaces (doorgaans Wi-Fi), IP-rating (variërend van IP20 tot IP54) en of het systeem automatisch kan laden (in alle gevallen mogelijk). Ook zijnde beschikbare veiligheidsmaatregelen onderzocht (vrijwel in alle gevallen veiligheidsscanners en noodstop knoppen, soms schakelende bumpers waarbij de robot stopt bij contact zoals bij OMRON en Lowpad). Verder is de maximale te dragen lading onderzocht en het gedefinieerde kader waarin het massa-middelpunt van de lading zich moet bevinden.

In de koppeling met bovenliggende systemen wordt er bij alle geëvalueerde AMR-systemen gebruik gemaakt van een zogeheten fleetmanager (FM). De FM heeft een toegevoegde waarde zodra er meer dan één AMR ingezet wordt. Een bovenliggend systeem (zoals een MES) geeft transport orders aan de fleetmanager. Binnen deze transport orders is het nog mogelijk om eisen aan te geven zoals een bepaald type payload (lift), type AMR (in het geval dat zowel grote als kleine AMRs aan de fleetmanager gekoppeld zijn) en prioriteit. De fleetmanager bepaald dan welke AMR op dat moment het meest geschikt is om de transport order uit te voeren (zoals het hebben van de juiste payload, batterijlading en afstand tot doel). Verder draagt de FM er zorg voor dat de laadtijden optimaal gepland worden, voor de grove globale routeplanning en dat de routes van rijdende AMRs elkaar niet overlappen. De FM beheert daarnaast bepaalde ingesteld verkeersregels (zoals voorrang op een kruispunt). De besturing van de AMR zelf is verantwoordelijk voor de lokale routeplanning (ordegrootte enkele meters) en de veiligheidsmaatregelen.

Belangrijke randvoorwaarden voor de werking van AMR-systemen aan de omgeving zijn:

- het hebben van een voldoende vlakke vloer (spelen van meer dan 1 á 2 centimeter zijn al snel problematisch, ook vanwege de rigide ophanging van de wielen van de robots),
- nauwelijks tot geen hoogteverschillen,
- minimale helling (tot maximaal 5 graden),
- een goede Wifi-dekking,
- voldoende bewegingsruimte voor de robot (bijvoorbeeld paden die minimaal 2x de breedte van de mobiele robot zijn),
- weinig storend verkeer (mensen, vorkheftrucks, etc.).



FIGUUR 10 - (A, LINKSBOVEN): STATION MET ROLLENBANEN (B, RECHTSBOVEN): AFLEGPOSITIE AMR BIJ STATION (C, LINKSONDER): ELEMENTEN IN OPSTELLING (D, RECHTSONDER) COMMUNICATIEARCHITECTUUR.

Binnen dit project is, op basis van beschikbaarheid, gebruik gemaakt van een MiR-100 met een lift-systeem, ontwikkeld door AWL, in combinatie met een station module welke fungeert als in- en output magazijn voor het productieproces. Dit station is ook in een eerder project door AWL ontwikkeld en werd ingezet voor het ophalen en afleggen van KLT bakken voor vervoer van onderdelen voor assemblage binnen de fabriek van AWL. Het station bestaat uit twee rollenbanen geplaatst onder een hoek (Figuur 10a,b,c) zodat de mobiele robot bakken en producthouders kan optillen en afleggen (rechts en links in Figuur 10a respectievelijk). De mobiele robot is verbonden met de fleetmanager via Wi-Fi. De transport orders worden naar de fleetmanager verstuurd met een REST-API. Ook kan hiermee de transport order status worden uitgelezen. Het station is uitgerust met een QR-code scanner aangesloten via ethernet via een TCP-interface om de verschillende producthouders te kunnen onderscheiden. Verder is het station voorzien van twee aanwezigheids-detectie sensoren die gekoppeld zijn via een I/O module die te benaderen is via ethernet met Modbus TCP/IP (Figuur 10d)

2.1.2 Ontwerp en realisatie geoptimaliseerde grippers en houders

In de geautomatiseerde fabricage van onderdelen vinden meerdere stappen plaats waarbij een robot of cobot toegepast wordt. Denk hierbij aan het oppakken en verplaatsen van onderdelen (handling) als ook het assembleren van onderdelen (zoals het plaatsen van de net-clips op de FSB of het insteken van de recliner-as in de FSB).

Er is daarbij een keuze bij de ontwikkeling en toepassing van tools (gereedschappen):

1. Een enkele multifunctionele tool ontwikkelen voor de van elkaar verschillende handelingen
2. Voor elke handeling een specifieke tool ontwikkelen

De afwegingen in de keuze tussen deze twee principes wordt gemaakt aan de hand van de voor- en nadelen van elke variant in Tabel 2.

Meerdere, specifieke tools	Enkele, multifunctionele tool
+ Relatief eenvoudige tool, specifiek voor één fabricagestap. + Lage ontwikkeltijd. + Inzetbaar in meerdere fabricageprocessen.	+ Onnodig om de tool te wisselen. Een snelwisselsysteem is dus niet noodzakelijk en er is een tijdsbesparing.
- Een wisselsysteem is noodzakelijk. - Benodigde tijd voor het wisselen van de tool.	- Complexe tool vereist hoge ontwikkeltijd en herontwerp bij aanpassing van het fabricageproces (bijvoorbeeld het toevoegen van een extra stap, waarvoor een andere grijpvorm is vereist).

TABEL 2. VERGELIJKING GENERIEKE TOOLING VS PROCES-SPECIFIEKE TOOLING

Flexibiliteit in de functionaliteit van tools is belangrijk, aangezien er verschillende type onderdelen voor verschillende klanten dienen te worden gemaakt, moeten extra eisen van de klant (bijvoorbeeld het toevoegen van stoelverwarming) dan snel geïmplementeerd kunnen worden.

De focus heeft hier dus gelegen op het ontwikkelen van specifieke grippers voor specifieke taken, i.p.v. het ontwerp van een enkele multifunctionele gripper. Dit vereist wel het gebruik van een tool wisselsysteem. Het ontwerp hiervan is onderdeel van werkpakket 2.2.

Als het gaat om handlingtoepassingen, zijn mechanische grippers - pneumatisch of elektrisch - de meest voorkomende. Pneumatische grippers bedragen zo'n 90 procent van het marktsegment [6] [7]. Van de andere typen grippers zijn elektrische grippers een belangrijke groep. Een vergelijking tussen pneumatische en elektrische grippers wordt gemaakt in Tabel 3.

Pneumatisch	Elektrisch
+ Licht en kosteneffectief. + Hoge grijpkrachten. + Eenvoudig aan te sturen. + Potentieel snellere cyclustijden. + Geschikt voor ruwe omgevingen.	+ Hoge precisie. + Weinig geluid. + Elektrische installatie. + Er hoeft alleen elektrisch contact gemaakt te worden, geen pneumatiek gekoppeld te worden.
- Pneumatische installatie benodigd. - Lucht in verhouding tot elektriciteit inefficiënt en duur. - Pneumatische slang dient aangesloten te worden. Dit geeft uitdagingen voor bijvoorbeeld een snelle toolwissel.	- Duurder. - Zwaarder. - Lichte/gemiddelde grijp kracht.

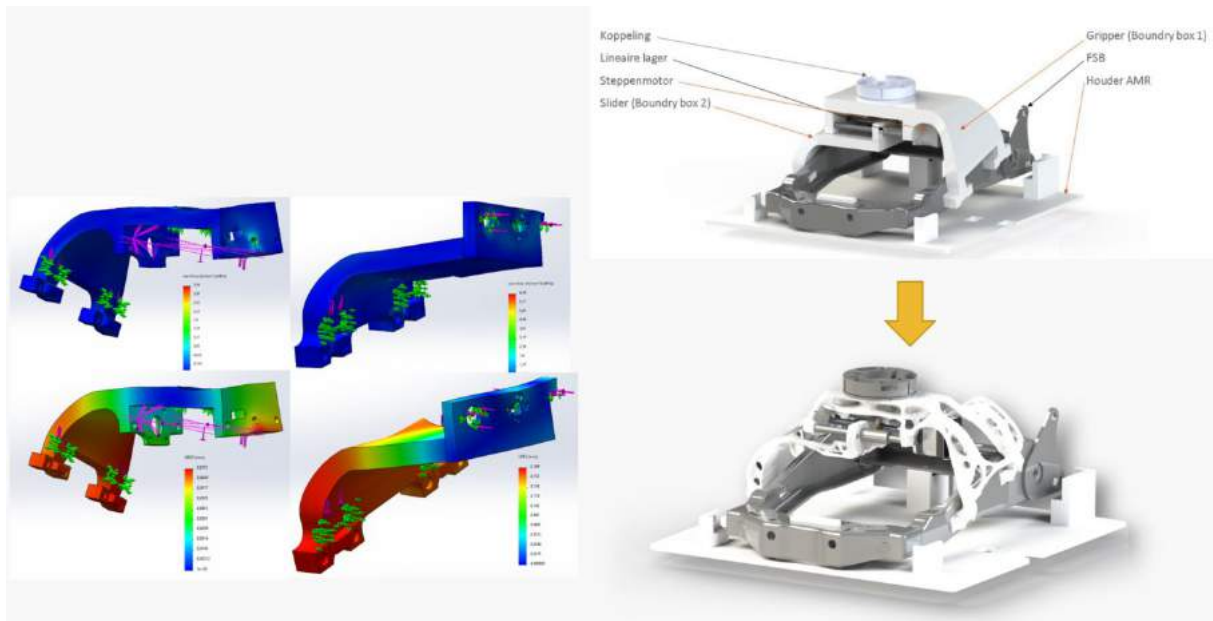
TABEL 3. VERGELIJKING TUSSEN MECHANISCHE- EN ELEKTRISCHE GRIPPERS [6]

Er is voor het gebruik van elektrische grippers gekozen vanwege het kunnen gebruiken van een elektrische, in plaats van een pneumatische installatie. Ook zijn de mogelijkheden onderzocht om topologie optimalisatie toe te passen voor de ontwikkeling van een zo licht mogelijke gripper (tool) om de productiecapaciteit te vergroten, aangezien met een lichtere tool de robot-/cobot-arm zich sneller kan verplaatsen. Dit kan dus resulteren in het verhogen van de doorvoer tijd per product en dus tot een hogere productiesnelheid.

Resultaten

Binnen het project zijn voor twee specifieke handelingen specifieke grippers ontwikkeld. Allereerst voor het kunnen oppakken en neerleggen van het FSB-frame van de mal op de mobiele robot (AMR). Ook is er een gripper ontwikkeld voor het kunnen insteken van de recliner-as in de FSB.

Voor de ontwikkeling van de gripper om het FSB-frame op te kunnen pakken is topologie optimalisatie toegepast. De stappen in die ontwikkeling betreffen het in kaart brengen van de functies en interfaces (mechanisch, elektrisch) van de gripper. Vervolgens wordt de gripper in volledig solide vorm (Figuur 11) uitgewerkt. Door middel van het bepalen van de te verwachten krachten (o.a. vanwege de het gewicht van het frame en de te maken bewegingen) en aan te geven waar deze op de gripper uitgeoefend worden kan er softwarematig een optimalisatie van de vorm plaatsvinden. Dit gebeurt ruwweg door iteratief materiaal weg te halen en/of toevoegen en te evalueren of de resulterende geometrie de ingestelde krachten nog steeds op kan vangen. Verder wordt er tijdens dit proces nog rekening gehouden met opgelegde beperkingen zoals het niet mogen verwijderen van bepaalde delen in de geometrie zoals de raak-oppervlaktes van de gripper met de FSB. Het resultaat van dit proces is getoond in Figuur 12.

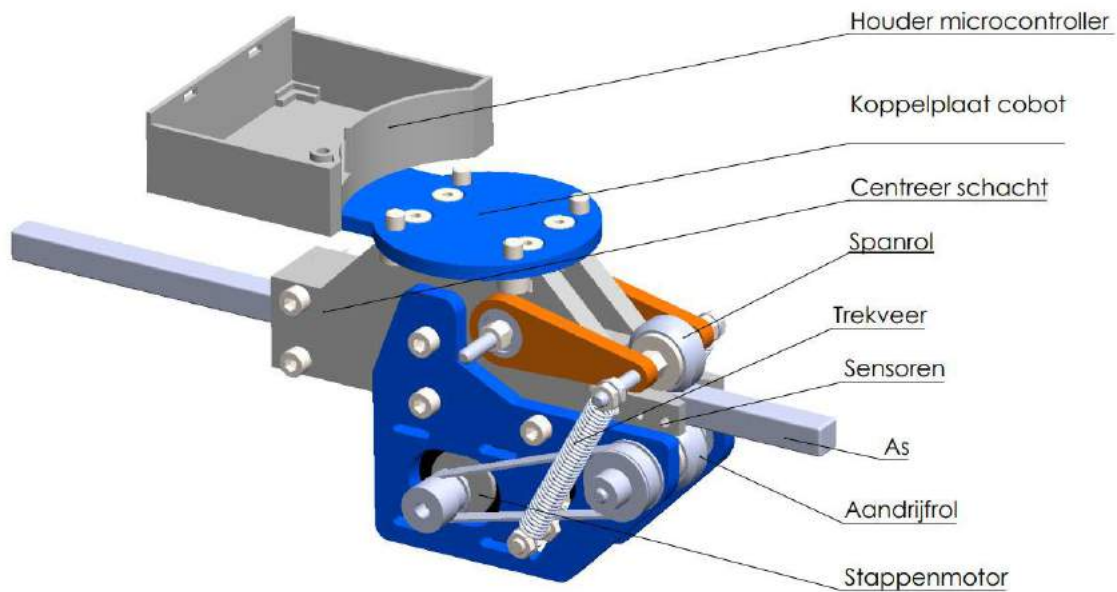


FIGUUR 11 - ONTWERPPROCES TOPOLOGIE GEOPTIMALISEERDE GRIPPER. LINKS: FEM-ANALYSE. RECHTSBOVEN: SOLIDE UITGANGSPUNT. RECHTSONDER: RESULTAAT NA OPTIMALISATIE TOPOLOGIE.

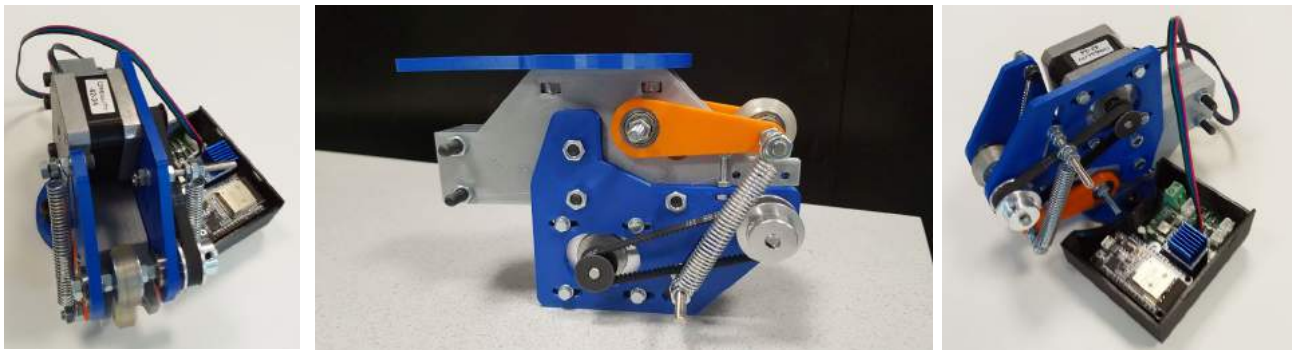


FIGUUR 12 - GEREALISEERDE (PRINT EN ASSEMBLAGE) TOPOLOGISCH GEOPTIMALISEERDE GRIPPER.

Voor het plaatsen van assen met verschillend doorsnedes in het frame is een handelings-specifieke tool ontwikkeld. Het mechanisch ontwerp en duiding van de onderdelen wordt getoond in Figuur 13.

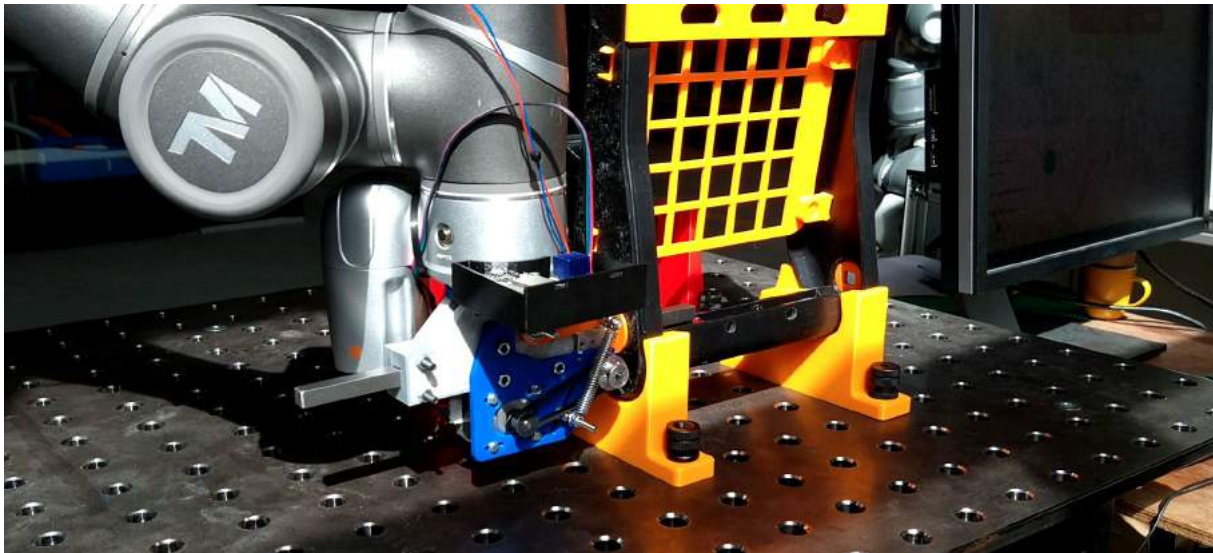


FIGUUR 13 - ONTWERP TOOL VOOR HET PLAATSEN VAN DE AS IN HET FRAME.



FIGUUR 14 - REALISATIE TOOL VOOR HET PLAATSEN VAN DE AS IN HET FRAME.

De as verlaat tussen de twee wielen de tool. Tijdens deze beweging wordt deze ondersteund. Op deze wijze wordt de as in translatierichting aangebracht in de FSB. De realisatie van de tool is weergegeven in Figuur 14 en de juiste werking hiervan is in een demonstrator opstelling aangetoond (Figuur 15).



FIGUUR 15 - TOEPASSING GRIPPER VOOR HET PLAATSEN VAN DE AS IN DE FSB.

Deze tool is in meerdere iteraties tot stand gekomen. De iteraties worden weergegeven in Figuur 16. De eerste gripper, links op de foto, was niet succesvol, maar het testen gaf wel het inzicht om de tweede verbeterde gripper te kunnen ontwerpen. Na nog enkele verbeterlagen is de uiteindelijke gripper (helemaal rechts) succesvol ingezet.



FIGUUR 16 - STAPPEN IN DE ONTWIKKELING VAN DE TOOL VOOR HET BEVESTIGEN VAN EEN STAAF IN EEN SUB-ASSEMBLY VAN EEN FSB

2.1.3 Positionering en kalibratie van producten in de werkcellen.

Om bewerkingen uit te voeren op het product vanuit een werkcel moet de locatie van het product, gereedschappen en onderdelen bekend zijn. Afhankelijk van de type handeling zijn er eisen wat betreft tolerantie. Om het insteken van de as als voorbeeld te nemen: de tolerantie voor het insteken van de as is +/- 1mm (vlak loodrecht op insteekrichting) en +/- 1 graad afwijking om de z-as (loodrecht omhoog ten opzichte van mobiele robot). Andere afwegingen zijn de benodigde tijd voor positionering, stijfheid van opspanning en bereikbaarheid van locaties op het product gezien vanuit bijvoorbeeld de robot in de werkcel.

Aangenomen dat het product zich in een producthouder bevindt, geplaatst op een AMR, bij transport tussen de werkcellen, kan het positioneren en kalibreren van de producten en eventueel gereedschappen, ten opzichte van de werkcel, op verschillende manieren plaatsvinden:

- Afzetten van de producthouder op vaste locatie in de werkcel:
 - Leggen tegen een aanslag;
 - Het oppakken van onderdelen en vervolgens neerleggen in een glijgoot, zodat deze exact op een bekende positie terecht komen;
- De producthouder op de AMR laten staan en de handeling daarop uitvoeren:
 - Standaard positionering van de AMR gebruiken;
 - Docking procedures van de AMR gebruiken;
 - Lijn-volg systemen van AMR gebruiken.

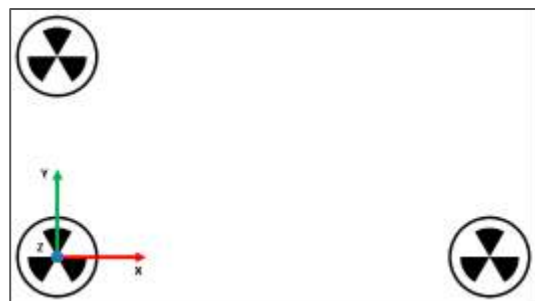


Hoewel bij het afzetten van het product de benodigde nauwkeurigheid vrij gemakkelijk gehaald kan worden met standaard methodes zoals het vastzetten tegen een aanslag, kost dit al gauw een tiental of meer seconden om te bewerkstelligen. Dit in een proces waarbij de assemblagehandelingen zelf ook maximaal tien seconden duren resulteert in een aanzienlijke overhead. Bij productvariatie is er ook de uitdaging van mogelijk verschillende grippers en aanslagconfiguratie. Ten slotte heeft de locatie van de AMR ten opzichte van de werkcel een precisie van 1 tot 5 cm, waar rekening mee gehouden dient te worden bij het afzetten of oppakken van de producthouder. Daarom zijn de mogelijkheden onderzocht om de handelingen uit te voeren terwijl de producthouder op de AMR blijft staan.

Het nauwkeuriger positioneren (docken en uitlijnen) van de AMR kost relatief veel tijd (5 – 10 seconden) en levert een beperkte nauwkeurigheid (tot ongeveer 1 cm), zoals besproken in werkpakket 1.1. Sommige modellen AMRs ondersteunen lijnvolging, maar dat heeft als nadeel dat er AMR-specifieke infrastructuur op de vloer moet worden aangebracht.

Op basis van de genoemde redenen is er gekozen voor het laten positioneren van de AMR volgens de 'standaard' navigatie-methode. Dit houdt in dat de AMR +/- 5cm nauwkeurig positioneert ten opzichte van de werkcel. Vervolgens wordt er vision ingezet om de locatie van de producthouder nauwkeuriger te bepalen.

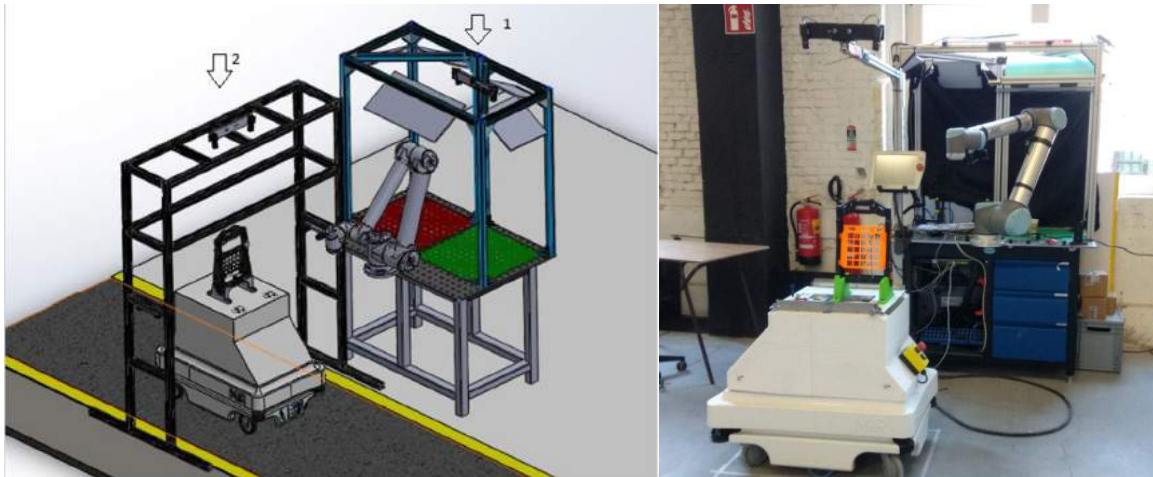
Resultaten



FIGUUR 17 - LINKS: PRODUCTHOUDER MET FSB. RECHTS: MARKER CONFIGURATIE MET DEFINITIE ASSENSTELSEL.

Werkobjectkalibratie en positionering van een robot-gripper op basis van vision is geïmplementeerd op een werkstation met een Universal Robots (UR) cobot. afstandsensoren (op basis van ultrasoon, infrarood of time-of-flight) kunnen een alternatief zijn. Door de productvariatie (en dus ook variatie in type producthouders) geldt

vision als een flexibele oplossing die overweg kan met verschillende varianten producthouders (van 10x10cm tot 60x60cm met huidige camera opstelling) en kan er later extra functionaliteit worden toegevoegd indien gewenst (zoals het lezen van een QR code op de producthouder). Er wordt gebruik gemaakt van een vision software pakket van AWL. Dit pakket herkent door middel van stereo-vision een serie markers op de product houder (Figuur 17) waarbij de 3D positie van het gedefinieerde assenstelsel op de producthouder wordt bepaald. Hierbij is een nauwkeurigheid gehaald van +/- 0.5mm en +/- 0.5 graden om de z-as. Een marker op de gripper kan zodoende met een toolwisselsysteem verschillende grippers oppakken.



FIGUUR 18 - LINKS: ONTWERP (1) WERKCEL (2) STEREO-CAMERA VOOR HERKENNEN PRODUCTHOUDER. RECHTS: UITEINDELIJKE REALISATIE OPSTELLING.

Figuur 18 en Figuur 19 tonen het ontwerp en realisatie van de opstelling en de inzet van de vision software. Met deze opzet is succesvol de locatie van de producthouder bepaald en een as geplaatst met de gripper uit werkpakket 1.2.



FIGUUR 19 - LINKS: BEELD VISION SOFTWARE. RECHTS: INSTEKEN AS DOOR COBOT.

2.2 Werkpakket 2: Tooling

Voor handelingen/bewerkingen is tooling nodig. Om te bepalen welke tooling nodig is voor een geautomatiseerde flexibele QRM productiefaciliteit en om deze te ontwikkelen, zijn diverse onderzoeksactiviteiten ontplooid. Zo is de mogelijkheid onderzocht van het inzetten van robots/cobots in de werkcel. Cobots en robots worden gezien als gereedschap waarbij aan de hand van de uit te voeren handeling bepaald moet worden welk type robot/cobot het meest geschikt is.

Verder zijn de mogelijkheden en beschikbaarheid onderzocht van flexibele (multifunctionele) tooling en/of geautomatiseerde toolwisseling en is er een toolwisselsysteem ontworpen en gerealiseerd. Dit omdat een werkcel meerdere taken kan uitvoeren en daarom van gereedschap moet kunnen wisselen.

Ten slotte is onderzoek verricht naar de softwarematige aanpak bij het inzetten van verschillende uitwisselbare tooling gekoppeld aan het proces van een specifiek product.

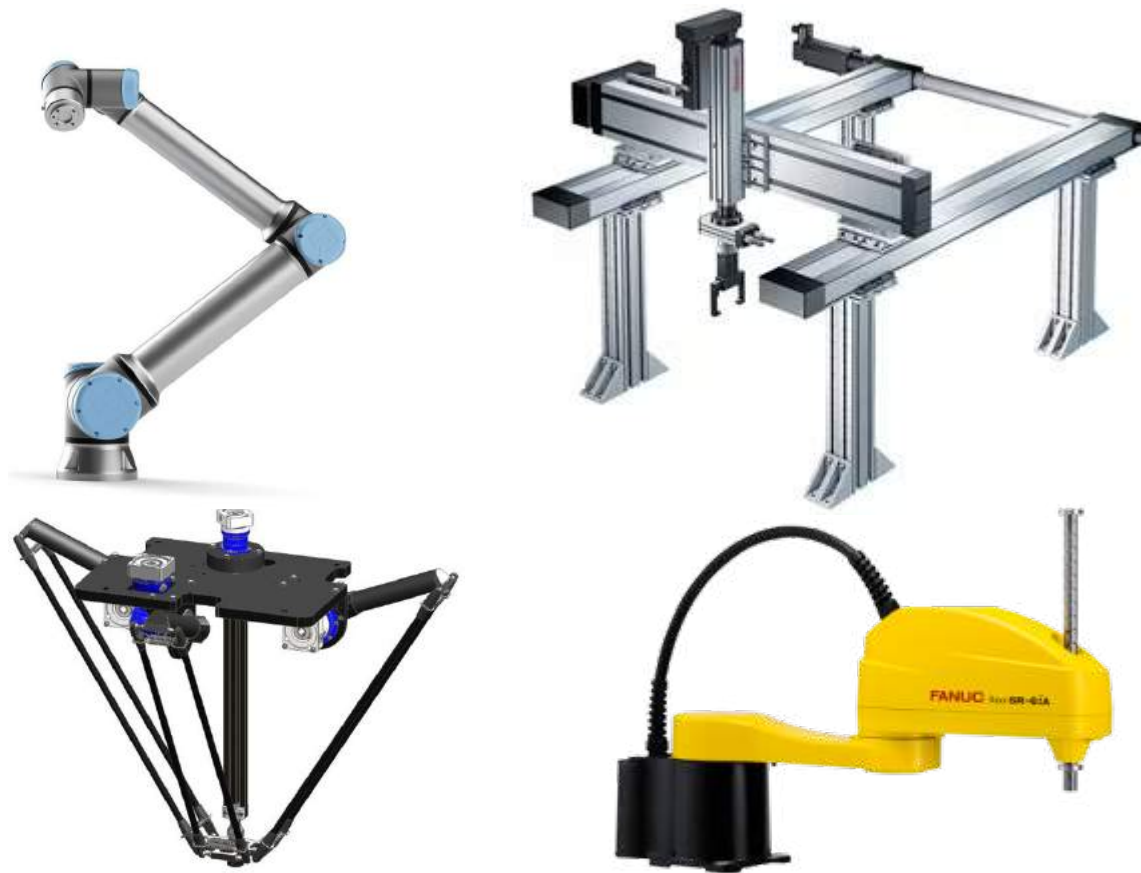
2.2.1 Inzet van cobots en robots

Om te bepalen welke cobots/robots ingezet kunnen worden in de werkcel is gestart met onderzoek naar de verschillende invloedsfactoren. Allereerst is er een overzicht gemaakt van de type robots zoals gangbaar in de industrie. Vervolgens is geïnventariseerd welke soorten robots doorgaans in gebruik zijn bij AWL en welke er beschikbaar zijn op Perron038. Verder is onderzocht welke mate van complexiteit voor de robot benodigd is voor een specifieke handeling. Ten slotte is onderzocht hoe de cobots/robots ingezet kunnen worden in een werkcel.

Resultaten

Als uitgangspunt is er gekozen voor het aanhouden van de industriestandaarden omtrent robotica. Dat houdt in dat er gewerkt wordt met producten die reeds breed geaccepteerd zijn en ingezet worden. Dit om de acceptatie van de voorgedragen oplossingen te vergemakkelijken.

Er zijn een aantal varianten qua robots die veel voorkomen in de industrie van AWL. Veruit het meest gangbaar zijn de zogenaamde gelede robots (engels: 'articulated robots'). Deze robots lijken het meest op armen met meestal 6 assen. Verder worden cartesische robots (vaak opgebouwd uit 3 lineaire assen om x,y,z richting te bestrijken) veel ingezet. Ook delta en SCARA robots komen voor. Zie Figuur 20 voor een overzicht van de voorgenoemde type robots.



FIGUUR 20 - TYPE INDUSTRIËLE ROBOTS MEEGENOMEN BINNEN DIT PROJECT. LINKSBOVEN: GELEDE ROBOT. RECHTSBOVEN: CARTESISCHE ROBOT. LINKSONDER: DELTA ROBOT. RECHTSONDER: SCARA ROBOT.

De keuze voor een type robot is allereerst afhankelijk van de toepasbaarheid maar ook de beschikbaarheid. Eén perspectief om de uit te voeren handeling te beschouwen is in termen van vrijheidsgraden. Als de handeling maar twee vrijheidsgraden behoeft, kan het onnodig zijn om een robot met zes vrijheidsgraden in te zetten.

Enkele assemblagehandelingen van de FSB, vragen het volgende:

- As insteken op de AMR: vier vrijheidsgraden benodigd (hoogte en draaiing in horizontale vlak ligt vast).
- Clips plaatsen: zes vrijheidsgraden benodigd.
- Net plaatsen: zes vrijheidsgraden benodigd.

Het aantal vrijheidsgraden is soms nog te beperken door de te assembleren onderdelen slim te positioneren voordat deze opgepakt worden zodat er minder draaiing of verplaatsing nodig is.

Voor de assemblagestappen is het evident dat een robot met 6 vrijheidsgraden en bereik van minimaal één meter nodig is. De ingeschatte cyclustijd ligt in de orde van 10 tot 20 seconden. Op basis van deze gegevens en rekening houdende met de op Perron038 beschikbare type robots is er voor gekozen om cobots in te zetten van het type Universal Robots UR5e, UR10e en TechMan TM5-700. Bijkomend voordeel van de inzet van cobots is de relatieve veiligheid en benodigde infrastructuur ten opzichte van het gebruik van de traditionele robot varianten. Bij gebruik van dat type robots zijn veel strengere veiligheidsmaatregelen benodigd (zoals een kooi) en vaak minder makkelijk in gebruik (zo hebben de cobots doorgaans een zeer gebruiksvriendelijke interface). Een nadeel van cobots t.o.v. de traditionele robot tegenhangers is de snelheid. Echter in de prototypeomgeving van Perron038 is dat binnen dit project geen belemmering. Ook omdat de principes en methodes die uitgevoerd

worden met een cobot doorgaans 1:1 overdraagbaar zijn op de snellere traditionele varianten. Ten slotte is het 'achter de hand' hebben van genoeg vrijheidsgraden prettig omdat niet altijd voorzien kan worden welke handelingen in de toekomst nog meer uitgevoerd dienen te worden. Dit is vooral belangrijk bij een flexibele (high mixture/low volume) werkcel die, in theorie, elke dag andere handelingen moet kunnen uitvoeren.



FIGUUR 21 - OVERZICHT INGEZETTE COBOTS BINNEN DIT PROJECT.

Wat betreft interfaces beschikken alle cobots over standaard ethernetansluitingen. Over deze interface is het mogelijk op afstand te communiceren met de cobot door middel van ruwe TCP sockets, middels Modbus TCP/IP (TM5 – 700), XML-RPC (UR10e), PROFINET (TM5-700) of een fabrikant-specifiek protocol (RTDE voor Universal Robots).

2.2.2 Inzet flexibele en/of uitwisselbare tooling

Elke werkcel dient meerdere bewerkingen te kunnen uitvoeren. Dit is mogelijk door:

- Een enkele multifunctionele tool te gebruiken per werkcel
- Meerdere monofunctionele tools gebruiken. Dit vereist het uit kunnen voeren van een toolwissel, door middel van een device gesitueerd tussen de kop van de robot/cobot en de tool, verder benoemd als “tool-changer”.

De ontwikkeling van een monofunctionele tool is sneller dan de ontwikkeling van een multifunctionele tool. Bij veranderingen in het productieproces is het snel kunnen implementeren van een enkele tool daarom wenselijk. Ook zal de multifunctionele tool telkens als een productiestap gewijzigd of toegevoegd wordt, aangepast of herontworpen moeten worden. Er is daarom voor het gebruik van monofunctionele tools in combinatie met de tool-changer gekozen.

Verschillende snel wissel-systemen in de industrie zijn onderzocht. Voorafgaand is hiervoor een eisenpakket opgesteld welke is weergegeven in Tabel 4. Hieronder de eis dat de tool-changer gebruik moet maken van elektrische, in plaats van de vaak gebruikte pneumatische actuatoren.

Activiteiten	Vast	Variabel	Wens
Fabricage eisen			
De toolchanger en mal mogen samen maximaal 4kg wegen		x	
De toolchanger en mal moeten een laadcapaciteit hebben van minimaal 10kg		x	
De afstand tussen de robot en het koppelingsvlak van de beide zijden mag maximaal 50mm lang zijn		x	
De toolchanger mag maximaal 100 mm breed zijn		x	
De toolchanger mag alleen gebruik maken van elektrische actuatoren	x		
De elektrische elektrische actuatoren moet ook verkrijgbaar zijn in pneumatische variant	x		
De toolchanger moet elektriciteit aan het gereedschap aanbieden	x		
De toolchanger moet elektriciteit draadloos aan het gereedschap aanbieden			x
De toolchanger moet detecteren wanneer er een tool gekoppeld/ontkoppeld is	x		
De toolchanger moet detecteren wanneer er een tool gepositioneerd is aan de toolchanger	x		
Gebruikers eisen			
De toolchanger mag een koppeltijd hebben van maximaal 1 seconden		x	
De toolchanger mag een toolwisseltijd hebben van maximaal 3 seconden		x	
De toolchanger moet te monteren zijn op de UR10e, UR5 en CR-14i	x		
De toolchanger moet minimaal 1000 cycli mee gaan		x	
De toolchanger moet een repeatability hebben van minimaal 0,2mm translatie in het XYZ vlak		x	
De toolchanger moet een repeatability hebben van minimaal 0,5° rotatie in het XYZ vlak		x	
De toolchanger moet een robuustheid hebben van minimaal 5mm translatie in het XYZ vlak		x	
De toolchanger moet een robuustheid hebben van minimaal 5° rotatie in het XYZ vlak		x	

TABEL 4. EISENPAKKET TOOLCHANGER.

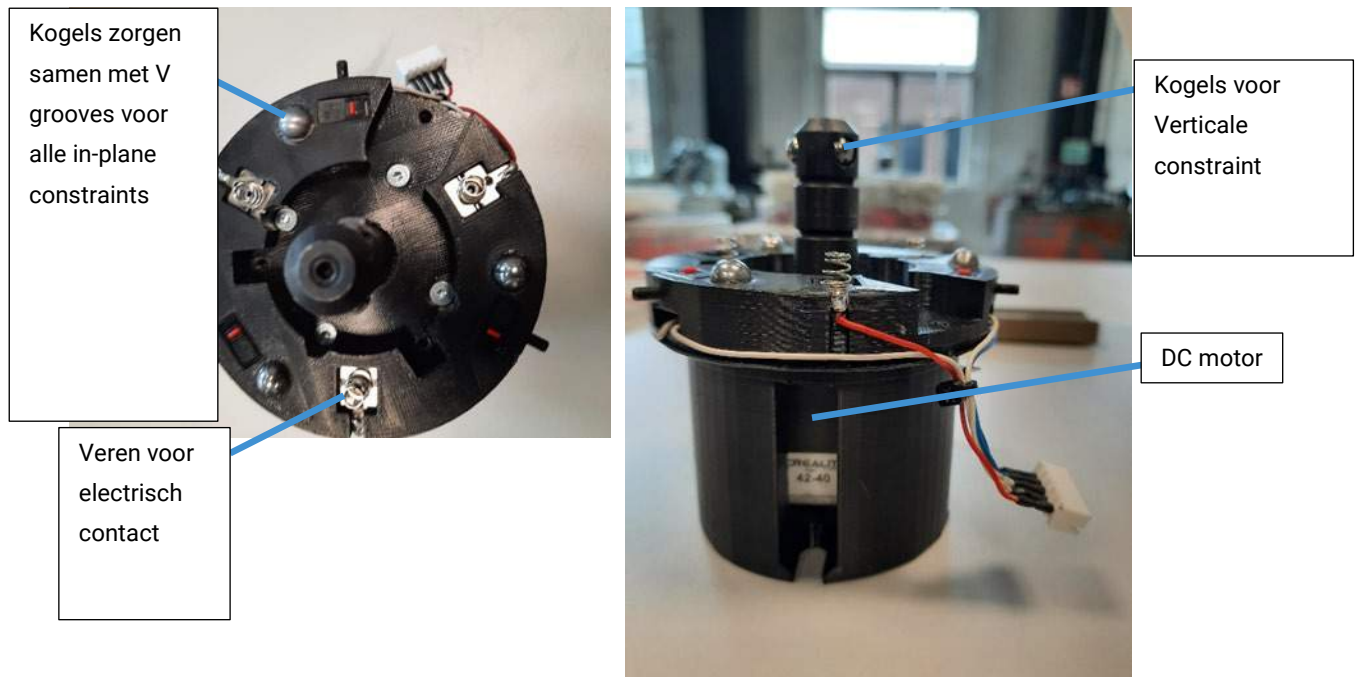
Er zijn een aantal commerciële aanbieders van tool-wisselsystemen geëvalueerd. Zo zijn onder andere systemen van de merken ATI, Schunk, Staubli, Applied Robotics, Robot System Products, Kelvin en Gimatic bekeken (zie Figuur 22). De onderzochte tool-changers voldeden niet aan al deze eisen. Om deze redenen is binnen dit project zelf een tool-changer ontwikkeld. Uiteraard zijn er genoeg commerciële systemen beschikbaar die in te zetten zijn. Echter zoals ook in de inleiding aangegeven wordt er ook waarde gehecht aan de ontwikkeling van prototypes waarvoor commerciële alternatieven bestaan. Dit heeft inzicht gegeven in de werking van dergelijke systemen en factoren waarop commerciële systemen beoordeeld kunnen worden.

Een nieuw element in het uitgangspunt van de zelf-ontwikkelde tool-wisselsysteem is het aspect van draadloze energioverdracht. De gedachte is dat in huidige toolwisselsystemen de contactpinnen onderhevig zijn aan slijtage. Door de keuze te maken voor een puur elektrisch grippersysteem die middels Wi-Fi / 5G draadloos aangestuurd kan worden in combinatie met draadloze energioverdracht worden de slijtgevoelige delen tot een minimum beperkt.

De uiteindelijke realisatie is weergegeven in Figuur 23. Van belang zijn de gebruikerseisen zoals de genoemde herhaalnauwkeurigheid (repeatability) en de vereiste koppeltolerantie vanuit de robot gezien (ook wel robuustheid genoemd in het eisenpakket). Aan een deel van de eisen is binnen het project voldaan. Zo is het systeem te monteren op verschillende typen cobots. Verder is de herhaalnauwkeurigheid $\leq 0.01\text{mm}$ en is het voldoende robuust in het loodrechte op de tool staande vlak (x,y) en de benodigde rotatienauwkeurigheid in het vlak. De cyclustijd voor het inschuiven van de as is niet volledig behaald (1,49s ipv 1,0 seconden) en is de vereiste robuustheid in de z-richting niet gehaald ($< 2\text{mm}$). Hier is verder onderzoek en ontwikkeling nodig.



FIGUUR 22 - IMPRESSIE VAN COMMERCIEEL BESCHIKBARE TOOL-WISSELSYSTEMEN.



a. Master unit (aan robot zijde) – top view

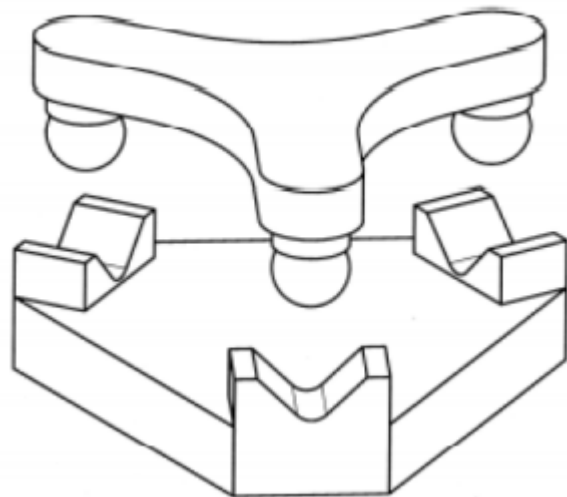
b. Master unit – side view

se



c. Tool unit (aan tool zijde)

FIGUUR 23 - TOOL-WISSELSYSTEEM.

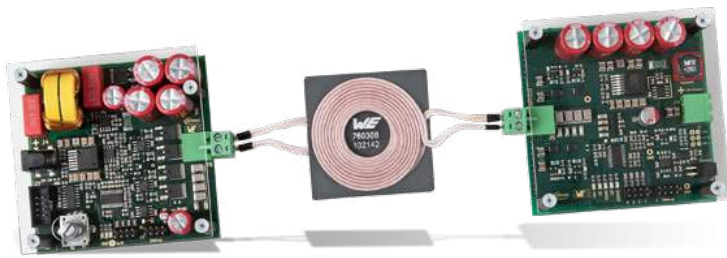


d. Quasi-kinematic ball-V groove constraint [1]



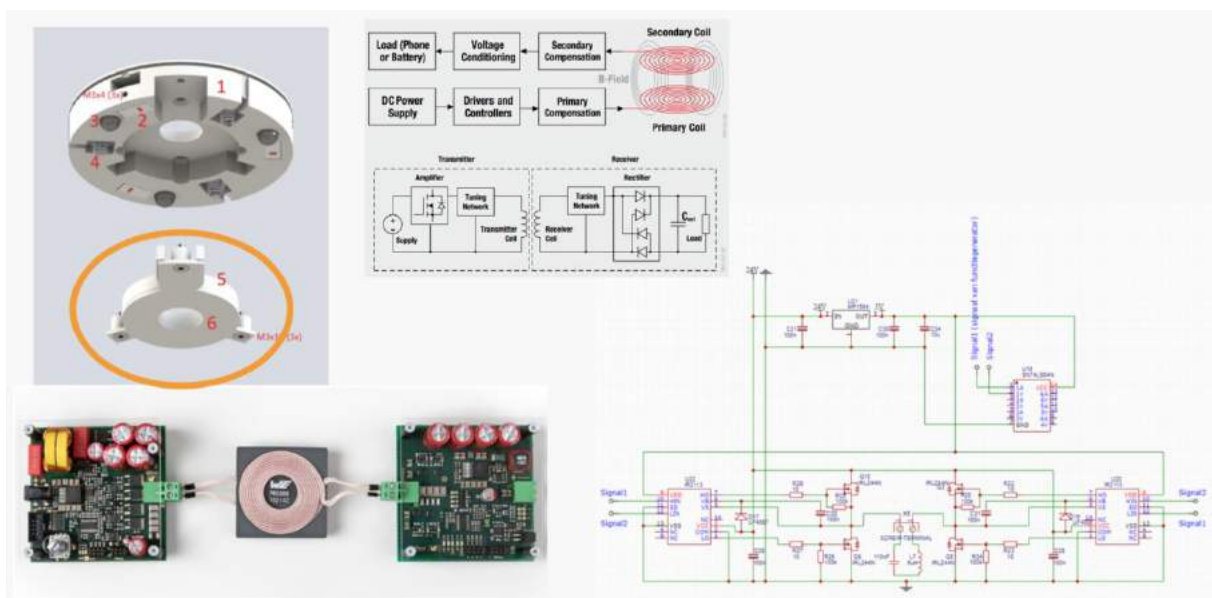
FIGUUR 24 - REALISATIE EN TEST VAN ZELF ONTWIKKELDE TOOL-WISSELSYSTEEM.

De tool-changer wordt aan de kant van de motor bevestigd aan de kop van de robot/cobot. Aan de andere kant kan een tool unit, bevestigd aan een tool, worden opgepakt. Deze is te zien in Figuur 23.c. Het contact tussen tool-changer en toolunit gedraagt zich als een quasi-kinematic ball-V groove constraint, zoals weergegeven in Figuur 23c. Verder wordt het uit elkaar bewegen van tool unit en master unit voorkomen door de verticale constraint getoond in Figuur 23. Het elektrisch contact tussen beide delen is gerealiseerd door middel van 3 veren op contactpunten. Elektriciteit worden overgebracht door middel van een veer-contactpunt contact. Figuur 24 toont beelden uit een opname waarbij het gerealiseerde tool-wisselsysteem succesvol is ingezet. De draadloze aansturing van de gripper is bewerkstelligt door de integratie van een ESP32 microcontroller met Wi-Fi functionaliteit.



FIGUUR 25: WÜRTH ELEKTRONIK POWER KIT 200W WIRELESS.

In het ontwerp van het tool-wisselsysteem is rekening gehouden met de draadloze overbrenging van elektrische energie. Om dit concept te testen is inspiratie opgedaan op basis van beschikbare commerciële oplossingen, zoals de 200W wireless power kit van Würth Elektronik, zoals te zien in Figuur 25. Dit is voldoende voor de energievoorziening van de voorziene robot en cobot tools.



FIGUUR 26 - OVERZICHT INTEGRATIE DRAADLOZE ENERGIEOVERDRACHT IN TOOL-WISSELSYSTEEM.

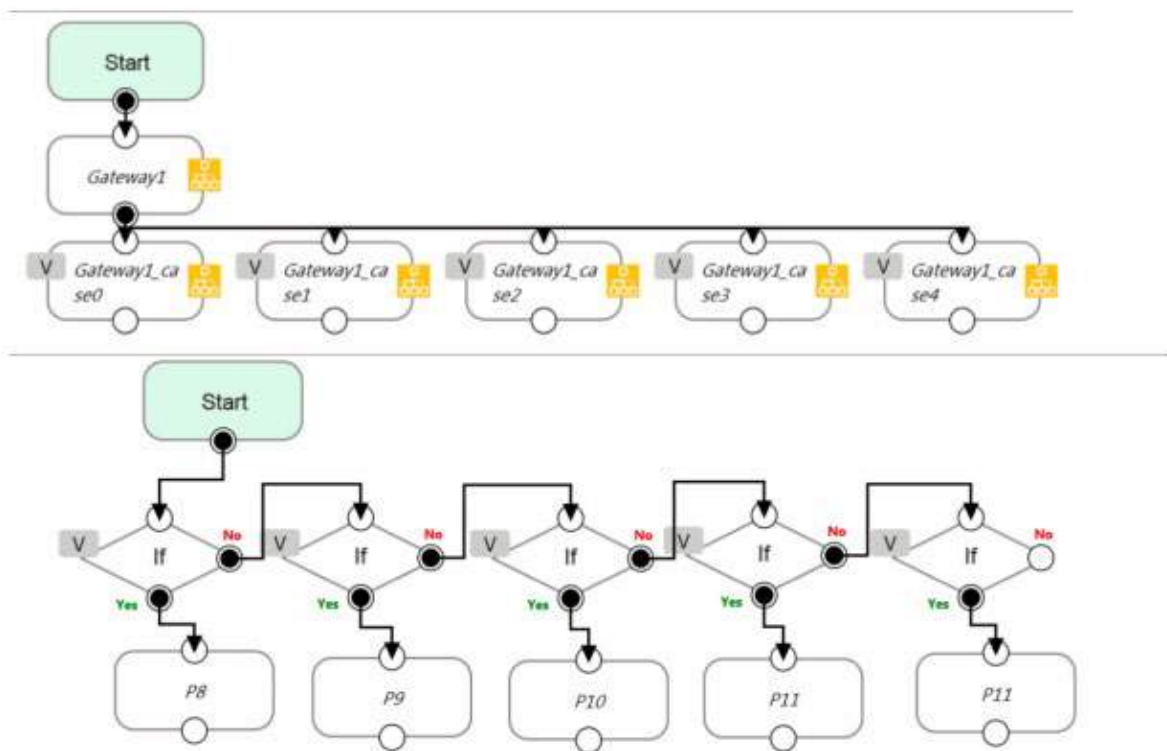
Er is een ontwerp gemaakt voor de aansturing van het overdrachtssysteem (zie Figuur 26). Hoewel alle sub componenten zijn gerealiseerd en getest bleek het uiteindelijke samengestelde systeem nog niet naar wens te functioneren. De energieverdracht is voldoende voor sensoriek en aansturing, maar niet voor de actuatoren. Het systeem werkt, maar de hoeveelheid energie die overgedragen kan worden, is veel lager dan waarvoor het systeem ontworpen is. Hier is vervolgonderzoek nodig, maar dit valt buiten het kader van dit project.

In een volgend project kunnen de opgedane kennis en ontwerp voor een toolwisselsysteem als uitgangspunt worden genomen voor verdere ontwikkeling.

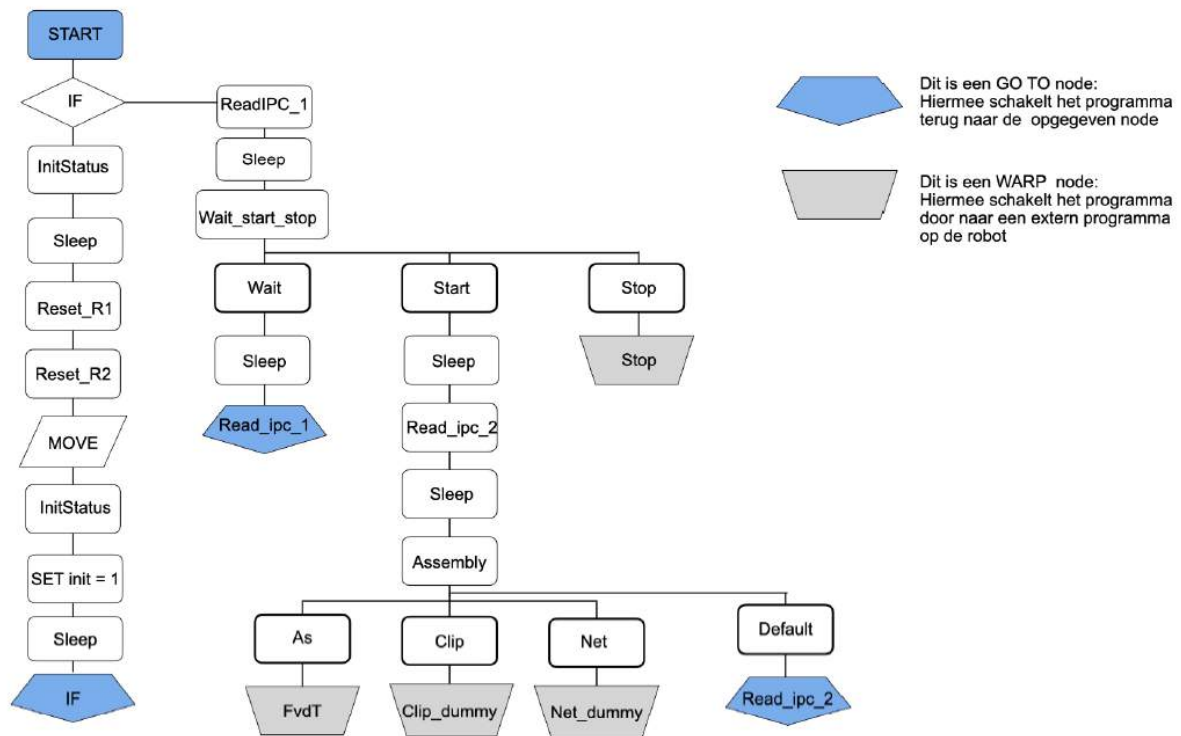
2.2.3 Software afloop aangepast aan het te verwerken product / proces

Om een werkcel meerdere taken uit te laten voeren is onderzocht welke mogelijkheden een TM5-700 cobot biedt om verschillende programma's uit te voeren op basis van aansturing vanuit een bovenliggend systeem. De interface die het beste ondersteund wordt vanuit de TM cobot is Modbus over TCP/IP. Via die interface is het mogelijk om waarden te lezen en te schrijven op verschillende geheugenadressen. Verder ondersteunt de TM cobot in de op basis van flow-diagrammen beschikbare programmeeromgeving het kiezen van een instructiepad op basis van variabelen. Dit gecombineerd met de mogelijkheid om sub-programma's aan te roepen maakt het mogelijk om voor verschillende programma's (bijvoorbeeld voor het insteken van een as of het plaatsen van een clipje) een aparte afloop in te leren. Vervolgens kan een bovenliggend systeem door de juiste adressen te lezen/schrijven de cobot aansturen.

Het uiteindelijke ontwerp voor de softwarearchitectuur op de TechMan cobot is getoond in Figuur 28.



FIGUUR 27 - VOORBEELD VOOR MOGELIJKHEDEN VERSCHILLENDE SOFTWARE AFLOOP OP BASIS VAN VARIABLEN IN TECHMAN COBOT ONTWIKKELOMGEVING.



FIGUUR 28 - ONTWERP VAN HOOFD-ARCHITECTUR OP TECHMAN COBOT MET ONDERSTEUNING VAN MEERDERE SUB-PROGRAMMAS.

2.3 Werkpakket 3: Werkcel

2.3.1 Ontwerp en realisatie software aansturing *van werkcellen*

Er is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van platformen voor de aansturing van de elementen in een werkcel. Dit betekent kunnen interfacen met het MES en met de verschillende onderdelen binnen een werkcel (denk aan de cobot of robot, camera systemen, grippers, etc). Er is onderzoek gedaan naar de inzet van industriële PC's (IPC), PLC's en microcontrollers. De resultaten zijn samengevat in Tabel 5. In deze tabel wordt door middel van min en plus een score aangegeven voor een variant ten opzichte van de andere varianten.

Industriële PC's (IPC) zijn de industriële variant van normale computers en hebben een hogere betrouwbaarheid en precisie. Ze worden over het algemeen gebruikt voor het verzamelen van data of het besturen van apparaten. Voor een IPC kunnen zelf softwareapplicaties geschreven worden of standaard software gekocht worden omdat een IPC vaak op industriële versies van Windows of Linux werkt. De IPC kan middels uitbreidingskaarten worden voorzien van extra functionaliteiten.

Een programmable logic controller (PLC) is een industriële computer die hoofdzakelijk bedoeld is voor het besturen van fabrieksprocessen. Een PLC lijkt erg op een IPC, echter is de ontwikkelomgeving qua talen gestandaardiseerd volgens de IEC61131-3 norm. Een PLC kan visueel geprogrammeerd worden met een Ladder diagram, Sequential Function Chart of een Function Block Diagram, of kan geprogrammeerd worden in Structured Text of Instruction List. Hoewel de talen grotendeels gestandaardiseerd zijn en de concepten overdraagbaar zijn, is het doorgaans niet mogelijk programma's één-op-één uit te wisselen tussen verschillende merken.

Een microcontroller is een kleine computer die gefocust wordt om een specifieke functie uit te voeren. Hierbij beschikt een microcontroller over minimale resources zoals een processorkern, geheugen en I/O-randapparatuur. Microcontrollers worden tegenwoordig in veel producten gebruikt zoals CV-ketels, Tv's en ovens. Vaak worden microcontrollers met C/C++ geprogrammeerd.

	IPC	PLC	Microcontroller	CoBot
Stroomverbruik	-	+	+	+
Kosten	--	--	+	++
Open ontwikkeling	++	--	++	--
Ethernet/WiFi	+	++	++	+
Software complexiteit	+	+	+	++
Software mogelijkheden	+	-	++	--
Hardware complexiteit	+	+	-	++
Hardware grootte	--	--	++	-/+

TABEL 5 - VERGELIJKING VERSCHILLENDE HARDWARE PLATFORMEN.



FIGUUR 29 - REFERENTIE ARCHITECTUUR WAARBIJ EEN SIEMENS PLC VIA EEN GATEWAY GEKOPPELD WORDT AAN DE GLOBAL DATA SPACE.

Op basis van de analyse zijn een aantal mogelijke referentiearchitecturen te definiëren:

- [A1] Een PLC met ondersteuning voor DDS. Dit heeft de voorkeur omdat de PLC de meest gebruikte vorm van besturingstechniek betreft in de industrie.
- [A2] Een PLC zonder ondersteuning voor DDS. In dit geval moet er een extra module worden toegevoegd die de vertaling verzorgt tussen het DDS domein en een interface die de PLC ondersteunt (zoals OPC-UA). Een voorbeeld van een deze architectuur is getoond in Figuur 29.
- [A3] Een IPC die ook met industriële protocollen zoals Ethercat en Profinet overweg kan. Op een IPC is doorgaans DDS ondersteuning softwarematig toe te voegen. In dat geval zou het ook mogelijk zijn om componenten aan te sturen zoals een gripper die direct DDS ondersteunen. Een gripper op basis van een microcontroller waarop RTI Connex Micro is geïmplementeerd is hiervoor geschikt.

Binnen dit project is voor de demonstrator gebruik gemaakt van architectuur A1. Dit vanwege de beschikbaarheid van Siemens PLC's (S1500 serie) en de reeds aanwezige ervaring hiermee. Een nadeel van deze aanpak is dat de Siemens PLC's geen directe DDS ondersteuning bieden. Daarom is er gebruik gemaakt van een module ('Gateway') die de vertaalslag maakt tussen DDS en OPC-UA, deze laatste wordt ondersteund door de Siemens PLC.

2.3.2 Realisatie *universele en flexibele werkcellen*

De werkcellen binnen dit project zijn gerealiseerd door middel van het plaatsen van cobots op daarvoor geschikte tafels (Siegmund lastafels²). Hieraan zijn PLC's (Siemens S1500) en IPC's (OMRON Industrial Box PC) gekoppeld voor communicatie met bovenliggende systemen via DDS en OPC-UA met de gateway (werkpakket 3.1). Verder zijn de werkcellen voorzien van het zelf ontwikkelde snelwisselsysteem (zie werkpakket 2.2), proces-specifieke grippers (werkpakket 1.2) en geprogrammeerd met ondersteuning voor het uitvoeren van meerdere assemblage taken (werkpakket 2.3).

Deze opzet voldoet om alle gespecificeerde assemblage handelingen aan de FSB uit te kunnen voeren.

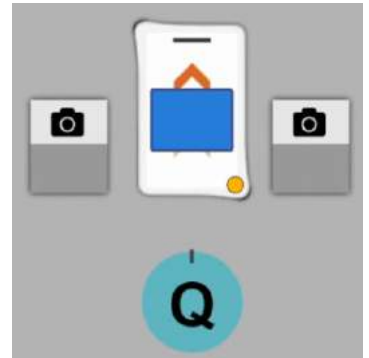
² <https://www.siegmund.com/om/74-%7B%7Btb-id-8099%7D%7D/140-%7B%7Btb-id-8099%7D%7D/Siegmund-Workstation-Basic-frame,102-detail-6833.php?gdpr-close=1>

2.3.3 Integratie kwaliteitsinspectie – quality control

Vanwege een parallel lopend project (project PRISMA³) omtrent computer vision voor industrietoepassingen is binnen dit project hier beperkt aandacht aan besteed. Wel is door middel van vision gecontroleerd of assemblagestappen goed zijn verlopen.

Er zijn enkele tests uitgevoerd met de integratie en toepasbaarheid van OMRON vision controllers voor kwaliteitsinspectie (Figuur 31). Het belangrijkste concept is de integratie van kwaliteitsinspectie voor en na elke assemblage stap indien mogelijk. Zo wordt voorkomen dat er handelingen worden uitgevoerd (en dus tijd/energie besteed) aan producten die reeds mankementen vertonen en afgekeurd zullen worden.

Dit is ook geïmplementeerd in de simulatie (werkpakket 4.1), zoals te zien in Figuur 30.



FIGUUR 30 - Kwaliteitscontrole station in simulatie

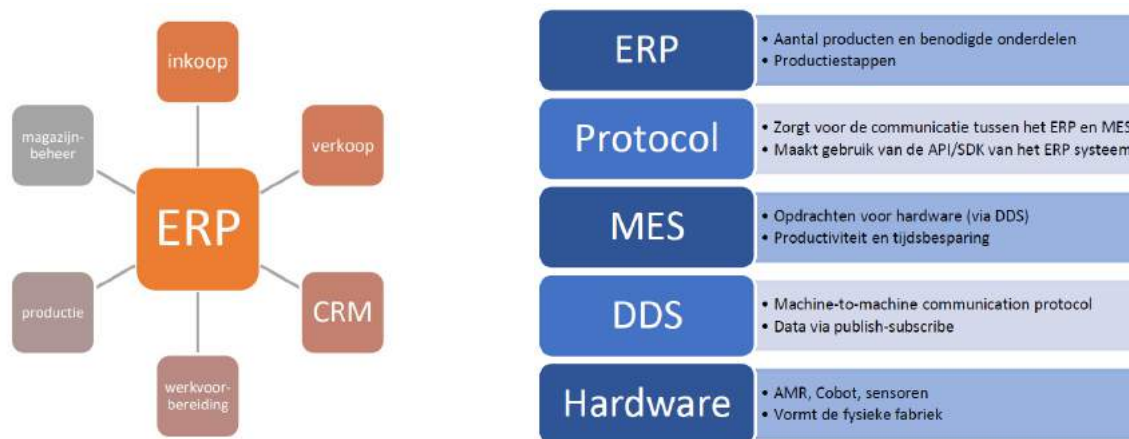


FIGUUR 31 - OVERZICHT VAN OMRON KWALITEITSINSPECTIESYSTEEM. LINKSBOVEN: CAMERA. RECHTSBOVEN: CONTROLLER. ONDER: FH VISION SOFTWARE.

³ <https://www.perron038.nl/en/vision-prisma/>

2.4 Werkpakket 4: Fabriek

Op basis van de ISA-95 en de NEN-EN-IEC 62264 norm zijn de verschillende lagen in kaart gebracht. Op basis daarvan is allereerst gewerkt aan de aansturing op het hoogste niveau: het ERP pakket (Figuur 52). Het gebruikte ERP pakket Ridder iQ is voor dit project beschikbaar gesteld door ECI Solutions [8]. Dit pakket is gekozen omdat het bij meerdere AWL klanten in de metaalbewerkingsindustrie toegepast wordt en de nodige ervaring mee is opgedaan.



FIGUUR 32 – LINKS: GANGBARE MODULES IN EEN ERP SYSTEEM. RECHTS: LAGEN IN FABRIEKSA

In het ERP pakket zijn de FSB en de bijbehorende sub-componenten en productiestappen geconfigureerd (Figuur 33).

Omschrijving	Aantal	Posnr	Volgnummer	Serie-afhankelijk	Afwijkende ko...	Memo	Code	Eenheid	Le...
FSB-Recliner Right	1,000	0110		☒	€ 0,00		P-001-01-001-80	Stuks	
FSB-Recliner Wheel Square	2,000	0070		☒	€ 0,00		P-001-01-001-90	Stuks	
FSB-Back Support	1,000	0060		☒	€ 0,00		P-001-01-001-100	Stuks	
FSB-Back Support	1,000	0080		☒	€ 0,00		P-001-01-001-100	Stuks	
FSB-Clip #1 rev001	4,000	0050		☒	€ 0,00		P-000-01-005-10	Stuks	
Axle Square	1,000	0120		☒	€ 0,00		P-000-01-006-10	Stuks	
Welding Frame #1	1,000		10	☒			7000		
Mounting Clips	1,000		20	☒			7010		
Mounting Recliner Wheel	1,000		20	☒		Meerdere wielen mogelijk	7020		
Mounting Back Support #1	1,000		20	☒			7030		
Mounting Net #1	1,000		30	☒			7040		
Mounting Left and Right Rec...	1,000		30	☒			7050		
Mounting Axle	1,000		40	☒		Meerdere assen mogelijk	7060		

FIGUUR 33 - CONFIGURATIE FSB PRODUCT EN ASSEMBLAGESTAPPEN IN HET ECI RIDDER IQ ERP SYSTEEM.

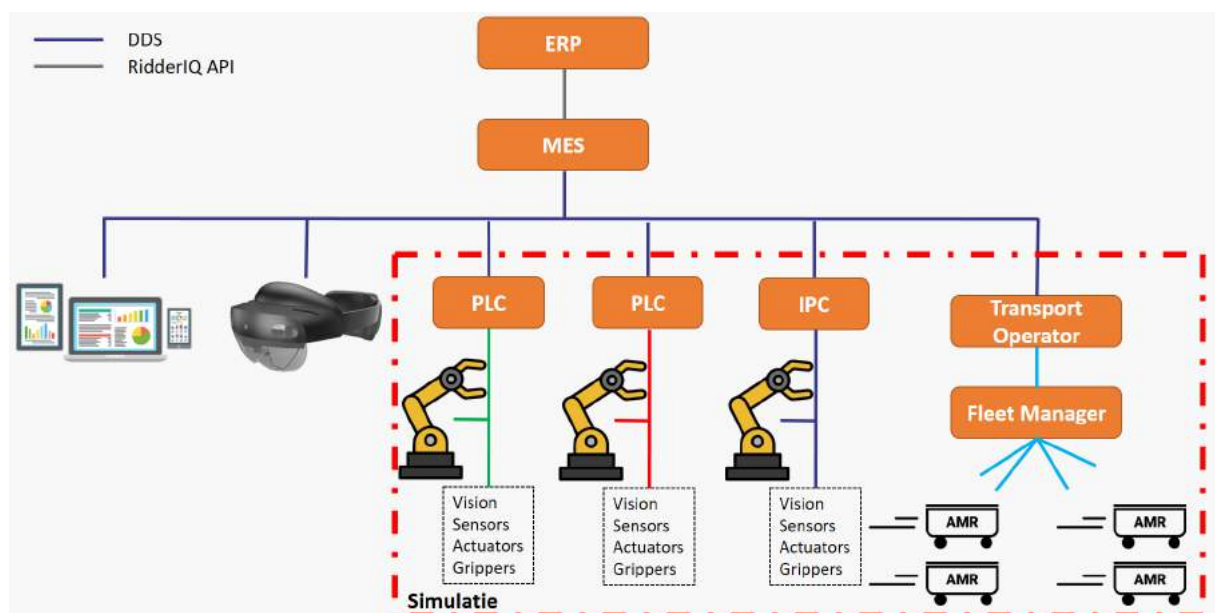
Voor het ontwerp, validatie en realisatie van de fabrieksaansturing is allereerst een evaluatie uitgevoerd van geschikte protocollen en architecturen. Daarbij is een datamodel ontwikkeld en state-machines voor de verschillende elementen in de fabriek. Dit is beschreven in werkpakket 4.4. Vervolgens is de aanstuuringsmethode

gekozen op basis van onderzoek, uiteengezet in werkpakket 4.3. Daarna is er een simulatie gemaakt waarbij de architectuur, het protocol en planning zijn getoetst. Ten slotte is een virtuele weergave en aansturing van de fabriek onderzocht in werkpakket 4.2.

2.4.1 Virtueel ontwerp en validatie productiefaciliteit

Om het ontworpen datamodel en protocol op basis van DDS (zie werkpakket 4.4) te testen is er een simulatieomgeving ontwikkeld. Er is gekozen voor een eigen ontwikkeling omdat er geen simulatiepakketten beschikbaar zijn die DDS ondersteunen.

De scope van de simulatie is weergegeven in Figuur 34. Werkcellen, een transportoperator, fleet manager en mobiele robots kunnen geconfigureerd en gesimuleerd worden. Door gebruik te maken van DDS als middleware is het mogelijk om vanuit het MES zowel de fysieke als gesimuleerde omgeving aan te sturen. Het MES hoeft hier niet voor aangepast te worden om te wisselen tussen deze omgevingen.



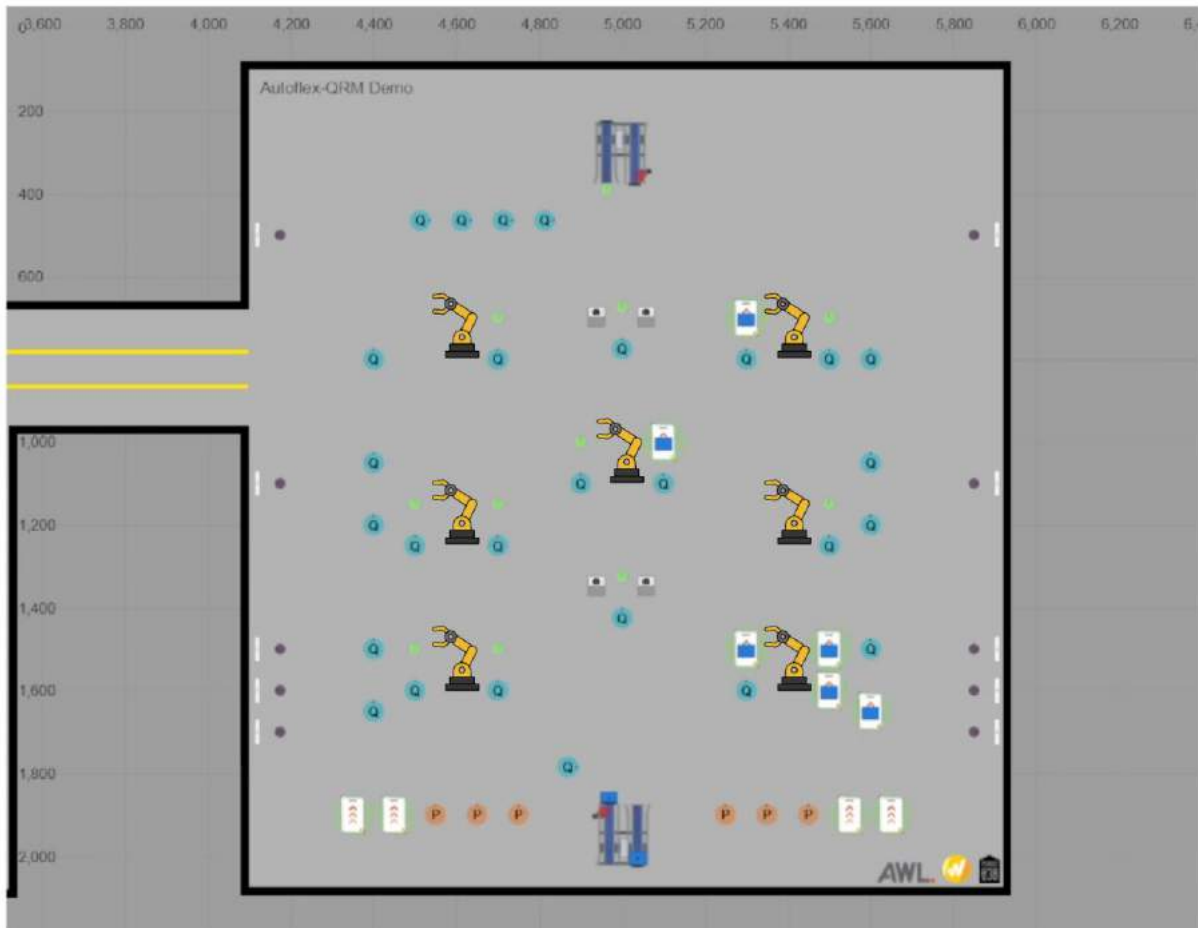
FIGUUR 34 - SCOPE VAN DE SIMULATIE

De simulatie is ontwikkeld in TypeScript⁴ en NodeJS⁵ en maakt gebruik van de DDS connector voor Javascript ontwikkeld door RTI⁶. De gebruiker kan het aantal en type cellen (zoals werkcellen, kwaliteitsinspectie, magazijn en expeditie) configureren. Ook kan er aangegeven worden welke type mobiele robots (MiR100, OMRON LD-60 en OTTO-100) en hoeveel er in de simulatie aanwezig dienen te zijn. De simulatie bevat een implementatie van de Transport Operator zoals besproken in werkpakket 4.4. In de simulatie zijn laders en producthouders geïmplementeerd en het concept van verkeerszones, welke de gesimuleerde fleetmanager gebruikt om de mobiele robots aan te sturen. De gebruikersinterface en weergave bestaat uit een web-omgeving (Figuur 35). Daarbij is ook een editor ontwikkeld wat het mogelijk maakt om de verkeerszones te configureren, weergegeven in Figuur 36.

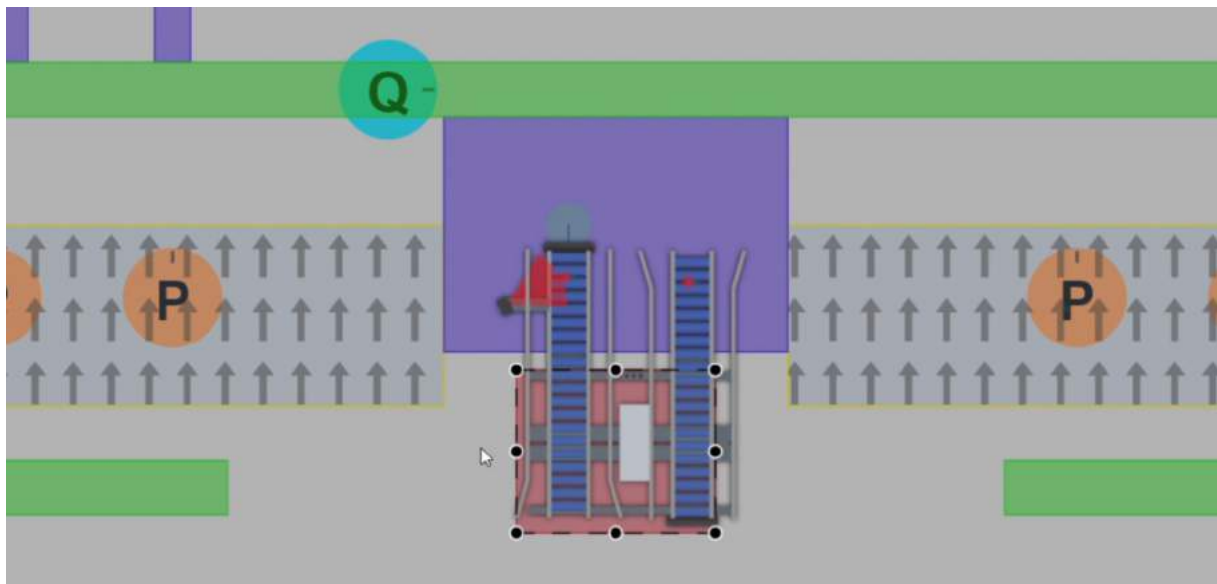
⁴ <https://www.typescriptlang.org/>

⁵ <https://nodejs.org/>

⁶ <https://github.com/rticommunity/rticonnextdds-connector-js>

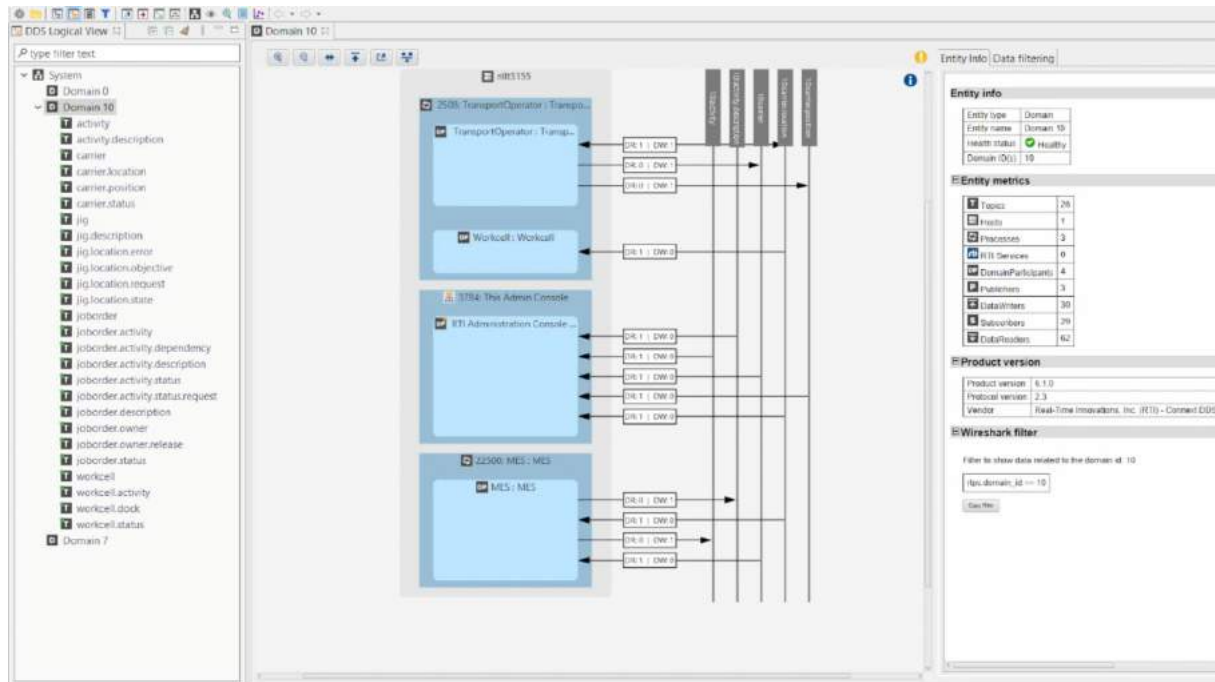


FIGUUR 35 - SCHERMAFBEELDING VAN SIMULATIEOMGEVING



FIGUUR 36 - SCHERMAFBEELDING EDITOR SIMULATIEOMGEVING

De simulatieomgeving is een belangrijk hulpmiddel in de ontwikkeling van het datamodel en gedragsprotocollen van het MES, de werkcellen en de Transport Operator.



FIGUUR 37 - SCHERMAFBEELDING VAN RTI'S 'ADMIN CONSOLE'. GETOOND ZIJN DE ACTIEVE TOPICS TIJDENS SIMULATIE.

2.4.2 Virtual commissioning (VR/AR)

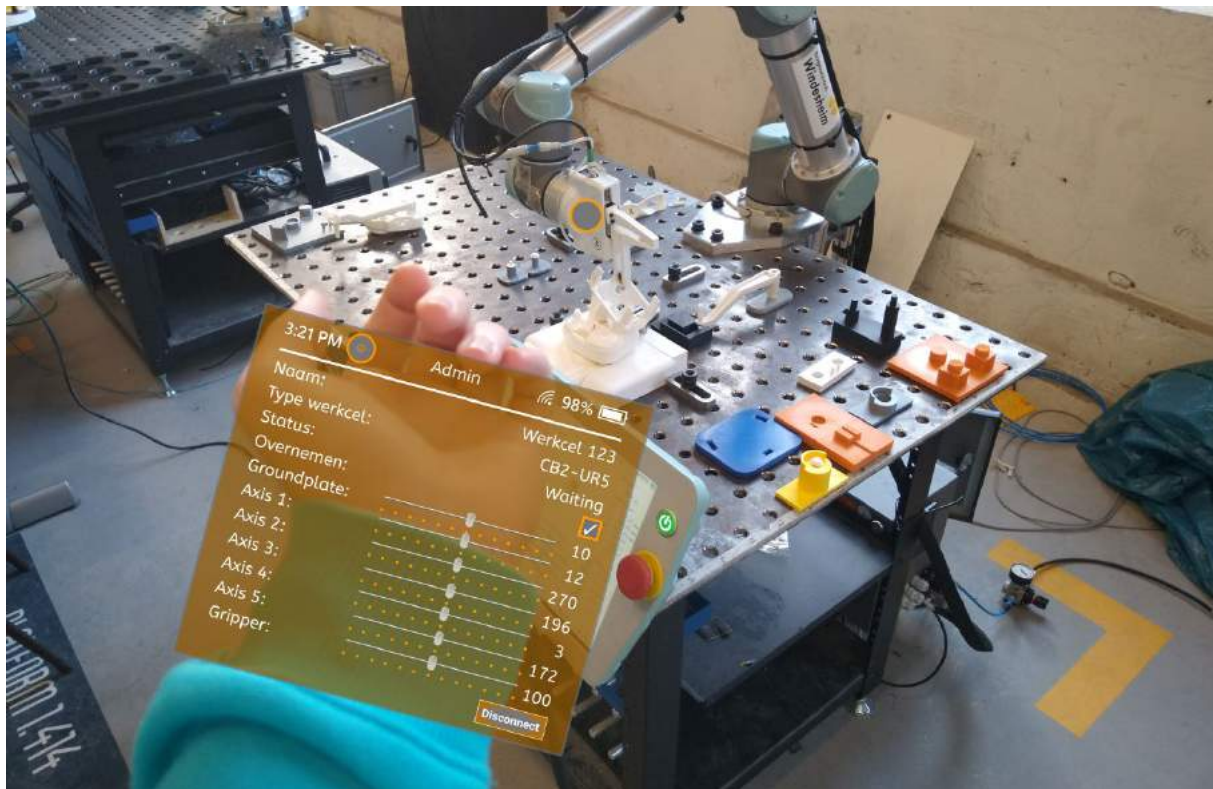
Om een virtuele weergave van de fabriekstoestand weer te geven zoals beschikbaar in DDS (zie werkpakket 4.4) is gebruik gemaakt van Unreal Engine 4 [9]. Op basis van deze omgeving is het mogelijk applicaties te ontwikkelen voor de VR (Virtual Reality) headset Oculus Rift CV1 en voor de AR (Augmented Reality) headset HoloLens 2 (Figuur 38).



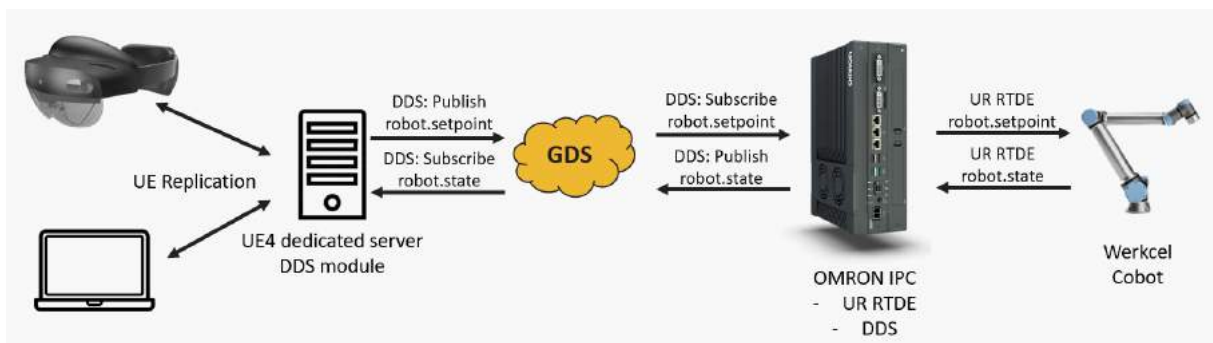
FIGUUR 38 – LINKS: MICROSOFT HOLOLENS 2 [10]. RECHTS: OCULUS RIFT CV1 [11].

Allereerst is er een ontwerp gemaakt van een gebruikersinterface op de HoloLens 2, zie Figuur 39.

Om de applicaties gebouwd met de Unreal Engine te kunnen koppelen aan het DDS netwerk is er een module geschreven voor Unreal Engine welke gebruik maakt van de DDS bibliotheek van RTI. De architectuur van deze oplossing is getoond in Figuur 40.

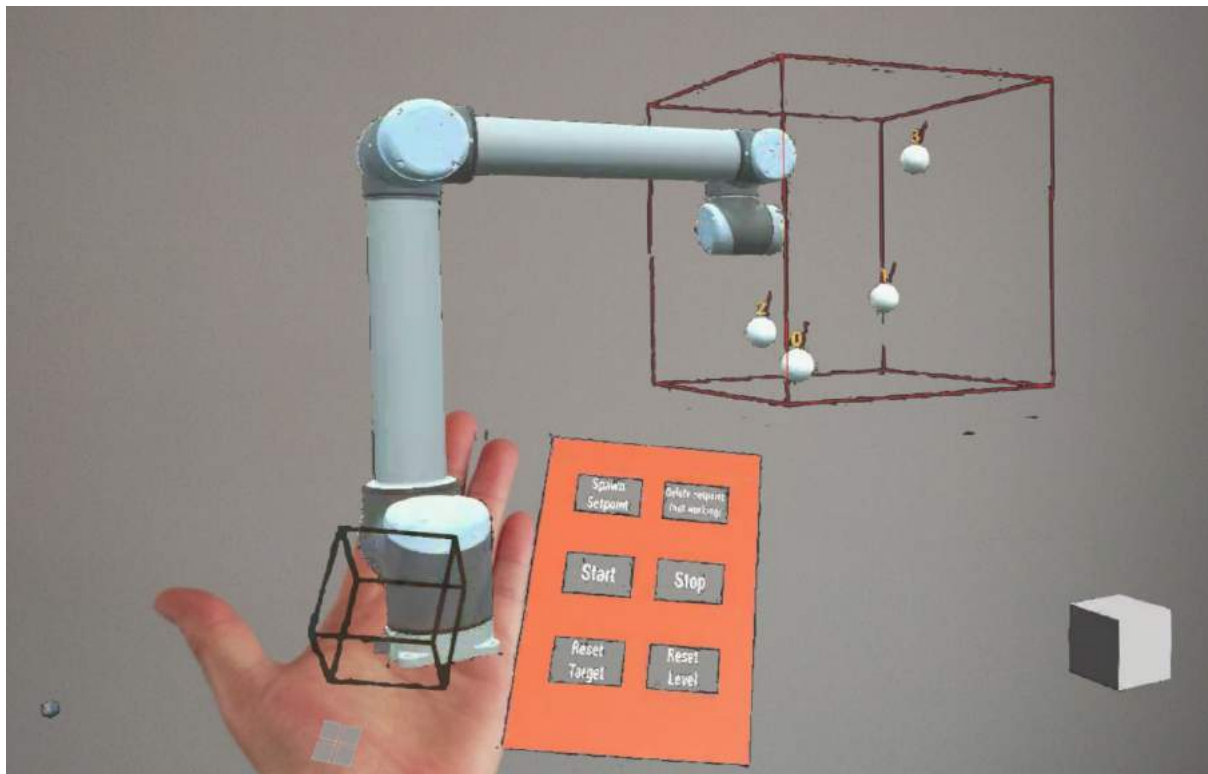


FIGUUR 39 - ONTWERP GEBRUIKERSINTERFACE FOOR HET KUNNEN BESTUREN VAN EEN COBOT MET DE HOLOLENS 2.



FIGUUR 40 - ARCHITECTUUR KOPPELING AR/VR APPARATEN AAN DDS NETWERK VIA UNREAL ENGINE.

Uiteindelijk is er een applicatie ontwikkeld waarmee het mogelijk is in een afgekaderd gebied rondom een UR10 cobot verschillende posities te definiëren waarbij de cobot, na opdracht gekregen te hebben, sequentieel de verschillende posities afloopt. Daarbij wordt de huidige status van de cobot real-time weergegeven via het 3D model van de cobot getoond op de HoloLens 2. Een schermafbeelding van de gerealiseerde applicatie is te zien in Figuur 41.



FIGUUR 41 - SCHERMAFBEELDING APPLICATIE HOLOLENS 2.

2.4.3 Onderzoek optimalisatie logistiek en routing

Om te onderzoeken in welke categorie typische huidige productie valt is AWL productiedata is geanalyseerd. Hieruit is gebleken dat er 29 producten in totaal zijn, waarvan zes producten goed zijn voor 50% van de productie aantallen. De volgende 23 producten omvatten samen ook 50% van de productie. Volgens [12] kan er geconcludeerd worden dat huidige case in de categorie Repeat Business Customisers (RBC) past, aangezien het gaat om Make-To-Order strategieën. Deze categorie heeft een meer voorspelbare relatie met de klant ten opzichte van Versatile Manufacturing Companies (VMC) die eerder engineer to order (ETO) vraagstukken op zich nemen.

Daarnaast is er tijdens dit onderzoek als uitgangspunt gekozen voor een job shop omgeving. Dit kan gecombineerd worden met een bedrijf dat ingedeeld kan worden in de RBC-categorie, en ingevuld kan worden in de Methode selectie matrix (Figuur 27). Als dit het geval is, dan zijn volgens [12] de methodes WLC, ERP en theory of constraints (TOC) het beste toepasbaar.

886

M. Stevenson et al.

	MTS	General Flow Shop	MTO (RBC)	MTO (VMC)
Pure Flow Shop	Kanban CONWIP ERP TOC		WLC CONWIP ERP POLCA TOC	Not Applicable
General Job Shop			WLC ERP TOC	WLC ERP TOC

Figure 3. System selection matrix presenting PPC alternatives for the MTO sector.

FIGUUR 42 - PLANNINGSMETHODE SELECTIE MATRIX [11].

Het literatuuronderzoek heeft uitgewezen dat Workload Control (WLC) en Theory of Constraints (TOC) de beste methodes zijn voor de aansturing en de procesoptimalisatie van het FSB-productieproces.

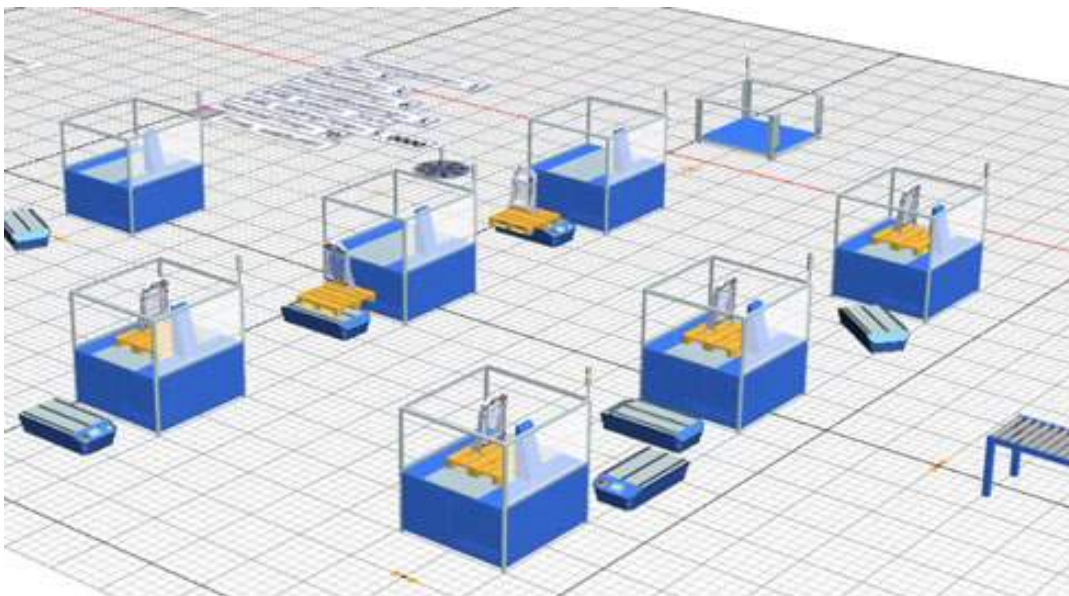
Het goed werken van de WLC-methode wordt hieronder getest in simulaties. Het optreden van bottlenecks, wat TOC zou kunnen verhelpen, hangt sterk af van de praktijksituatie.

Dit vraagt om flexibele productie, die het meest rendabel wordt voor de 23 producten waar de minste vraag naar is. Deze producten zullen bij lijn productie voor te veel omsteltijden zorgen.

Verder blijkt uit de analyse van klantwensen dat de variabelen, namelijk het aantal AMR's, de bewerkingstijden, de productmix en de bezetting van de fabriek belangrijke variabelen zijn voor optimalisatie. Deze punten zijn opgenomen in de eisen voor het simulatiemodel en getest in de simulatie. Deze punten blijken tijdens de testen een behoorlijke impact te hebben op de doorlooptijd van het proces.

Om de juiste werking van deze methode aan te tonen is een simulatie gerund over de productie van de FSB's. Hierbij wordt uitgegaan van 25000 producten per week, en een werkweek van 5 dagen met 15 shifts per week. Dit leidt tot een taktijd van 16 seconden per FSB.

Om een realistische simulatie te maken is de afhankelijkheid van de productiestappen van belang. Vanuit dit overzicht is de afhankelijkheid geprogrammeerd in Siemens Plant Simulation [13]. Er wordt geanalyseerd op welk station het product ligt en welke bewerkingen al zijn uitgevoerd. Op basis hiervan zijn de mogelijke volgende bewerkingen bepaald. Deze bewerkingen worden in de stationlist geschreven. Vervolgens wordt bepaald of het bewerkingsstation de bewerking uit kan voeren en of het bewerkingsstation beschikbaar is.



FIGUUR 43 - SCHERMAFBEELDING SIMULATIE IN SIEMENS PLANT SIMULATION.

Dat de WLC-methode goed werkt op de huidige case, wordt ondersteund door de bezettingsgraad test met de simulatie. Het resultaat is dat de optimale procesflow wordt behaald met een bezettingsgraad tussen de 70% en 85%. Met deze waarden wordt namelijk de kortste gemiddelde doorlooptijd behaald.

2.4.4 Koppeling en aansturing systemen op verschillende lagen in de fabriek

Om het MES systeem te verbinden met de werkcellen is onderzocht welk protocol daar het meest geschikt voor is. De eisen voor deze koppeling zijn opgesteld als volgt:

- Garantie van deterministisch gedrag indien nodig
- Flexibele aan/afkoppeling deelnemers
- Gebaseerd op standaard ethernet
- Ondersteuning bedraad en draadloos netwerk
- Open standaard
- Beveiliging onderdeel van de standaard
- Naadloze integratie office en industriële netwerk

- Integratie en toegang tot data vanuit applicaties (i.p.v. alleen industriële componenten)
- Decentrale aansturing
- Data centraal in plaats van device centraal

Geëvalueerd zijn de volgende standaard industriële protocollen / infrastructuur: EtherCAT, PROFINET, OPC-UA en Modbus TCP. Ook is onderzoek gedaan naar (industriële) Internet of Things protocollen (IIoT / IoT), te weten HTTP/REST, MQTT en DDS (Tabel 6). In deze tabel wordt door middel van min en plus een score aangegeven voor een variant ten opzichte van de andere varianten. Uitgegaan is van protocollen zoals in kaart gebracht door het Industry IoT Consortium (IIoTC)⁷.

	HTTP	MQTT	DDS	Profinet	EtherCAT	OPC-UA	Modbus
Open standaard	++	++	++	++	++	++	++
Wired en wireless	++	++	++	+	++	++	+
Beveiliging	++	+	++	++	++	+	--
Aan- en afkoppelen apparaten	--	++	++	--	--	++	--
Data vs message centric	-	++	++	-	-	++	-
Deterministisch	-	--	+	++	++	-/+	--
Single point of failure	+	--	++	-	-	--	+
Implementatie mogelijkheid	++	-	-	++	++	-	++

TABEL 6 - VERGELIJKING PROTOCOLLEN

Uit de analyse is gebleken dat DDS het meest geschikt lijkt voor de koppeling van het MES systeem met de individuele werkcellen. De voornaamste reden hiervoor is dat het een open standaard betreft, veiligheid onderdeel is van het protocol, decentraal opgezet is en dat er meerdere implementaties voor een breed scala aan platformen en programmeertalen beschikbaar is. Zo zijn er commerciële pakketten beschikbaar (zoals RTI Connex) en open-source vrij beschikbare implementaties (zoals OpenDDS en CycloneDDS).

DDS

De Data Distribution Service (DDS) open standaard bestaat uit meerdere elementen (Figuur 45):

- Een gedeelde terminologie. Deze wordt hierna toegelicht.
- Een standaard interface voor programmeertalen (API)
- Een protocol voor de bits en bytes zoals deze verzonden worden over het netwerk. Dit onderdeel is een sub-standaard van DDS genaamd Real-Time Publish Subscribe (RTPS).

Conceptueel beschrijft DDS het bestaan van een 'Global Data Space' (GDS). Dit kan vergeleken worden met een gedeelde database die elke deelnemer ('Participant') aan het gezamenlijke netwerk ('Domain') kan inzien. Data is onderverdeeld in onderwerpen ('Topics') waar deelnemers via schrijvers ('Data Writers') naar toe kunnen schrijven ('Publishen') en op data via lezers ('Data Readers') kunnen abonneren ('Subscriben') en ontvangen zodra er nieuwe data beschikbaar is. Aan elk onderwerp (*topic) kunnen eigenschappen ('Quality of Service') worden

⁷ <https://www.iiconsortium.org/>

toegekend die bijvoorbeeld aangeven hoe lang data beschikbaar moet blijven voor deelnemers ('Participants') die later toetreden tot het netwerk, of hoe vaak data ververs moet worden.

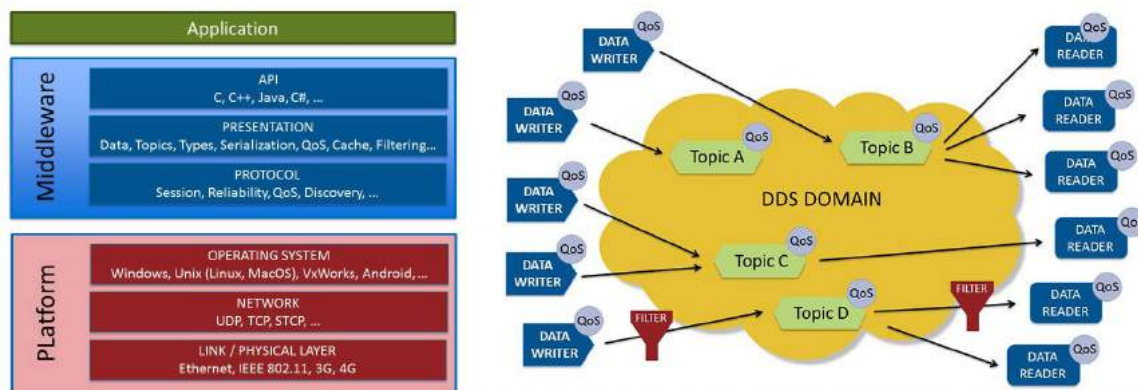


FIGUUR 44 - DE GDS ALS DATA-GEDREVEN VERBINDING TUSSEN ALLE DEELNEMERS DIE DATA INZIEN EN GENEREREN.

DDS ondersteund beveiliging door het versleutelen van de data stromen en door te kunnen configureren welke deelnemers op een bepaald onderwerp data mogen inzien of genereren.

DDS is een decentraal systeem wat inhoudt dat er geen centrale entiteit nodig is om deelnemers aan elkaar te koppelen. Er wordt gebruik gemaakt van een ontdekkingsmechanisme ('Discovery') waarbij een deelnemer ('Participant') via UDP Multicast zijn bestaan kenbaar maakt aan de andere deelnemers. Onderdeel van dit mechanisme is het uitwisselen van de onderwerpen waarop data geschreven wordt ('publish') en naar welke ontwerpen geluisterd wordt ('subscribe') aangevuld met de verwachte eigenschappen ('Quality of Service'). Als deze informatie tussen deelnemers overeenkomt op een bepaald onderwerp, wordt er een verbinding aangelegd ('Matching').

Door gebruik te maken van verschillende domeinen kan de GDS onderverdeeld worden zodat bijvoorbeeld een werkcel alleen de componenten zichtbaar heeft die voor deze werkcel relevant zijn. Een bovenliggend systeem heeft toegang tot meerdere domeinen en kan zo data uit alle onderliggende lagen benaderen (Figuur 46).



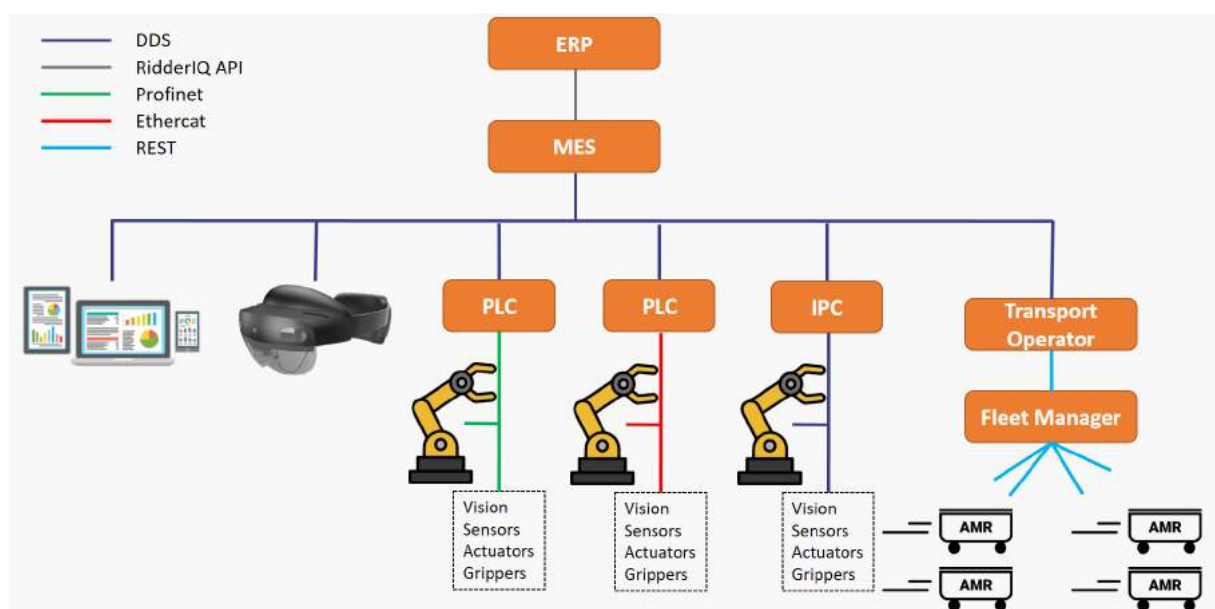
FIGUUR 45 - LINKS: DDS ALS MIDDLEWARE IN SOFTWAREARCHITECTUUR. RECHTS: DDS CONCEPTEN [14].



FIGUUR 46 - LINKS: VOORBEELD VAN ENKELE DEELNEMERS ('PARTICIPANTS') DIE SCHRIJVEN EN LEZEN UIT EEN GEZAMENLIJK ONDERWERP 'TOPIC A'. RECHTS: DOOR GEBRUIK TE MAKEN VAN DOMEINEN KUNNEN ER PARTITIES AANGEMAAKT WORDEN IN HET 'GLOBAL DATA SPACE' [14].

Architectuur

Op basis van het gekozen protocol en in combinatie met de gedefinieerde platformen voor werkcellen in o.a. werkpakket 3.2 is op hoofdlijnen de architectuur ontworpen zoals weergegeven in Figuur 47

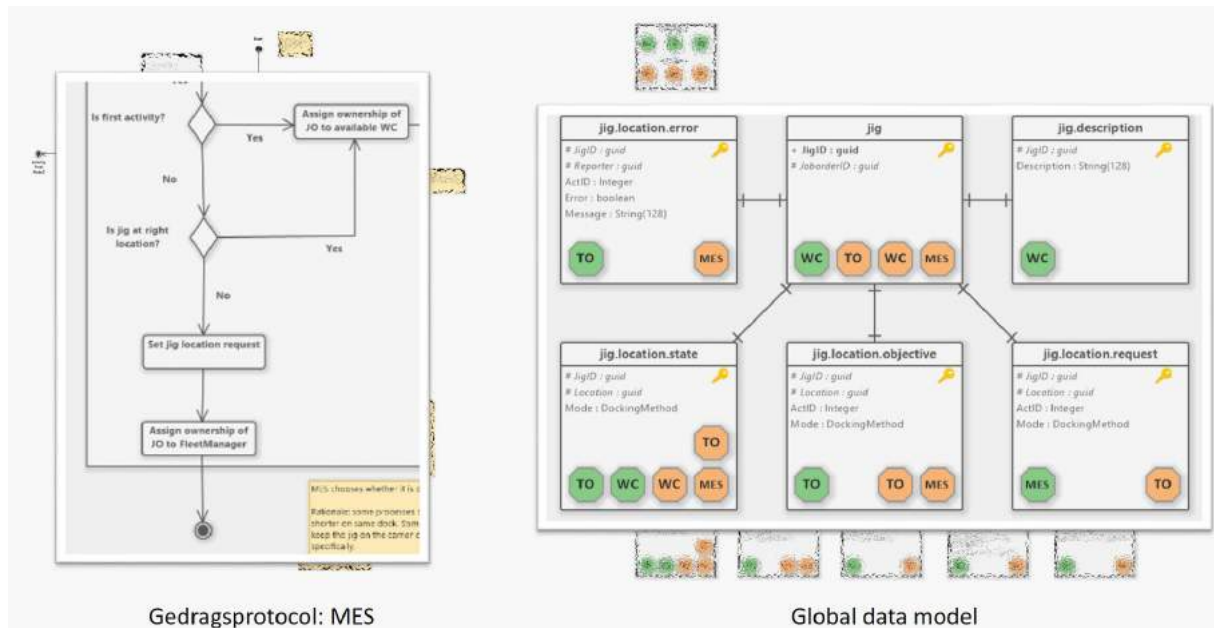


FIGUUR 47 - ARCHITECTUUR WAARIN DE VERSCHILLENDE LAGEN GEKOPPELD ZIJN VIA DDS.

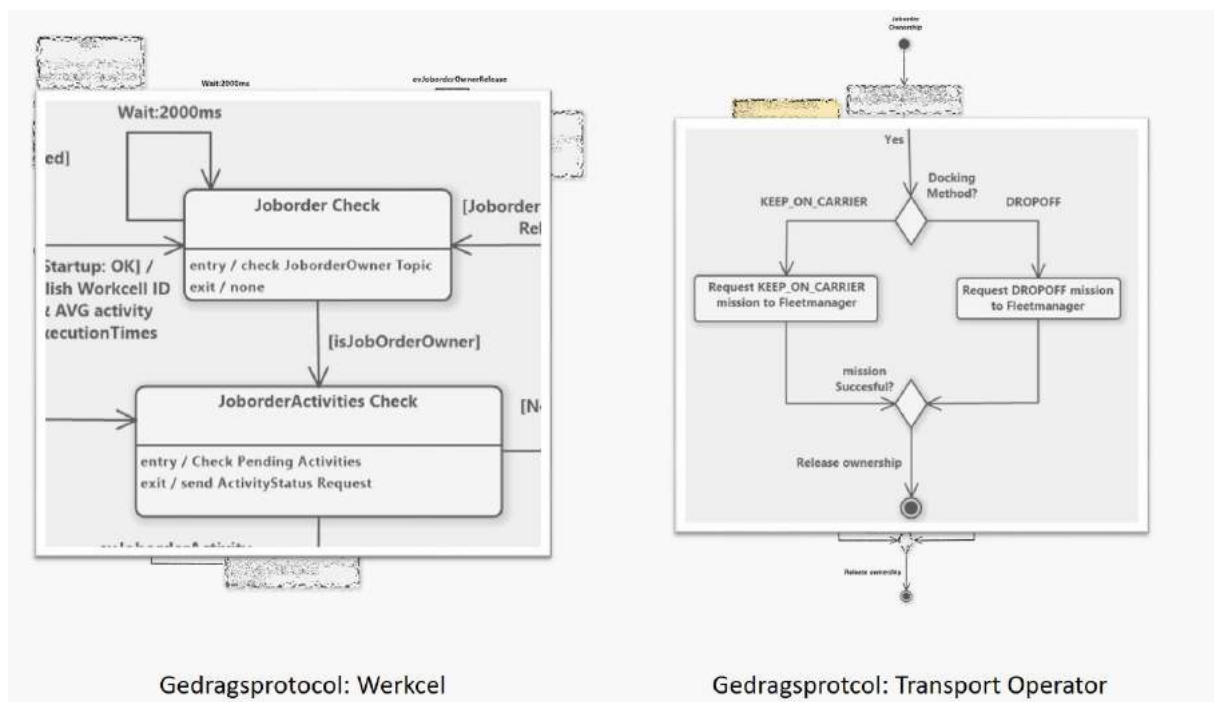
Data model

Binnen DDS zijn onderwerpen ('Topics') en de bijbehorende datastructuren gedefinieerd. Elke deelnemer moet zich aan deze conventies houden, anders kan er geen data uitgewisseld worden ('mismatch'). Ten slotte is vastgelegd hoe elke deelnemer ('participant') omgaat met de ontvangen en verzonden data en hoe deze interacteert (gedrag).

Er zijn een data model en gedragsprotocollen ontwikkeld. Het datamodel beschrijft de verschillende DDS topics en de bijbehorende data structuur. Ook geeft het aan welke actoren op welke topics schrijven ('publishen') en lezen ('subscriben'). Een close-up van het data model en de gedragsprotocollen zijn weergegeven in Figuur 48 en Figuur 49.



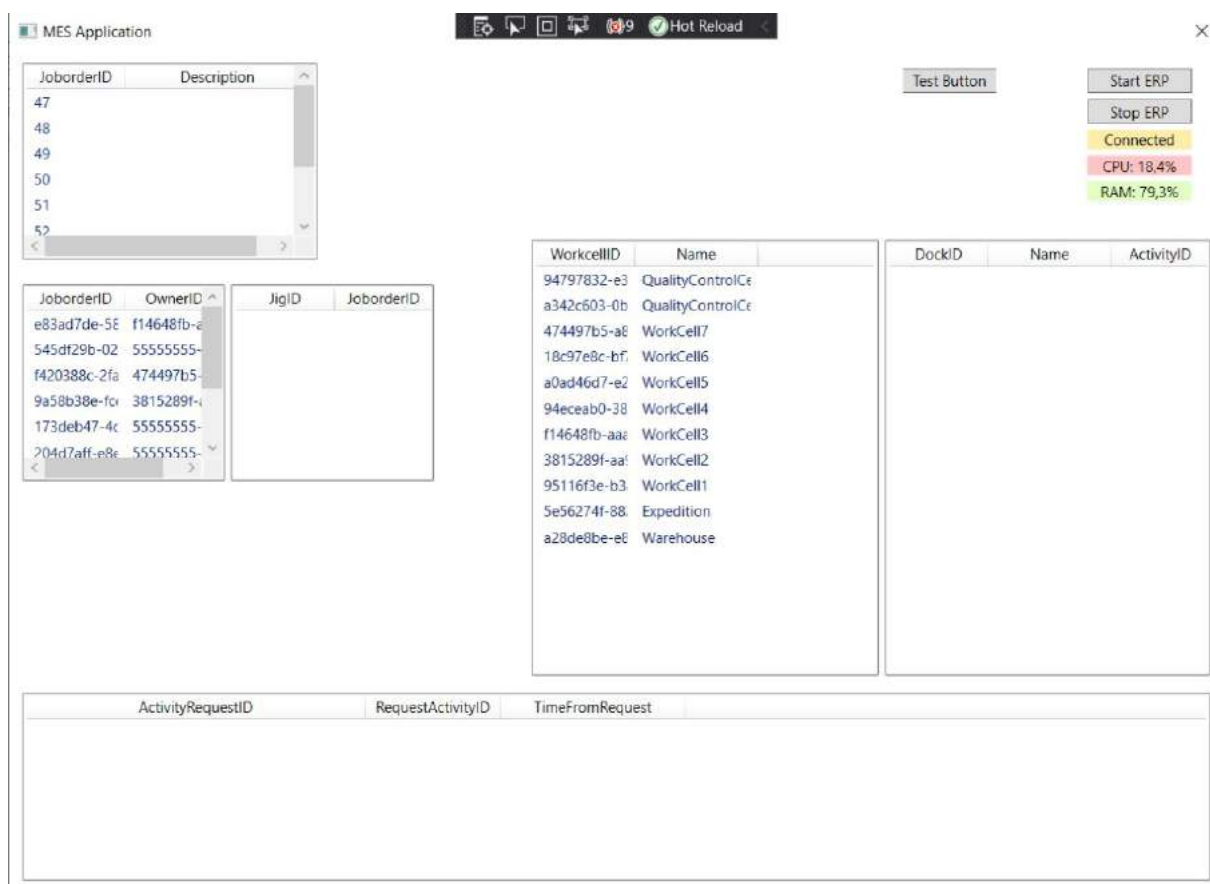
FIGUUR 48 - LINKS: UITSNEDE GEDRAGSPROTOCOL MES. RECHTS: UITSNEDE DATA MODEL



FIGUUR 49 - LINKS: UITSNEDE GEDRAGSPROTOCOL WERKCEL. RECHTS: UITSNEDE GEDRAGSPROTOCOL TRANSPORT OPERATOR

MES

Ten slotte is er een eigen implementatie van een MES applicatie ontwikkeld. Deze applicatie is geschreven in C# en maakt gebruik van de softwarebibliotheken van Ridder iQ en RTI. De eerstgenoemde bibliotheek stelt de MES applicatie in staat om met het ERP systeem te communiceren. De bibliotheek van RTI wordt gebruikt om data te lezen en schrijven naar het Global Data Space gedefinieerd in DDS. Een schermafbeelding van de MES applicatie is getoond in Figuur 50.



FIGUUR 50 - USER INTERFACE ZELF ONTWIKSELDE MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM (MES).

3 Samenvatting en conclusie

Het doel van dit project is kennis te ontwikkelen rondom een 'single-piece-flow' productiefaciliteit met als leidraad het QRM-principe. Hiervoor is een realistisch productieproces gedefinieerd en is de scope van het project gekaderd en opgedeeld met behulp van de verschillende automatiseringslagen zoals vastgelegd in de ISA-95 en de IEC 62264 standaard. Dit heeft geresulteerd in een fabrieksconcept waarbij meerdere flexibele werkcellen verschillende stappen in een assemblageproces kunnen uitvoeren. Zo is op het hoogste niveau gewerkt aan de aansturing van meerdere werkcellen vanuit een Manufacturing Execution System (MES) welke integreert met een bovenliggend ERP systeem. Een ERP systeem is ook geïmplementeerd. Op werkcel-niveau is onderzoek gedaan naar de benodigde componenten, interfaces en aansturing. Ook is gewerkt aan de ontwikkeling van assemblage-handeling-specifieke tooling en tool-wisselsystemen. Ten slotte is de manier van transport tussen de werkcellen onderzocht.

Er is een ERP systeem van ECI geïmplementeerd (Ridder IQ) waarin een product met de bijbehorende assemblagestappen is geconfigureerd. Een MES systeem is ontwikkeld welke de vrijgegeven producten voor productie ophaalt uit het ERP systeem en via DDS verbonden is met de verschillende werkcellen. Met simulatie opgezet met Siemens Plant Simulation is vastgesteld dat Workload Control (WLC) het beste past bij de flexibele fabrieksopstelling. Bovenop het DDS protocol is een uitgebreid data en gedragsmodel ontwikkeld. Vervolgens zijn in een eigen ontwikkelde simulatie de ontworpen protocollen op basis van DDS getoetst. Vervolgens is fysiek een werkcel op basis van een cobot gerealiseerd en is deze gekoppeld aan het MES systeem. Er is aangetoond dat het met deze opstelling mogelijk is op een flexibele wijze productieorders uit te voeren met een wisselende beschikbaarheid en configuratie van de werkcellen. Met een Virtual Reality en Augmented Reality (AR) proof-of-concept is aangetoond dat het mogelijk is de data in het DDS domein real-time weer te geven en de gebruiker opdrachten aan een werkcel kan geven.

In de context van de werkcel is er vastgesteld dat zowel een PLC als een IPC geschikt is voor de aansturing van een werkcel en de bijbehorende componenten. Als er gebruik gemaakt wordt van componenten die industriële protocollen ondersteunen zoals Profinet of Ethercat is het aan te raden een PLC in te zetten. Indien de componenten in de werkcel via DDS gekoppeld zijn is het raadzaam een IPC met een real-time OS of een PLC platform te kiezen wat het gemakkelijk toevoegen van extra softwaremodules ondersteund (zoals Beckhoff's TwinCat) en deze in te zetten als centrale component in de werkcel. Om met het MES te communiceren is de DDS koppeling op een IPC direct te realiseren. DDS koppeling met een PLC is doorgaans niet direct mogelijk omdat dit protocol niet standaard ondersteund wordt. Daar moet bijvoorbeeld een gateway worden ingezet die de vertaling verzorgt tussen DDS en bijvoorbeeld OPC-UA (wat over het algemeen wel ondersteund wordt op PLC's). Inhoudelijk kan de flexibele werkcel onder andere bestaan uit een cobot of robot, gecombineerd met tool-wisselsystemen en camera's om flexibele productie mogelijk te maken. De integratie van kwaliteitsinspectie helpt bij het monitoren van elke productiestap en om ervoor te zorgen dat niet nodeloos handelingen uitgevoerd worden op producten waarvan reeds een productiestap gefaald is.

Op het niveau van tooling is een vergelijking gemaakt tussen geschikte typen robots en cobots. Een belangrijke factor is het aantal te verwachten benodigde vrijheidsgraden voor de uit te voeren assemblagehandelingen. Op basis van het gedefinieerde assemblage proces is gekozen voor de inzet van een 6-assige cobot. Op basis van een functieanalyse voor een toolwisselsysteem is vastgesteld dat in de markt geen geschikte kant en klare

oplossing voorhanden is. Een elektrisch tool-wisselsysteem is ontworpen en gerealiseerd. Een aanzet is gegeven voor draadloze energieoverdracht in het wisselsysteem. De software afloop is variabel gemaakt door de cobot implementatie zo op te zetten dat door een bovenliggend systeem aangegeven kan worden welke processtap uitgevoerd moet worden.

Logistiek behelst zowel het verplaatsen van de producten tussen de werkcellen als de verplaatsing van producten en onderdelen in een werkcel. Voor de verplaatsing van producten tussen de werkcellen is aangetoond dat de inzet van AMR's geschikt is. Daarbij is het mogelijk gebleken de assemblagehandelingen aan de producten uit te voeren terwijl het product op de mobiele robot blijft staan. Daarbij is gebruik gemaakt van camerasystemen om de positie van de producthouder ten opzichte van de werkcel te bepalen. Dit heeft als voordeel dat het product niet afgezet hoeft te worden bij een werkcel en dit bespaart cyclustijd. Voor de assemblagehandelingen heeft het ontwerp van specifieke grippers de voorkeur boven het ontwerp en inzet van multifunctionele grippers. Dit omdat vooraf niet in te schatten is welke functionaliteit een bepaalde gripper allemaal moet ondersteunen, zeker niet bij snel veranderende processen. Met topologie-optimalisatie is het mogelijk om proces-specifieke grippers te ontwikkelen die optimaal zijn qua gewicht en geometrie. Flexibiliteit wordt gerealiseerd door een extra gripper toe te voegen aan het assortiment grippers dat met een automatische toolwissel gebruikt kan worden in de werkcel.

Concluderend zijn de doelen in het project gerealiseerd. Ervaring zijn opgedaan bij het ontwerpen en realiseren van diverse experimentele opstellingen en simulaties. Hierbij zijn diverse opties vergeleken en/of getest, keuzes gemaakt en gevalideerd. Op basis hiervan zijn kennis en inzichten ontwikkeld om te komen tot een productiefaciliteit met veel variatie in producten. In deze projectrapportage is dit beschreven, evenals de fysieke en virtuele demonstrator die zijn gerealiseerd.

4 Vervolg

Op basis van de resultaten en ervaringen uit dit project zijn verschillende onderwerpen aan bod gekomen waarvan het nuttig wordt geacht hier diepgaander aandacht aan te besteden. Deze onderwerpen kunnen in een vervolgproject onderzocht worden.

Allereerst het concept 'Digital Twin'. Binnen dit project is er een simulatie van de fabriek ontworpen en uitgevoerd om de werking van de geïmplementeerde concepten te toetsen. Een volgende stap zou zijn om, na realisatie van een (deel van de) fabriek, live data uit de fabriek terug te voeren naar de simulatie. Enerzijds om de aannames en configuratie van de simulatie te toetsen en bij te stellen. Anderzijds om live op afstand een virtuele afspiegeling van de fysieke fabriek in te kunnen zien zonder potentieel het productieproces te verstoren.

Binnen de ontworpen fabriek wordt veel data gegenereerd. Los van de aansturing wordt deze data nog niet vastgelegd voor traceability en analyse doeleinden. Dit is een vraagstuk dat in de industrie meer aan de orde komt en het is interessant om dit verder uit te diepen, te implementeren (in de huidige opzet) en hier ervaring mee op te doen. Omdat via DDS alle data toegankelijk is, is het mogelijk om een softwaremodule te schrijven die alle data in het DDS domein wegschrijft naar een database. Een potentiële kandidaat zou de PostgreSQL database met de TimescaleDB extensie zijn omdat deze geschikt is voor grote hoeveelheden tijd-geordende data. Vervolgens kan de data inzichtelijk worden gemaakt met pakketten zoals Microsoft Power BI of Grafana.

Voor het optimaliseren van de fabriekslay-out en volgorde van executie van productorders is er op dit moment nog geen lerend/bijsturend element aanwezig. De lay-out en productorder volgorde wordt bepaald bij aanvang en op basis van aannames van de product-mix en werking van de werkcellen en transportsystemen. Een, mogelijk AI-gebaseerd, systeem wat de uitvoering real-time optimaliseert kan onderzocht worden. Dit zorgt voor een optimalisering op basis van data wat de productiviteit ten goede komt en daarmee de gehele organisatie ten goede komt.

Er zijn meerdere softwarecomponenten ontworpen en gerealiseerd binnen dit project. Er kan worden onderzocht welke van deze componenten (bijvoorbeeld de MES implementatie) open-source beschikbaar gemaakt kunnen worden. Dit ook in het kader van disseminatie van de projectresultaten.

Product Lifecycle Management (PLM) software wordt in industrie toegepast om de processen rondom de ontwikkeling van producten te automatiseren en de informatie digitaal vast te leggen. PLM software wordt vaak geïntegreerd met ERP pakketten. Er kan onderzocht worden naar binnen de in industrie standaard PLM pakketten en hoe deze te integreren met een ERP systeem.

Bij aanvang van dit project was er nagenoeg geen kennis van commerciële MES systemen aanwezig bij de aangesloten partijen. Op basis van de opgedane kennis en eigen implementatie van het MES systeem kan gezocht worden naar mogelijke commerciële systemen en kunnen deze geëvalueerd en (al dan niet met aanpassingen) mogelijk ingezet worden.

6 Bronnen

- [1] J. R. & S. S. M. Meredith, Operations and supply chain management for MBAs, John Wiley & Sons, 2019.
- [2] R. Suri, It's about time: the competitive advantage of quick response manufacturing, CRC Press, 2010.
- [3] I. Forum, „Quick Response Manufacturing (QRM),” [Online]. Available: <https://industryforum.co.uk/consultancy/quick-response-manufacturing/>. [Geopend 2020].
- [4] KUKA, „Industrie 4.0: flexibility through matrix production,” 2020. [Online]. Available: <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/10/matrix-production>.
- [5] Accerion, 2020. [Online]. Available: <https://accerion.tech/>.
- [6] Festo, „White paper: Get a Handling on Grippers,” 2020. [Online]. Available: https://festoblog.com/pdf/white-paper/FESTO_WP_Grippers.pdf.
- [7] U. Robots, „ROBOT GRIPPER SHOWDOWN: AIR GRIPPER VS. ELECTRIC GRIPPER,” 30 Juli 2020. [Online]. Available: <https://www.universal-robots.com/blog/robot-gripper-showdown-air-gripper-vs-electric-gripper/>.
- [8] ECI, „Ridder iQ - Innovatieve ERP-software voor Smart Manufacturing,” 2021. [Online]. Available: <https://www.ecisolutions.com/nl/erp/ridder-iq/>.
- [9] E. Games, „Unreal Engine,” [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US>. [Geopend 2021].
- [10] Microsoft, „Microsoft HoloLens 2,” 2021. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>. [Geopend 2021].
- [11] W. contributors, „Oculus Rift CV1,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Oculus_Rift_CV1&oldid=1091298967. [Geopend 2022].
- [12] M. H. L. C. & K. B. G. Stevenson*, „A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry,” International journal of production research, 2005, pp. 869-898.
- [13] Siemens, „Plant Simulation & Throughput Optimization,” [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/manufacturing-planning/plant-simulation-throughput-optimization.html>. [Geopend 2021].
- [14] I. Object Management Group, „What is DDS,” [Online]. Available: <https://www.dds-foundation.org/what-is-dds-3/>. [Geopend 2020].
- [15] F. Schiere, „Festo, grip op grippers,” 6 Februari 2021. [Online]. Available: <https://ebora.nl/blog/20/festo-grip-op-grippers-erik-s-blog.html>.
- [16] Wikipedia, „Data Distribution Service,” 2021. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data_Distribution_Service.
- [17] OMRON, „FH/FZ5 Vision-controller,” 2011. [Online]. Available: <https://industrial.omron.nl/nl/products/fh-fz5-vision-controller>.
- [18] Wikipedia, „Programmable Logic Controller,” 2022. [Online]. Available: https://nl.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller.

7 Bijlagen

7.1 Lijst met afkortingen en begrippen

AGV – Autonomous Guided Vehicle

AMR – Autonomous Mobile Robot

AR – Augmented Reality

API – Application Programming Interface Databus

Een databus is transportmedium voor het transporteren van digitale data. Deze komen voor in de vorm van seriële en parallelle bussen. Een seriële bus verzendt de data bit voor bit achter elkaar over de bus, een parallelle bus verzendt de data met meerdere bits tegelijk waardoor het ook vaak sneller is.

DDS – Data Distribution Service

ERP – Enterprise Resource Planning

FSB – Front Seat Back

IoT – Internet of Things

IIoT – Industrial Internet of Things

IPC – Industrial PC

Kanban

“Kanban is een systeem om te signaleren (met bijvoorbeeld kaartjes) wanneer iets nodig is en kan gebruikt worden om van alles in het leven te organiseren.[1] Het is een systeem om de logistieke productieketen te besturen.”⁸

KLT – Klein Ladungs Trager

Kleine bakken gestandaardiseerd voor de auto-industrie middels de VD4500 norm.

LEAN

“Lean manufacturing of lean production, beter bekend als lean, is een managementfilosofie in het vakgebied van operations management die erop gericht is om maximale waarde voor de klant te realiseren met zo min mogelijk verspilling. Door verspillingen te elimineren gaan de operationele kosten omlaag, wat in het algemeen leidt tot een verbetering van het bedrijfsresultaat.”⁹

MES – Manufacturing Execution System

Middleware

“Middleware omvat de systeemsoftware die de informatie-uitwisseling regelt tussen de cliënt-software en de software die de bedrijfsgegevens beheert. Vaak gaat het om gedistribueerde systemen en meerdere platformen. Het bouwen van middleware vraagt om diepgaande kennis van de problemen van communicatie, synchronisatie en distributie.”¹⁰

TCP – Transmission Control Protocol

“Het Transmission Control Protocol (TCP) is een verbinding georiënteerd protocol dat veel gebruikt wordt voor gegevensoverdracht over netwerkverbindingen op het internet en op computernetwerken zoals local area networks en thuisnetwerken.”¹¹

PLC – Programmable Logic Controller

⁸ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kanban>

⁹ https://nl.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing

¹⁰ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Middleware>

¹¹ https://nl.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol

QRM – Quick Response Manufacturing

REST – Representational State Transfer

“Representational state transfer (REST) is een software-architectuur voor gedistribueerde mediasystemen zoals het wereldwijde web.”¹²

Six Sigma

“Six sigma (zes sigma in het Nederlands) is een managementstrategie bestaande uit een verzameling kwaliteitsmanagementmethoden, voornamelijk van statistische aard waarmee men de kwaliteit van productie- en administratieve processen stap voor stap kan verbeteren.”¹³

Scrum

“Scrum is een werkwijze om op een flexibele manier software of producten te maken. Er wordt gewerkt in multidisciplinaire teams die in korte sprints, met een vaste lengte van een tot vier weken, werkende software of producten opleveren.”¹⁴

TPM – Total Predictive Maintenance

TRL – Technology Readiness Level

TSN – Time Sensitive Networking

Total Predictive Maintenance

“Total Predictive Maintenance begon als een methode voor fysiek activabeheer gericht op het onderhouden en verbeteren van productiemachines, om de bedrijfskosten voor een organisatie te verlagen. Nadat de PM-prijs was gecreëerd en in 1971 aan Nippon Denso was toegekend, breidde het JIPM (Japans Instituut voor Plantonderhoud) deze uit met 8 pijlers van TPM die betrokkenheid van alle productiegebieden bij de concepten van lean manufacturing vereisten. TPM is ontworpen om de verantwoordelijkheid voor onderhoud en machineprestaties te verspreiden, de betrokkenheid van medewerkers en teamwork binnen management, engineering, onderhoud en operaties te verbeteren.”¹⁵

WCM – World Class Manufacturing

VR – Virtual Reality

¹² https://nl.wikipedia.org/wiki/Representational_state_transfer

¹³ https://nl.wikipedia.org/wiki/Six_Sigma

¹⁴ [https://nl.wikipedia.org/wiki/Scrum_\(projectmanagementmethode\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Scrum_(projectmanagementmethode))

¹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Total_productive_maintenance

7.2 Toegepaste software o.a.

PLC Ontwikkelomgevingen: TIA Portal, CodeSys

Computer Vision Software: OMRON Vision, AWL Vision Software

DDS: RTI Connnext DDS, OpenDDS, eProsima Fast-DDS

CAD Software: SolidWorks, Autodesk Fusion 360

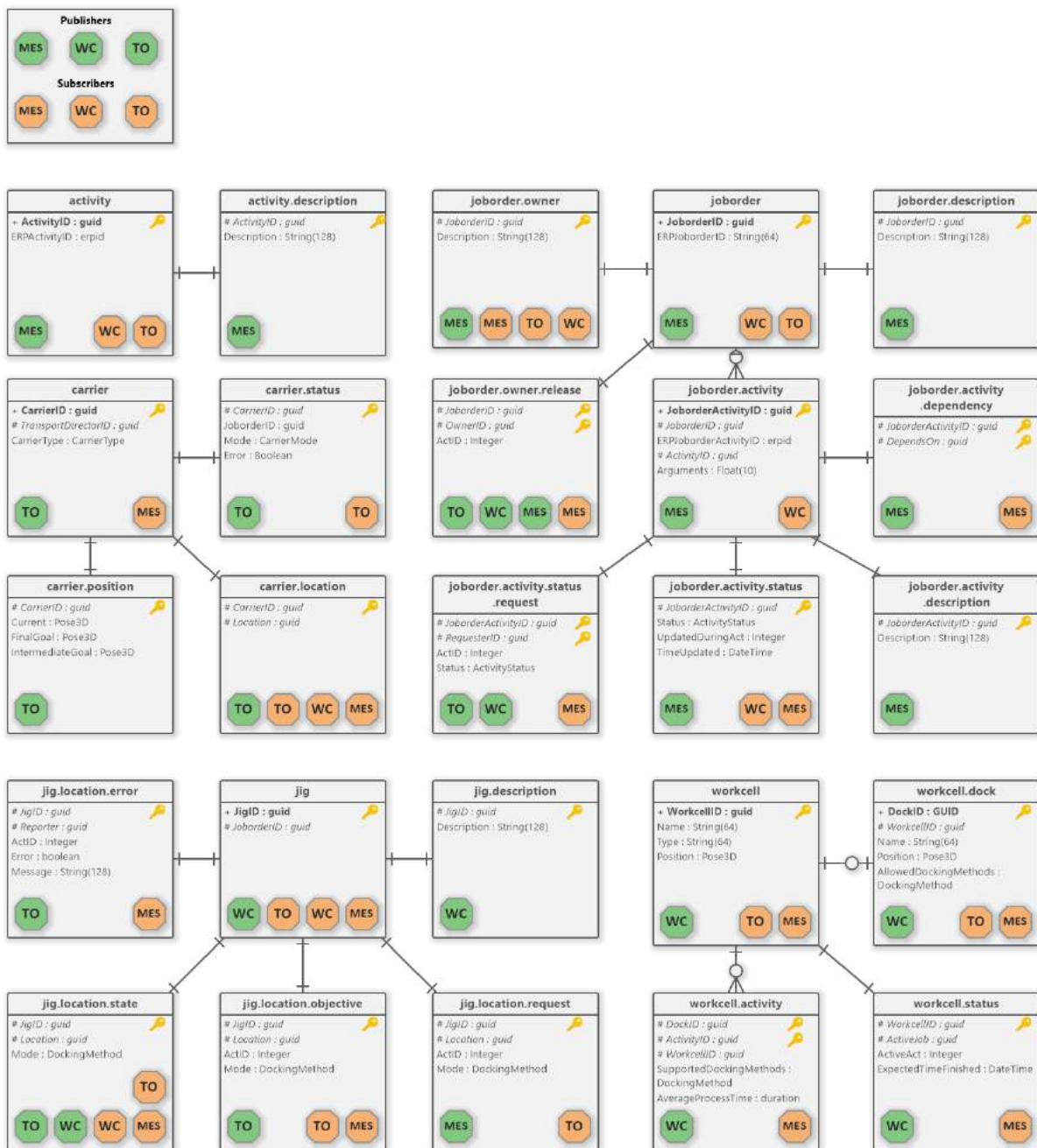
Simulatie: Siemens Plant Simulate

Netwerktooling: WireShark

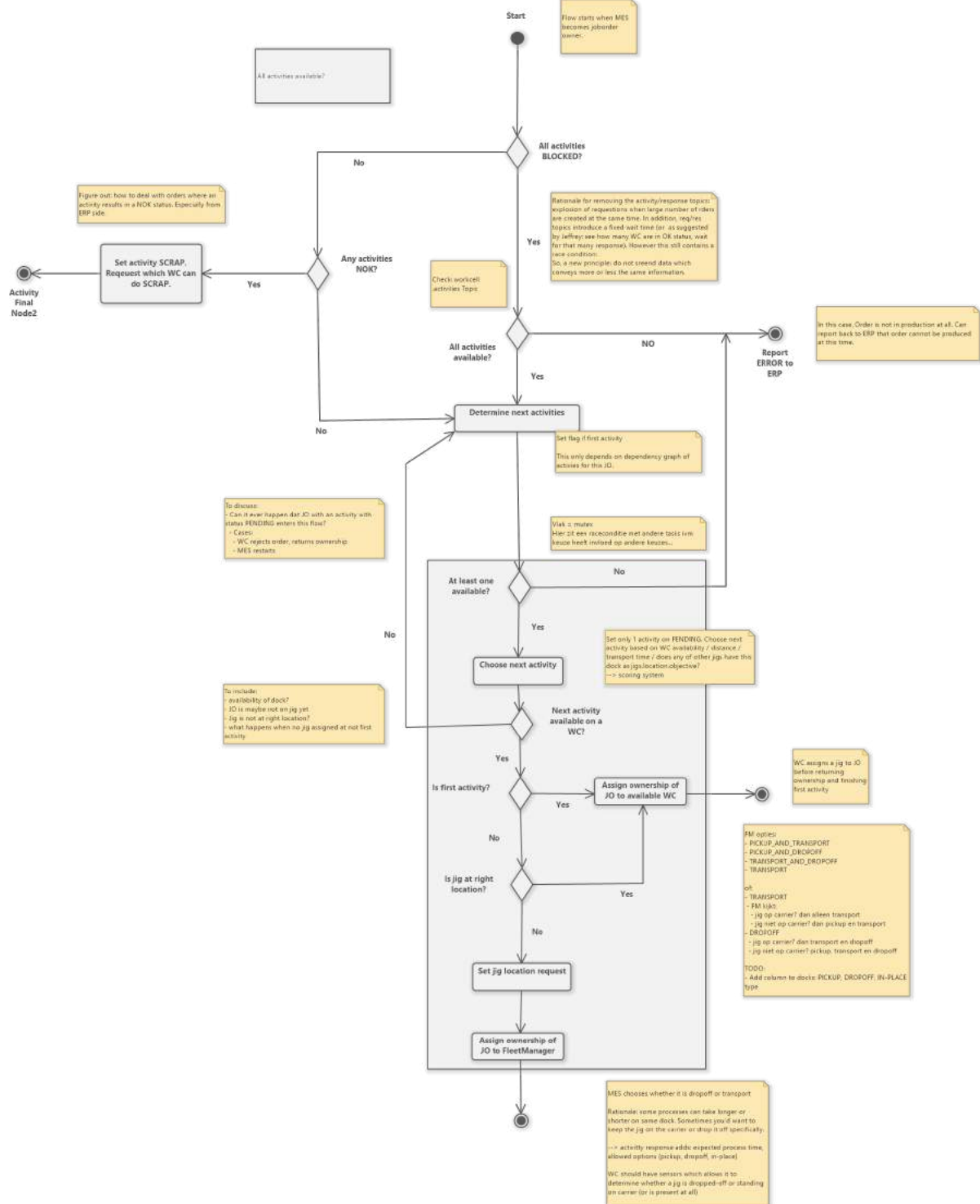
Programmeeromgevingen: Visual Studio, Visual Studio Code, STM32, ESP32

Programmeertalen: C#, Ada, TypeScript, Javascript, Python

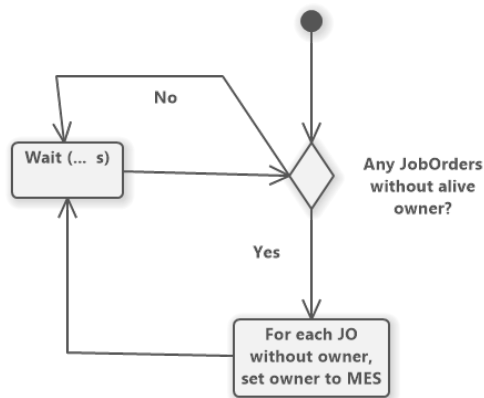
7.3 Protocol koppeling MES en werkcellen



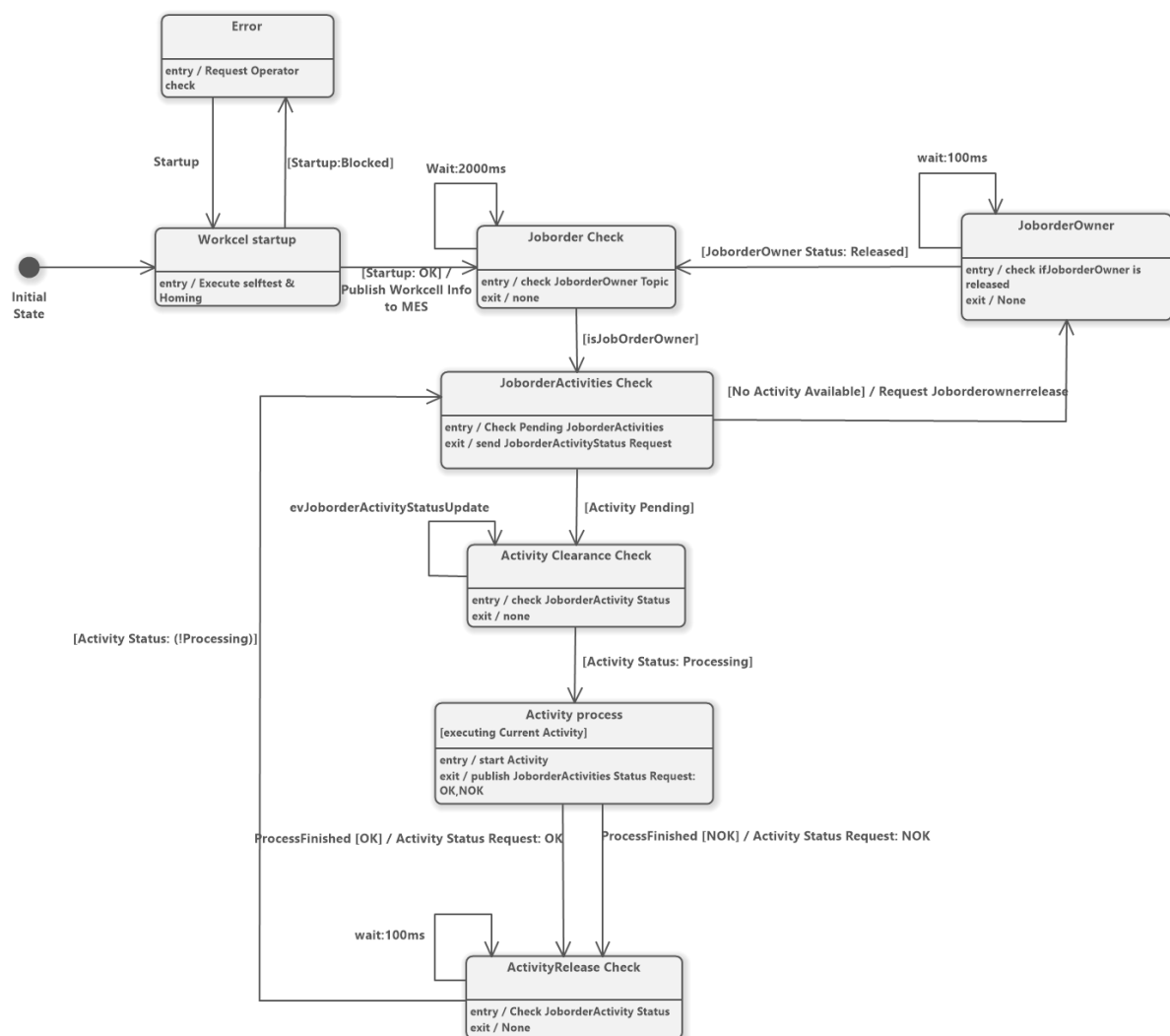
FIGUUR 51 - ONTWORPEN DDS DATAMODEL



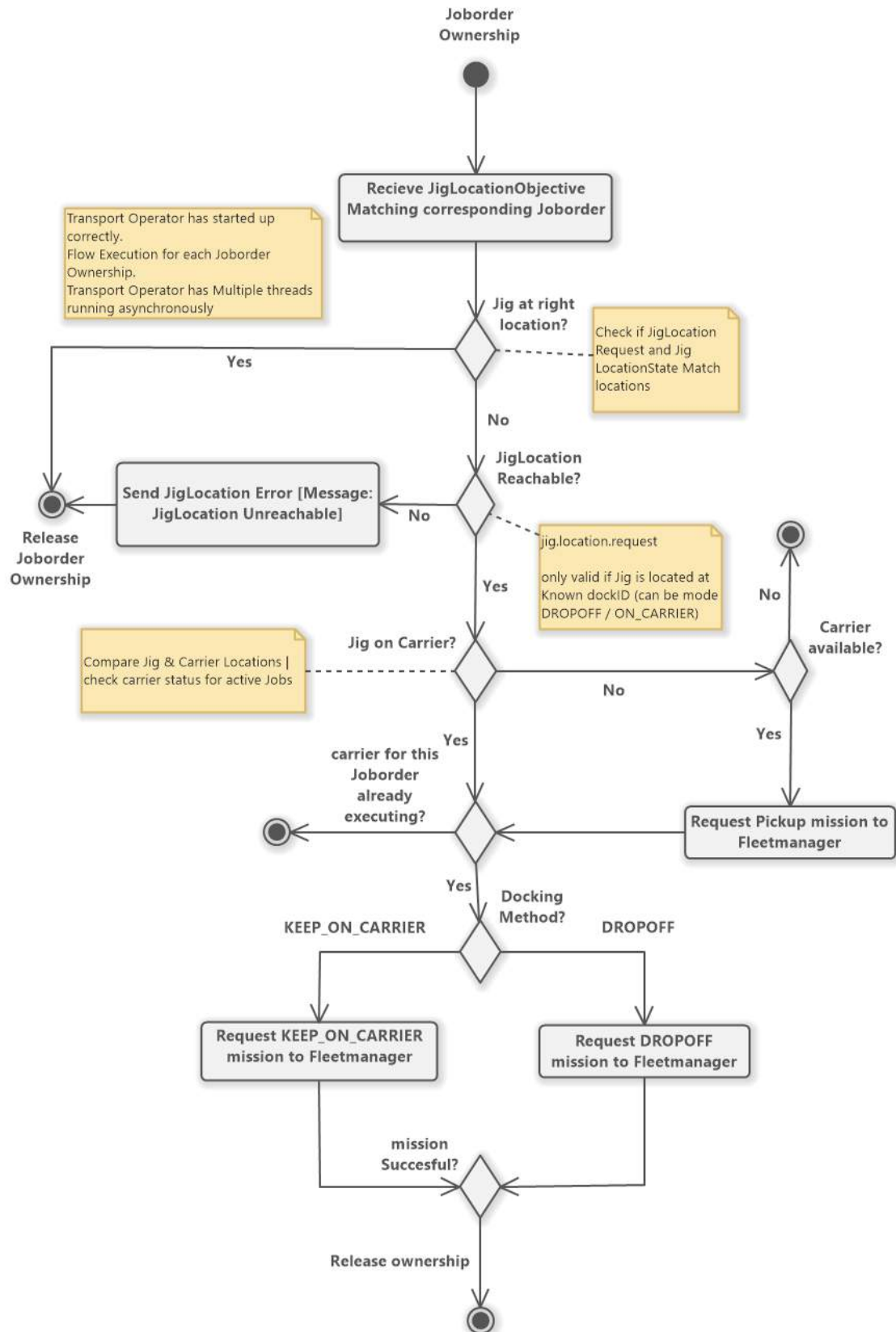
FIGUUR 52 – PRIMAIR GEDRAGSPROTOCOL MES.



FIGUUR 53 – SECUNDAIR GEDRAGSPROTOCOL MES. CONTROLE OP VALIDITEIT JOBORDERS.



FIGUUR 54 – GEDRAGSPROTOCOL WERKCEL



FIGUUR 55 – GEDRAGSPROTOCOL TRANSPORT OPERATOR