

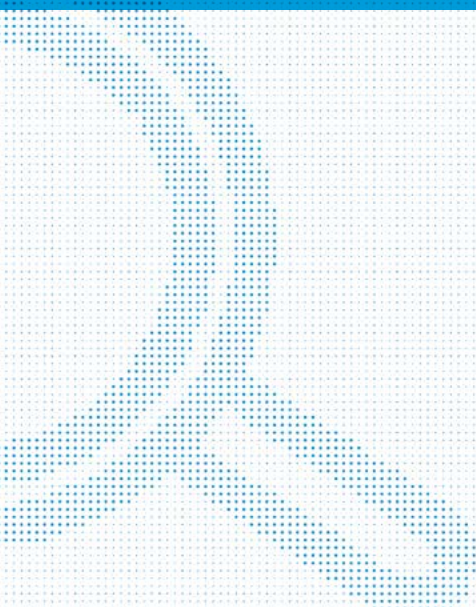


TECH
YOUR
FUTURE

Centre of Expertise TechniekOnderwijs

RoboTAO

De weg naar toekomstbestendige samenwerking tussen mens en collaboratieve robot





RoboTAO

De weg naar toekomstbestendige samenwerking tussen
mens en collaboratieve robot

Voorwoord

RoboTAO

Er komt steeds meer en steeds mooiere nieuwe technologie beschikbaar voor productiebedrijven. Dat is het gevolg van steeds betere hardware, gecombineerd met sterke software, goedkope dataopslag en fantastische algoritmes om van al die data relevante informatie te maken. Voor ondernemers is het net een snoepwinkel. De keuze is enorm, maar ook lastig en risicovol. Immers, gratis is al dat moois niet en eenmaal gekocht moet het worden ingepast in bestaande systemen, in de bestaande organisatie en je mensen moeten het ook nog eens allemaal bijbenen. Je moet het aan de praat krijgen.

In deze publicatie leest u over één van deze nieuwe en veelbelovende technologieën, namelijk collaboratieve robots (cobots, korthedshalve). Dat zijn relatief kleine en niet zo heel dure robotarmen die kunnen worden uitgerust met allerlei slimme hulpstukken, om betrekkelijk fijnmechanisch werk geautomatiseerd uit te voeren. Bijzonder is vooral dat ze met mensen kunnen samenwerken. Daarvoor zijn ze veilig en slim genoeg, en dus zijn ze echt anders dan hun brute broers in de grote industrie. Wat een fantastische belofte, een zelfdenkend derde handje voor uw productiemensen, dat ook nog eens controleert of het eindproduct deugt.

Geen wonder dus dat veel bedrijven en onderwijsinstellingen het willen proberen. Als u dat ook wilt, dan is deze TechYourFuture-uitgave een goudmijn. Er valt zoveel uit te leren. U krijgt echt inzicht in wat erbij komt kijken om met zo'n cobot aan de slag te gaan. Wat zijn de mogelijkheden, waar zitten de valkuilen, waar moet u van tevoren over denken, wat is de rol van verschillende groepen medewerkers, hoe moet u de mensen opleiden, en wat kunt u beter niet doen?

Al die inzichten zijn gelukkig niet in de studeerkamer bedacht. De auteurs hebben met elkaar jaren aan ervaringskennis opgebouwd. Bijvoorbeeld door bij 21 verschillende bedrijven langs te gaan, daar te kijken, met mensen te spreken, en ervaringen op te tekenen. Ze hebben ook vier bedrijven enkele jaren in hun implementatietraject gevolgd.

Het mooie is dat u dat hele leertraject dus niet zelf hoeft te doorlopen. U kunt deze publicatie lezen en herlezen als u bezig gaat. Dat gaat veel problemen voorkomen, en helpen om de implementatie van deze mooie nieuwe technologie goed te laten verlopen. En bij vragen weet u nu ook waar u terecht kunt. Het hele team staat erin, inclusief alle contactinformatie.

Ik wens u veel leesplezier en inspiratie.

Maarten van Riemsdijk
Oud-Lector HRM in Smart Industry
Saxion Hogeschool



Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
2	Kernthema's voor mens-cobot samenwerking in flexibele productie	12
3	Mens-cobot samenwerking in de Nederlandse maakindustrie	18
4	Benodigde competenties voor het werken met cobots	26
5	Experimenteren met mens-cobot samenwerking	32
6	De ontwikkeling van cobot onderwijs	38
7	Conclusie, aanbevelingen en vervolg	48
8	Meer weten?	56
	Bijlage 1: Beschrijvingen maakbedrijven RoboTAO	58
	Bijlage 2: Literatuurlijst	61

1

Inleiding



In deze publicatie worden de inzichten en praktische adviezen van ons onderzoek naar een effectieve samenwerking tussen productiemedewerker en collaboratieve robot (cobot) gepresenteerd. Daarbij ligt de focus op de samenwerking tussen mensen en cobots in productiesystemen waarin kleine en frequent-wisselende productseries gemaakt worden, oftewel: flexibele productie. Deze publicatie heeft als doel om maakbedrijven en onderwijsinstellingen te helpen om met mens-cobot samenwerking in flexibele productie aan de slag te gaan. Maar hoe ziet zo'n samenwerking eruit, en wat is daarvoor nodig? In dit eerste hoofdstuk worden de actuele ontwikkelingen in de industrie besproken, de opkomst van de cobot techniek en de wijze waarop een aantal maakbedrijven en onderwijsinstellingen de handen ineensloegen om met mens-cobot samenwerking aan de slag te gaan. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de opbouw van deze publicatie.

Uitdagingen van de Nederlandse industrie

De Nederlandse industrie heeft te maken met een nijpend personeelstekort. Zo steeg het aantal openstaande vacatures in de sector tot recordhoogte in 2022¹. De top is nog niet bereikt. De verwachting is dat bij een aantrekkende economie het aantal openstaande vacatures verder op zal lopen. Daar komt bovenop dat op relatief korte termijn een kwart van de technici de pensioengerechtigde leeftijd bereikt en zal uittreden². En ondanks dat het aantal afgestudeerden in de techniek licht toeneemt, hebben ook andere sectoren steeds meer behoefte aan afgestudeerde technici. Hierdoor zal het voor maakbedrijven alsmear moeilijker worden om technici aan te trekken en te behouden³. Het heeft tot gevolg dat de productiviteit per productiemedewerker flink omhoog moet om het huidige productieniveau te handhaven en te voorzien in de gewenste maatschappelijke en economische groei. Dat vraagt om automatisering.

Naast het groeiend personeelstekort verandert ook de klantvraag radicaal. Door vergaande klantgerichtheid, toenemende concurrentie in binnen- en buitenland en de mogelijkheid om steeds beter met andere organisaties

samen te werken via geïntegreerde waardeketens, is het voor klanten makkelijker geworden om individuele product- en dienstwensen kenbaar te maken. Daardoor vindt er een verschuiving plaats van massaproductie naar maatwerk⁴. Om als maakbedrijf aan de versplinterende klantvraag te blijven voldoen moet, naast meer productiviteit, dus ook een groter beroep gedaan worden op de flexibiliteit van het productiesysteem en de productiemedewerkers in dit systeem. Door de productiemedewerker te versterken met krachtige en slimme techniek kan zowel aan de productiviteit als aan de flexibiliteit een impuls gegeven worden. Industriële robots zijn een voorbeeld van zulke techniek.

Robots en cobots: overeenkomsten en verschillen

Al vanaf de jaren veertig van de vorige eeuw wordt veelvuldig geëxperimenteerd en geïnnoveerd met industriële robotica. Tot voorkort beperkte dit type robotica zich tot de sterke, snelle en grote robotarmen. Vanwege hun kracht en snelheid moeten deze robots van de mens gescheiden worden door bijvoorbeeld kooiconstructies of veiligheidsglas⁵. Rond 2010 werd een nieuw type industriële robot geïntroduceerd: de collaboratieve robot (cobot). De eigenschappen van cobots komen op verschillende punten overeen met die van de robot. Zo zijn cobots ook met allerlei hulpstukken uit te rusten en daardoor multi-inzetbaar. Verder zijn cobots ook uiterst precies en accuraat.

Naast de overeenkomsten zijn er ook duidelijke verschillen. Cobots zijn bijvoorbeeld minder groot. Hierdoor kunnen ze gemakkelijker ingezet worden voor fijnmechanisch werk. Daarnaast is hun software makkelijker te programmeren dan die van robots, en beschikken cobots over een fractie van de kracht en snelheid van robots. Hierdoor kunnen ze op een veilige wijze direct met mensen samenwerken. Deze kenmerken creëren kansen voor de inzet in flexibele productieomgevingen. Ten slotte zijn cobots goedkoper dan robots. Dat maakt ze toegankelijker voor bedrijven met beperkte middelen, zoals midden- en kleinbedrijven (MKB). Een overzicht van robot- versus cobot kwaliteiten wordt in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1. Algemene robot en cobot kwaliteiten⁶

Kwaliteiten	Robot	Cobot
Multi-inzetbaar	+	+
Hoge tilkracht	+	-
Ver bereik	+	-
Hoge snelheid	+	-
Programmeergemak	-	+
Lage aanschafprijs	-	+
Directe mens-machine interactie	-	+

Toelichting: de plussen (+) geven aan dat de techniek over de kwaliteit beschikt. De minussen (-) geven aan het apparaat de kwaliteit grotendeels of helemaal ontbreekt.

Aan de slag met cobots

In Nederland is het aantal werkzame industriële robots sinds 2010 geleidelijk toegenomen. Datzelfde geldt voor de cobots. Hoewel de cobot nu nog maar een fractie van het totaal aantal werkende robots uitmaakt, verwachten marktanalisten dat het aantal cobots de aankomende jaren in rap tempo zal toenemen⁷. De vier maakbedrijven en de vier onderwijsinstellingen die in deze publicatie centraal staan is de opkomst van cobot niet ontgaan. Sterker nog, ze hebben een of meer cobots aangekocht en zijn ermee aan de slag gegaan. Hun doel is de cobot zo in te zetten dat de productiemedewerker beter en sneller presteert zonder dat dit ten koste gaat van de uitvoerbaarheid van het productiewerk. Het is een ambitieus doel.

De cobot-techniek is namelijk nog in volle ontwikkeling. Mens-cobot samenwerking in flexibele productie is ook nog eens een veelzijdig thema waar nog niet veel over bekend is. Het roept bij de vier maakbedrijven en onderwijsinstellingen dezelfde vraag op: *hoe ziet een mens-cobot samenwerking in een flexibel productiesysteem eruit en wat is ervoor nodig om de samenwerking te laten slagen?* Het is de vraag die ook in deze publicatie centraal staat. Er is behoefte aan een denkkader, voorbeelden en handvatten. Vanuit deze behoefte hebben de maakbedrijven en onderwijsinstellingen hun krachten gebundeld in een meerjarig TechYourFuture (TYF) onderzoeksproject, genaamd 'RoboTAO': de weg van de robot.

Leeswijzer

Deze publicatie beschrijft hoe vier maakbedrijven, drie mbo-onderwijsinstellingen en twee onderzoeksgroepen, verbonden aan een hbo-onderwijsinstelling, aan de slag zijn gegaan met mens-cobot samenwerking in flexibele productie. Het gaat over de wisselwerking tussen praktijkonderzoek, onderwijsontwikkeling en daadwerkelijke implementatie van cobots. Met als doel andere onderzoekers, docenten en praktijkprofessionals die met mens-cobot samenwerking aan de slag willen gaan te inspireren en te voorzien van een praktische opstap. De verschillende onderdelen van de publicatie leveren ieder een deelantwoord op de centrale vraagstelling:

Hoe ziet de mens-cobot samenwerking eruit in de huidige Nederlandse maakindustrie, wat vraagt dat van medewerkers

en bedrijven en onder welke voorwaarden is mens-cobot samenwerking in een flexibel productiesysteem mogelijk?

In hoofdstuk 2 worden de kernthema's die horen bij mens-cobot samenwerking in (flexibele) productie besproken, en in hoofdstuk 3 worden de kernthema's bij Nederlandse maakbedrijven die ervaring hebben met cobot implementaties verkend. Hoofdstuk 4 staat vervolgens stil bij de competenties die relevant zijn voor technici die met cobots werken; waarna in hoofdstuk 5 een experiment wordt gepresenteerd gericht op het verder aanjagen van de samenwerking tussen mens en cobot. Hoofdstuk 6 laat zien hoe de vier onderwijsinstellingen bezig zijn gegaan met het ontwikkelen en testen van cobot onderwijs. Tot slot wordt in hoofdstuk 7 antwoord gegeven op de centrale vraagstelling, praktische tips gepresenteerd en de vervolgstappen.



Milan Wolffgramm

Onderzoeker en promovendus mens-machine samenwerking
Lectoraat Employability Transition (Hogeschool Saxion)

LinkedIn:



Tom Tijink

Projectleider en docent-onderzoeker technische bedrijfskunde
Lectoraat Employability Transition (Hogeschool Saxion)



Mirte Disberg - Van Geloven

Onderzoeker HRD en onderwijskundige
Lectoraat Employability Transition (Hogeschool Saxion)
TechYourFuture, Centre of Expertise



Lisa Winkelman

Onderzoeksmedewerker mensgerichte techniekimplementatie
Lectoraat Employability Transition (Hogeschool Saxion)



Stephan Corporaal

Lector Human Capital
Lectoraat Employability Transition (Hogeschool Saxion)



2

Kernthema's voor mens-cobot samenwerking in flexibele productie



Mens-cobot samenwerking in flexibele productie is een veelzijdig thema. In de basis gaat het over de optimale afstemming tussen dynamische productiesystemen, werkende individuen, geavanceerde techniek en goed werk. Maar wat draagt precies bij aan deze afstemming? In dit hoofdstuk worden zes kernthema's geïntroduceerd die bijdragen aan de inrichting, uitvoer en duur van mens-cobot samenwerking in flexibele productie. Deze kernthema's komen in de vervolghoofdstukken weer terug. De kernthema's zijn gebaseerd op belangrijke onderzoeken vanuit, onder andere, de organisatiekunde, toegepaste psychologie, informatica en werktuigbouw.

Kernthema 1 Technische eisen

Het ontwerp van de mens-cobot samenwerking wordt sterk bepaald door technische eisen vanuit het productiesysteem en de beschikbare cobot techniek⁸. Het productiesysteem kenmerkt zich enerzijds door hetgeen gemaakt moet worden. Welke producten komen voorbij, in hoeverre verschillen de producten van elkaar en hoeveel stuks moeten er gemaakt worden? Anderzijds gaat het productiesysteem over de manier waarop de producten gemaakt worden. Welke handelingen zijn er in welke volgorde nodig en wanneer zijn deze goed uitgevoerd? In tegenstelling tot massaproductie worden in flexibele productiesystemen kleinere series geproduceerd en moet er dus vaker geschakeld of 'omgesteld' worden tussen series⁹. Flexibele productiesystemen zijn dan ook complexe productiesystemen. Naarmate de series kleiner worden en er vaker omgesteld moet worden, neemt de complexiteit van het productiesysteem toe.

De beschikbare cobot techniek zegt iets over hardware en software die voorhanden is. Het gaat hier niet alleen over de technische specificaties van de cobot, zoals het tilgewicht, de reikwijdte en de accuratesse¹⁰. Het gaat ook over kwaliteit van hulpstukken waarmee het apparaat wordt uitgerust, zoals een grijpklaauw of een camera. Er zijn tientallen cobots en hulpstukken te koop en iedere combinatie levert een aantal kwaliteiten en technische voorwaarden op. Zo hebben cobots uitgerust met een camera de kwaliteit om ook visuele acties uit te voeren. Tegelijkertijd vragen zulke cobots technisch om een constante lichtinval¹¹. De cobot software

is het besturingssysteem, de interface ervan en het gemak waarmee de cobot zich laat verbinden met andere machines en hardware en software op de werkplek. Daarbij geldt: hoe gemakkelijker de cobot zich laat verbinden en besturen, hoe beter inzetbaar in een flexibel productiesysteem¹².

Kortom: het is belangrijk dat de technische eisen vanuit het flexibele productieproces en die van de cobot techniek goed op elkaar afgestemd zijn. Hieruit ontstaan kansen voor goede en flexibele mens-cobot samenwerking¹³. Cobots die niet geavanceerd genoeg zijn om mee te komen in een uiterst flexibel productieproces zullen de productiemedewerker hoogstwaarschijnlijk niet helpen. Cobots die wel geavanceerd genoeg zijn kunnen met de gevraagde complexiteit omgaan. Tegelijkertijd zijn geavanceerdere cobots moeilijker te besturen en moet een groter beroep gedaan worden op de competenties van het menselijk kapitaal. In het volgende kernthema wordt hier dieper op ingegaan.

Kernthema 2 Menselijk kapitaal

Naast de technische eisen is er ook een aantal menselijke eisen waaraan voldaan moet worden om tot goede en flexibele mens-cobot samenwerking te komen. Zo stelt iedere mens-cobot samenwerking eisen aan het willen en het kunnen van de mens – hoe nauwer de mens-cobot samenwerking en hoe complexer de productie en de techniek, hoe hoger de eisen. Zo is het essentieel dat de mens bereid is om nauw met de cobot samen te werken¹⁴. Hiervoor moet de mens overtuigd zijn van de toegevoegde waarde voor het werk en het gebruiksgemak. Ook moet de mens de indruk hebben dat er vanuit de organisatie draagvlak is voor de cobot. Naast het willen samenwerken met de cobot is het ook belangrijk dat de mens ermee kán samenwerken. Het gaat hier om het competent kunnen besturen, observeren en onderhouden van de cobot¹³. Het is mogelijk dat de mens al een deel van het willen en kunnen ontwikkeld heeft, bijvoorbeeld tijdens een opleiding of training. Het zou net zo goed kunnen dat het willen en kunnen nog onvoldoende ontwikkeld is. Dan moet geprobeerd worden de mens op het beoogd niveau te krijgen. Medewerkerbetrokkenheid kan daarbij helpen. In het volgende kernthema wordt dit verder uitgelegd.

Kernthema 3 Medewerkers-betrokkenheid

Het zou kunnen dat voor sommige vormen van mens-cobot samenwerking de bereidheid of de competenties van de mens tekortschieten. Met goede ondersteuning kan dit worden aangepakt. De ondersteuning komt grofweg neer op het aanbieden van kennisbronnen, hulpmiddelen, assistentie en goede inbedding¹⁴. Kennisbronnen, zoals instructies, bieden informatie over het beoogde gebruik van de cobot. Hulpmiddelen omvatten alle gereedschappen, stappenplannen, trainingen en dergelijke. Assistentie gaat over de beschikbare collega's of specialisten waar de medewerker kennis- of hulpvragen aan kan stellen. Inbedding is de mate waarin de techniek goed aansluit op andere werksystemen, zoals machines en bestaande werkwijzen. Hoe nauwer deze aansluiting, hoe beter. Door goede ondersteuning wordt de cobot begrijpelijker, relevanter, beter ingepast en neemt de kans toe dat deze op de beoogde manier gebruikt wordt.

Naast de ondersteuning bepaalt ook de hoeveelheid beschikbare en benutte regelruimte voor een belangrijk deel hoe de mens-cobot samenwerking eruit komt te zien. Regelruimte is de hoeveelheid mogelijkheden die de medewerker heeft om zelf zijn mens-cobot samenwerking in te richten. Dit varieert van volledig voorgeschreven tot volledig zelf te ontwerpen¹⁵. Regelruimte is belangrijk om de mens in het ontwerpproces te betrekken en voor de flexibiliteit van de mens-cobot samenwerking. Door zelf de cobot in te mogen stellen kan bijvoorbeeld gemakkelijker en sneller omgesteld worden. Tot slot kan regelcapaciteit ervoor zorgen dat de mens-cobot samenwerking beter in het verlengde van de werkvoorkeuren van de mens ontworpen wordt¹⁶. Dit laatste is een voorwaarde om de samenwerking langdurig vol te kunnen houden – in Kernthema 5 komen wordt hier verder op ingegaan. Om gebruik te maken van de beschikbare regelcapaciteit wordt opnieuw een beroep gedaan op het kunnen van de mens. Het gaat daarbij niet alleen om het kunnen aanpassen van de cobot. Het gaat ook om het kunnen overzien van de gevolgen die deze aanpassingen voor het werk hebben¹⁷. De aanpassing van de cobot moet doordacht gebeuren omdat dit bepalend is voor de mens-cobot interactie. In het volgende kernthema wordt dit verder toegelicht.

Kernthema 4 Mens-cobot interactie

De inrichting van de mens-cobot samenwerking gaat in eerste instantie over de taakverdeling tussen mens en cobot, oftewel: wie doet wat? Door naar de taakverdeling te kijken kun je begrijpen hoe de cobot ingezet wordt¹⁸. Hoewel de taakverdeling een goede eerste indruk oplevert, maakt het nog niet duidelijk of de verdeling van taken optimaal is. Hiervoor moet per taak bekeken worden hoe de cobot helpt om de mens beter en/of sneller te maken. Hoe meer taken door inzet van de cobot (langdurig) beter of sneller uitgevoerd worden, hoe sterker de samenwerking¹⁹. Daarbij is het belangrijk op te merken dat mens-cobot samenwerking niet automatisch tot betere of snellere taakuitvoer leidt. Als de cobot namelijk de taken langzamer of slechter uitvoert dan de mens, dan wordt de taakuitvoer van de mens juist beperkt²⁰. De inrichting van de mens-cobot samenwerking is niet alleen belangrijk voor de toegevoegde waarde (kernthema 6); ook bepaalt het uiteindelijk hoe de mens het werk beleeft. Deze werkbeleving wordt in het volgende kernthema uitgelegd.

Kernthema 5 Werkbeleving

De wijze waarop mens en cobot met elkaar samenwerken heeft direct gevolgen voor de duur van de samenwerking. Doordat de cobot een deel van de taken overneemt, verandert de door de mens beleefde kwaliteit van arbeid. De kwaliteit van arbeid is afgebakend op de thema's autonomie, taakafwisseling, taakcomplexiteit en informatieverwerking²¹. De mens kan het werk een stuk uitvoerbaarder of interessanter vinden doordat de cobot op de juiste momenten in het proces meehelpt. De werkbeleving kan ook de andere kant op bewegen. Doordat de cobot bijvoorbeeld taken overneemt waar de mens veel werkplezier uit haalt of doordat de het werk juist te complex of hectisch wordt gemaakt²².

Daarnaast heeft de mens-cobot samenwerking ook invloed op het bewustzijn en de kritische houding van de mens. Als de cobot te veel of te belangrijke taken overneemt, dan wordt de kans groter dat de mens minder goed doorheeft wat er daadwerkelijk in het productieproces gebeurt²³. Ook kan de mens te veel gaan vertrouwen op de prestaties van



In de basis gaat mens-cobot samenwerking over de optimale afstemming tussen dynamische productiesystemen, werkende individuen, geavanceerde techniek en goed werk.

de cobot waardoor minder kritisch met de tekortkoming van de cobot omgegaan wordt²⁴. Een verminderd bewustzijn en een onvoldoende kritische houding zorgen ervoor dat het langer duurt voordat de mens doorheeft dat de cobot niet goed functioneert. Daarnaast duurt het langer voordat cobot-gerelateerde fouten worden opgelost²⁵. Zulke gevolgen kunnen leiden tot gevaarlijke situaties en zetten de toegevoegde waarde van de mens-cobot samenwerking onder druk. In het laatste kernthema wordt ingegaan op deze toegevoegde waarde van mens-cobot samenwerking.

Kernthema 6 Toegevoegde waarde

Wanneer het productiesysteem, de mens en de cobot goed op elkaar zijn afgestemd en als het willen, kunnen en volhouden van de mens voldoende gewaarborgd is, dan presteert de samenwerking tussen mens en cobot gezamenlijk beter dan ieder apart¹³. Deze prestaties vertalen zich onder andere in betere betrouwbaarheid. Er worden bijvoorbeeld betere controles gedaan en minder fouten gemaakt, waardoor het aantal defecten teruggebracht wordt en de stabiliteit in het proces toeneemt²⁶. Daarnaast wordt de productiviteit verhoogd. Taken worden sneller uitgevoerd waardoor in dezelfde tijd meer werk verzet kan worden. Ook kan er sneller omgesteld worden²⁷. Dat laatste is goed voor de flexibiliteit en cruciaal voor productiesystemen gericht op de productie van kleine productseries.

Conclusie

Goede mens-cobot samenwerking kent veel aandachtspunten. Het gaat om het samenspel tussen dynamische productiesystemen, geavanceerde techniek en unieke mensen. Aan de hand van zes kernthema's is uiteengezet wat bijdraagt aan waardevolle samenwerking en hoe meerwaarde wordt bereikt. Mat als kern dat mens-cobot samenwerking het potentieel in zich heeft om bestaande productieprocessen beter, sneller en flexibeler te laten verlopen. Zulke samenwerking vraagt om een intensieve en synergetische samenwerking, waarbij de cobot inspeelt op de tekortkomingen van de mens, maar mensen voor de flexibiliteit zorgen. In hoeverre de samenwerking van de grond komt en voortduurt wordt uiteindelijk primair door de mens bepaald. Die moet de samenwerking aan willen gaan, aan kunnen gaan en volhouden. Hiervoor moeten alle kernthema's meegewogen worden, bij voorkeur samen met degenen die uiteindelijk dagelijks met de cobot gaan samenwerken. Hoe maakbedrijven tijdens hun cobot implementatie op de kernthema's hebben ingespeeld wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

Figuur 1. De kernthema's van mens-cobot samenwerking.



3

Mens-cobot samenwerking in de Nederlandse maakindustrie



Nieuwsartikelen, filmpjes en publicaties over mens-cobot samenwerking verschijnen in rap tempo. Cobots die helpen bij het ontsmetten van winkelwagentjes, cobots die pizza's bereiden en cobots die meedoen in de Duitse industrie. Het zijn indrukwekkende en soms zelfs futuristische (of lachwekkende) toepassingen. Het roept ook de vraag op hoe mens-cobot samenwerking in de Nederlandse industrie eruit ziet. Daar is tamelijk weinig over bekend. Dit was een aanleiding om een verkennend onderzoek naar cobot implementatie te doen. Het doel was zicht te krijgen op hoe productiebedrijven hun mens-cobot samenwerking hebben ingericht en hoe cobot implementatie verliep.

In dit onderzoek werden 21 productiebedrijven (zowel maak- als procesbedrijven) bezocht en in totaal 18 ingenieurs, 16 leidinggevend en 27 productiemedewerkers geïnterviewd. De productie-bedrijven produceerden zowel grote als kleine product-series. De interviews gingen over de kernthema's uit hoofdstuk 2. Naast deze interviews zijn vier maak-bedrijven (Benchmark, Bronkhorst, Suplacon en Gerimex) enkele jaren gevolgd tijdens hun cobot implementaties. Per kernthema wordt een beeld gegeven van hun ervaringen in de praktijk. Bij Benchmark en Bronkhorst zijn demonstrators gebouwd. Suplacon heeft de cobot ook daadwerkelijk in productie genomen. Gerimex is later aangesloten en heeft een ontwerp gemaakt, dat binnenkort gerealiseerd wordt. In Bijlage 1 van deze publicatie zijn ook korte beschrijvingen opgenomen van de vier genoemde maakbedrijven. De belangrijkste opgedane inzichten worden vervolgens per kernthema gedeeld.

Kernthema 1

Technische eisen: inzet in productie-systeem voor grote series met weinig variatie

Te beginnen bij de kenmerken van de productiesystemen waarin de mens-cobot samenwerking geïmplementeerd zijn. De meeste van deze productiesystemen richtten zich op het bewerken van onderdelen, zoals kanten of verspanen van metaalproducten. In andere gevallen ging het om assemblage, inspectie of het verpakken van producten. Ondanks de verschillende bewerkingen hebben de productiesystemen een duidelijke overeenkomst: er worden grote series geproduceerd

en het aantal verschillende producten is beperkt. Het gaat in de meeste gevallen om eenvoudig, routinematig en repetitief productiewerk. Kortom, de productiebedrijven kozen er dikwijls voor om hun cobot niet in een complex en flexibel productiesysteem in te zetten, maar juist in een simpeler en grootschaliger productiesysteem.

De meeste cobots waren van het merk Universal Robot, type 5 of type 10; en een enkele een Rethink Robotics Sawyer, Aubo I5, ABB Yumi en Franka Emica Panda tegen. Argumenten die productiebedrijven inbrachten om een bepaald type cobot aan te schaffen waren: merkbekendheid, de gebruiksvriendelijkheid van de software, de aanwezigheid van ingebouwde camera's en de aanschafprijs. Eenmaal aangekocht werden de cobots die machines en apparaten gingen beladen en lossen uitgerust met een mechanische grijpklaauw; en in enkele gevallen ook luchtdrukgestuurde (pneumatische) grijpklauwen tegen. De cobots die werden ingezet voor andere werkzaamheden waren met andere 'end-of-arm tooling' uitgerust, zoals een schroevendraaier, een boorkop, een lijmpistool of een (extra) camera. Deze alternatieve tools maakten, net als soms gebruiksonvriendelijke software, integratieproblemen en aanwezigheid van meerdere cobot armen, de beschikbare cobot techniek complexer en maakt verdere ontwikkeling nodig om te vereenvoudigen en écht flexibel te worden.

Ter illustratie

Benchmark, Bronkhorst, Gerimex en Suplacon

Deze vier maakbedrijven vertelden dat zij hun cobots, in eerste instantie, aangeschaft hadden om ze in te zetten in een flexibel productiesysteem. Toch zijn deze cobots stuk voor stuk ingezet voor de productie van grotere productseries. Het bleek soms moeilijk om een mens-cobot samenwerking te vinden die past bij flexibele productie én uitvoerbaar is:

“Het vinden van een use-case is erg lastig, omdat er bijna altijd meer bij komt kijken dan in eerste instantie verwacht. Het blijkt dat mensen moeilijk te vervangen zijn. Vooral de flexibiliteit van mensen is een unieke eigenschap die niet zomaar te ‘cobotiseren’ is” – Manager Bronkhorst

Ook waren er technische uitdagingen. De lastigheid bleek bijvoorbeeld te zitten in het gebruik van camera-systemen: de lichtinval bij het gebruik van een camera was een terugkerend probleem bij zowel Benchmark als Bronkhorst. Ook was de mobiliteit van cobots beperkt. Wanneer de cobot precisiewerk moest doen, dan was het nodig de cobot op de tafel of de vloer vast te zetten. Dat maakt elders of anders inzetten lastig. Tot slot bleek het bij meerdere bedrijven nodig om zelf cobot hulpstukken te maken, zoals op maat gemaakte grijpklauwen. Deze technische uitdagingen, met name ook in het programmeren, zorgden ervoor dat de bedrijven hun cobot ambities naar beneden moesten bijstellen:

“Als de complexiteit van de toepassing omhooggaat, dan stijgen de programmeerproblemen exponentieel mee.” – Manager Benchmark

Kernthema 2

Menselijk kapitaal: twee typen technici

Onder het toezend oog van veelal technisch hbo- of wo-opgeleide managers speelden twee typen technici een belangrijke rol in het werkend krijgen en onderhouden van de cobot. Enerzijds waren er ingenieurs betrokken. Dit waren veelal hbo- of wo-opgeleide technici die ervaring hadden met techniekimplementatie en procesautomatisering. Anderzijds waren er productiemedewerkers betrokken. Deze technici beschikten over een praktische opleiding, variërend van een startkwalificatie tot mbo-niveau 4, en uiteenlopende operationele werkervaring. De rollen die ingenieurs en productiemedewerkers vervulden worden in het volgende kernthema besproken.

Ter illustratie

Benchmark, Bronkhorst, Gerimex en Suplacon

Er zijn zowel voorbeelden naar voren gekomen van vrees voor baanverlies en weerstand, als enthousiasme en nieuwsgierigheid om met de cobot te werken. De bedrijven hebben een select aantal medewerkers betrokken bij de aanschaf en het gebruik van de cobot. Deze medewerkers zijn meer open gaan staan voor werken met deze nieuwe techniek. Bij Gerimex, die later bij RoboTAO is betrokken, is voordeel behaald uit deze ervaringen van de andere bedrijven. Er zijn trainingssessies georganiseerd voorafgaand aan de aanschaf van een cobot. Hierin is expliciet aandacht besteed aan wat erbij komt kijken als het gaat om het implementeren van een cobot en het daadwerkelijk ervaren van werken met een cobot. Dit heeft bijgedragen aan zowel het ‘willen’, als het ‘kunnen’. De benodigde competenties van ingenieurs en productiemedewerkers om met cobots te werken, komen in hoofdstuk 4 aan bod.

Kernthema 3

Medewerkersbetrokkenheid: duidelijke scheiding tussen denken en doen

De leidinggevenden waren eindverantwoordelijk voor de implementatie en gaven hun ingenieurs de regelruimte om de implementatie vorm te geven. Gezamenlijk besloten ingenieurs en leidinggevenden waar in het productiesysteem de cobot zou komen te staan en hoe de mens-cobot samenwerking eruit moest komen te zien. In sommige gevallen konden productiemedewerkers vrijblijvende suggesties doen, maar ze hadden een hele beperkte rol in de implementatie. Verder maakten de ingenieurs de cobots gebruiksklaar door ze te installeren en de cobot programma's te bedenken en te programmeren. Verder pasten uitsluitend ingenieurs de cobot programma's aan en losten zij alle, of in ieder geval alle complexere, storingen op – productiemedewerkers hadden soms de regelruimte om kleine verstoringen zelf op te lossen via simpele oplossingsmethoden, zoals de cobot opnieuw opstarten. De productiemedewerkers zetten de cobot aan, selecteerden een door de ingenieur klaargezet programma en voerden het programma uit. Eventueel omstellen werd ook door de productiemedewerkers gedaan, wat inhield dat een ander programma werd geselecteerd en uitgevoerd. Productiemedewerkers beschikten dan ook over aanzienlijk minder regelruimte dan de ingenieurs.

Verder zijn ingenieurs en productiemedewerkers op verschillende wijze voorbereid op het werken met de cobot. Ingenieurs volgden vaak een externe cursus of kregen uitleg van de leverancier of integrator. De opgedane kennis 'vertaalden' ingenieurs vervolgens voor de productiemedewerkers. Zo werden er werksessies georganiseerd waarin ingenieurs, vaak samen met de leidinggevende, uitlegden waarom en hoe de cobot ingezet ging worden. Daarnaast werden er werkplektrainingen gerealiseerd waarin de ingenieurs stapsgewijs uitleg gaven aan de productiemedewerkers over hoe de cobot bediend moest worden. Het kwam ook regelmatig voor dat de ingenieurs werkplekdocumenten maakten waarin de cobot bediening stapsgewijs en visueel uitgelegd werd. Tot slot waren de ingenieurs beschikbaar voor het beantwoorden van cobot-gerelateerde vragen en het oplossen van storingen.

Ter illustratie

Benchmark, Bronkhorst, Gerimex en Suplacon

De bovengenoemde scheiding tussen ingenieurs en productiemedewerkers was duidelijk zichtbaar. In de uitvoering zijn het in eerste instantie vooral de ingenieurs geweest die de cobot opstellingen hebben vormgegeven en operationeel gemaakt. Op het moment dat een opstelling in productie werd genomen, zoals bij Suplacon, nam de rol van de productiemedewerker toe. Bij Gerimex is dit meer gelijktijdig opgepakt door te starten met de eerdergenoemde, binnen RoboTAO ontwikkelde, training. Dit heeft bijgedragen aan realistische keuzes ten aanzien van de (gedeeltelijk) te automatiseren werkzaamheden, de kennis over de functionaliteiten van cobots en inzicht in de benodigde kennis en vaardigheden. Het denken en doen was hierdoor minder gescheiden en kreeg meer gezamenlijk invulling.

“Juist door het op de werkplek aan te bieden kunnen problemen direct bekeken en samen opgelost worden” – Manager Gerimex

Kernthema 4

Mens-cobot interactie: cobots als mini-robots

Het overgrote deel van de cobots plaatsten klaargelegde producten in machines of apparaten, zoals teststations. Eenmaal behandeld werden de producten door de cobot uit de machines of apparaten gehaald en weggelegd. In enkele gevallen werden cobots gebruikt voor het in-of uitpakken van dozen, het aanbrengen van lijm, het inboren van onderdelen, het uitvoeren van controles, het opstapelen van onderdelen of het assembleren van klein elektronica. Verder viel op dat de meeste cobots niet omgesteld hoefden te worden omdat ze maar bij één (steeds dezelfde) serie werden ingezet.

De samenwerking tussen productiemedewerker en cobot was vaak als volgt ingericht: 1) de productiemedewerkers legden de te bewerken producten voor de cobot klaar; 2) de cobot pakte de producten op en plaatste ze in een apparaat, machine of mal; 3) de cobot haalde de bewerkte producten uit de machine en legde ze weg; 4) de productiemedewerker voerde de bewerkte producten af. Doordat de productiemedewerker voorraden klaarlegde en genoeg aflegruimte creëerde kon de cobot, bij het uitblijven van storingen, vaak uren autonoom werken. In de tussentijd ging de productiemedewerker bezig met andere werkzaamheden waarvoor de cobot vaak niet werd ingezet, zoals het doen van inspecties. Daarmee hebben de meeste cobots meer weg van een mini-robot dan een interactief samenwerkingsapparaat.

Verder waren de productiemedewerkers verantwoordelijk voor het monitoren van de cobot. Wat inhield dat de cobot op tijd beladen of gelost moest worden en dat storingen snel en goed opgelost moesten worden – dit alles om machinestilstand te voorkomen. Afhankelijk van hoeveel regelruimte de productiemedewerkers hadden, mochten eenvoudige storingen zelf opgelost worden of moest bij elke verstoring de ingenieur erbij gehaald worden. Het zijn verantwoordelijkheden die veel weghebben van die van de traditionele machine operator.

De gevonden mens-cobot samenwerking waren weinig interactief. Enerzijds omdat de cobots grotendeels autonoom werkten. Anderzijds omdat de productiemedewerkers vaak sneller dan de cobots waren in de taakuitvoer – dit gold met name voor werkzaamheden gericht op machinebelading. Soms voerde de cobot de taken beter uit dan de productiemedewerker, met name als er iets geteld, visueel geïnspecteerd of precies gedoseerd moest worden. Evenmin hadden mensen last van de cobot, omdat cobot en productiemedewerker weinig afhankelijk van elkaar waren. Wel gaven verschillende productiemedewerkers aan dat zij regelmatig hun werkzaamheden moesten staken om de cobot aan het werk te houden. Waarom de mens-cobot samenwerking toch loonde voor de productiebedrijven, ondanks de beperkte interactie, wordt besproken in kernthema 6.

Ter illustratie

Benchmark, Bronkhorst, Gerimex en Suplacon

Bij Benchmark is de cobot ingezet voor assemblage werkzaamheden. De productiemedewerker deed het fijnmechanische werk, zoals het plakken van stickers en het lijmen van onderdelen. De cobot nam door middel van camerabeelden de positie van de klaargelegde onderdelen waar en stapelde deze op elkaar om er een eindproduct van te maken. De productiemedewerker schroefde vervolgens het eindproduct vast.

Bij Bronkhorst werd een cobot, in eerste instantie, gebruikt voor het plaatsen van producten in een teststation. Omdat dit onderdeel van het productiesysteem te complex en cruciaal was, is uitgeweken naar een ander onderdeel: het stapelen van ringen om een staaf. De productiemedewerker legde de ringen op een verlichte plaat. De cobot nam middels een camera waar op welke plek de ringen lagen en of de ringen goed om lagen. Het benodigde aantal ringen werd opgezogen met een vacuüm grijper, eventueel gekeerd, en om de staaf geplaatst.

Bij Suplacon werden metaalproducten door de productiemedewerker in een rek geplaatst. De cobot gebruikte een zuignap om de metaalproducten op te pakken en in een mal te leggen. Vervolgens pakte de cobot een boorkop om de metaalproducten te bewerken. De producten werden vervolgens opgezogen en in een bak gelegd. Een manager van Suplacon typeert deze mens-cobot samenwerking als volgt:

“De cobot is niet een vervanger van medewerkers, maar een aanvulling op medewerkers. Je moet kijken welke taken de mensen goed in zijn en in welke taken cobots. Als je creatieve taken hebt die steeds anders zijn, of met gevoel of nadenken moeten gebeuren, dan zijn mensen daar goed in. Als je repeterende taken hebt, daar is de cobot heel goed in” – manager Suplacon

Gerimex heeft de ambitie om een cobot in te zetten op hun CNC-afdeling. Hiervoor zien zij twee opties. De eerste is het laden en lossen van meerdere CNC-machines door een cobot op rails te plaatsen. De tweede betreft het slijpen van onderdelen (pinnen) in een apparaat die nu met de hand bediend wordt. Beide mogelijkheden hebben beperkte interactie tot gevolg.

Kernthema 5 Werkbeleving: gemixte gevoelens

In alle productiebedrijven heeft de cobot taken overgenomen van de productiemedewerkers. Vaak kregen zij nieuwe taken toebedeeld, maar niet altijd. In sommige gevallen vonden productiemedewerkers dat de cobot bijdroeg aan de kwaliteit van arbeid. Dan maakte de cobot het werk bijvoorbeeld makkelijker door complexe taken over te nemen. Daarnaast werd het werk soms minder hectisch doordat de cobot lang zelfstandig aan het werk kon. En tot slot werd in enkele gevallen werk minder belastend doordat de cobot producten zelf optilde en heen-en-weer lopen tussen machines verminderde.

Er waren ook productiemedewerker die voelden dat de cobot hun kwaliteit van arbeid juist omlaag haalde. Bijvoorbeeld doordat de status van de cobot hun werkritme bepaalde, denk bijvoorbeeld aan het tijdig beladen of het oplossen van een storing. Daarnaast werd voor sommige medewerkers het werk moeilijker doordat er, vaak naast het onderhoud van bestaande machines, nu een extra machine onderhouden moest worden die soms complexe storingen vertoonde. Tot slot moesten sommige productiemedewerkers door de cobot juist meer heen en weer lopen.

Deze wisselende ervaringen maken duidelijk dat het herontwerpen van productiewerk, het takenpakket, de zelfredzaamheid van de cobot en de fysieke plaats ervan belangrijk zijn voor de werkbeleving van de productie-medewerkers. Het bewustzijn en de kritische houding van

de productiemedewerkers in de nabijheid van een cobot waren duidelijk aanwezig. Zo wierpen productiemedewerkers regelmatig een blik op de cobot vanaf hun werkplek en werden behandelde producten nagemeten – controles vonden niet op vaste momenten plaats. De productiemedewerkers die niet de cobot in hun directe blikveld hebben leken echter wel een verminderd bewustzijn en een nonchalantere houding te hebben. Zij controleerden de cobot minder vaak en vertrouwden sterker op de goede werking ervan. Het maakt opnieuw duidelijk hoe belangrijk de fysieke plaats van de cobot is.

Kernthema 6 Toegevoegde waarde: business case onder druk

Ondanks dat de cobot qua taakuitvoer vaak langzamer was dan de productiemedewerkers droegen ze, variërend van enkele tot tientallen uren per week, op twee manieren bij aan de productiviteit. Cobots konden doorwerken op momenten dat de productiemedewerkers niet aanwezig waren, zoals in de pauzes, in de avonden en in de weekenden. Daarbij gold: hoe beter voorbereid en hoe robuuster de programmatuur, hoe langer de cobot onverminderd aan het werk kon en hoe groter de productiviteitswinst. Daarnaast konden productiemedewerkers in de tijd dat de cobot bezig was vaak met andere werkzaamheden aan de slag, waardoor gezamenlijk meer werk verzet kon worden. Ook hebben de productiebedrijven gezegd door het gebruik van camerasystemen een hogere productkwaliteit te hebben bereikt. In hoeverre de cobot heeft bijgedragen aan de flexibiliteit van het productiesysteem is niet duidelijk geworden, omdat in deze productiesystemen flexibiliteit (korte productieruns, veel en regelmatig omstellen) simpelweg niet aan de orde was.

Ondanks de toegevoegde waarde gaven productiebedrijven aan dat door technische uitdagingen hun ingenieurs veel tijd hebben moeten investeren in het technisch werkend krijgen van de cobot. De beschikbare software was niet zelflerend en beperkt intuïtief. Het betekende dat er een groot beroep gedaan werd op de programmeur. Met name het gebruiksklaar maken van de cobot voor fijnmechanische taken,

het gebruik van een camerasysteem en het integreren met bestaande machines vergden veel tijd. Zo was voor de uitvoer van fijnmechanische taken niet alleen een geavanceerdere programmeermethode, zoals coördinaten of scripts nodig; ook uiterst stabiele werkomgevingen met specifieke mallen, vaste posities en verankerde tafels moesten georganiseerd worden. Voor goede cameratoepassingen was ook veel stabiliteit nodig, maar dan in de vorm van constante en schaduwvrije lichtinval. Tot slot liet de meegeleverde software zich vaak beperkt koppelen met de software van andere machines en apparaten. In die gevallen moest gebruik gemaakt worden van overkoepelende software, zoals Robot Operating Systems, eigen programmatuur of externe maatwerkoplossingen. Al met al was voor de bedrijven de tijdsinvestering zodanig groot dat de productie van kleine series met een cobot financieel onhaalbaar was. Alleen als de cobot ingezet werd voor grote, en bij voorkeur terugkerende, series was sprake van een redelijke business case.

De inzichten vanuit dit kernthema laten zien dat de cobot techniek doet wat het moet doen en voor een breed scala aan toepassingen ingezet kan worden: van simpel, tot geavanceerd of zelfs geïntegreerd. Tegelijkertijd is ook duidelijk geworden dat de cobot techniek nog volop in ontwikkeling is. Daarnaast neemt de technische voorinvestering toe, zodra de complexiteit van de toepassing omhooggaat.

Ter illustratie

Benchmark, Bronkhorst, Gerimex en Suplacon

Voorgaande was duidelijk zichtbaar in de praktijk. Allen waren ze voornemens hun cobot flexibel in te zetten. De business case bleek echter slechts haalbaar voor eenvoudige, repeterende handelingen. Dergelijke werkzaamheden zijn er bij de betreffende bedrijven echter, gezien de kleine seriegroottes en hoge variëteit, weinig.

Van de vier bedrijven is het tot nu toe Suplacon als enige gelukt om de cobot opstelling van de ingenieursomgeving in de daadwerkelijke productie te krijgen. Benchmark heeft besloten om de cobot naar een vestiging in Roemenië te transporteren. Daar worden grotere volumes geproduceerd en wordt onderzocht of de cobot daar wel rendabel ingezet kan worden. Bronkhorst heeft soortgelijke ervaringen opgedaan: er moeten te veel ingenieursuren geïnvesteerd worden om de cobot techniek gebruiksklaar te maken voor de complexere toepassingen. Deze investering weegt momenteel niet op tegen de mogelijke kwaliteitstoename. In de toekomst ziet Bronkhorst twee andere, meer eenvoudige, mogelijkheden voor het inzetten van een cobot. De cobot zou bakjes met onderdelen kunnen pakken om deze, op basis van de stuklijst en werkinstructies, in de gewenste volgorde klaar te zetten. Daarnaast zou de cobot ingezet kunnen worden bij het lektesten van instrumenten. Dit is repetitief werk dat bij alle instrumenten uitgevoerd moet worden.

“De potentiële meerwaarde van een cobot zit met name in repeterende werkzaamheden en werkzaamheden die je mensonafhankelijk wil maken. De productiemedewerker kan op een andere plaats in de productie ingezet worden” – Manager Bronkhorst

Bij Suplacon is de business case wél interessant geworden. De ervaringen zijn positief en de cobot is een vast onderdeel van de productie. Hier ondersteunt de cobot momenteel acht medewerkers bij het soevereinen en tappen van gaten. De cobot levert constante kwaliteit en maakt uren vrij voor werkzaamheden waarvoor vakkennis en vaardigheden van medewerkers nodig zijn. Extra tooling, zoals zuignappen en grippers, zorgen voor nog meer mogelijkheden en de toepassingen worden uitgebreid om flexibel en concurrerend te blijven.

Conclusie

In dit hoofdstuk hebben zijn de belangrijkste inzichten van zo'n 20 cobot implementaties besproken. Deze lieten zien dat productiebedrijven volop aan het experimenteren zijn geslagen. Voor eenvoudige handelingen blijkt het goed mogelijk om cobots in het productiesysteem te plaatsen. Tegelijkertijd werd duidelijk dat van intensieve, versterkende en versnellende mens-cobot samenwerking nog weinig sprake is. Ondanks dat de bestudeerde bedrijven flexibele productieprocessen hebben, kozen ze ervoor hun de cobot, uiteindelijk, in te zetten voor de verwerking van grote en weinig wisselende productseries. De cobot techniek bleek vaak niet zo robuust als voorafgaand aan de implementatie gedacht werd en zet de business case onder druk.

De mismatch tussen de complexiteit van het productiewerk en de robuustheid van de cobot techniek zorgt ervoor dat bedrijven, noodgedwongen, kiezen voor rigide mens-cobot samenwerking. In zulke samenwerking functioneert de cobot als een mini-robot en vormt de productiemedewerker het 'sluitstuk van de techniek' die de cobot aan het werk houdt. Zulke mens-cobot samenwerking is goed voor de productiviteit, maar vormt tegelijkertijd een bedreiging voor de werkbeleving van de productiemedewerker²². Ondanks dat de productiemedewerker wel degelijk wordt geïnstrueerd en

gefaciliteerd, zijn er weinig tot geen mogelijkheden om de inzet van de cobot naar eigen hand te zetten. De regelcapaciteit voor productiemedewerkers is beperkt en de eerste signalen van teruglopende arbeidskwaliteit zijn opgepikt.

Daarmee lijkt de realiteit ver af te staan van doelmatige en flexibele mens-cobot samenwerking die gepaard gaat met acceptabele arbeidskwaliteit. Om de stap naar zulke inzet van cobots te zetten, de druk op de arbeidskwaliteit te verlagen en de business case te verbeteren, is het belangrijk om de productiemedewerker nauwer in het implementatieproces te betrekken²⁸. Oftewel: meer regelcapaciteit en ondersteuning op operationeel niveau. Kostbare ingenieursuren kunnen dan gedeeltelijk worden overgenomen door productiemedewerkers. Daarnaast zorgt het ervoor dat de productiemedewerkers meer regelruimte hebben om de cobot en hun werkbeleving op elkaar af te stemmen. Maar voordat doordacht verantwoordelijkheden geschoven kan worden moet eerst duidelijk zijn welke competenties ingenieurs en productiemedewerkers momenteel nodig hebben om hun rol in het cobot implementatie proces te vervullen. Hier wordt in het volgende hoofdstuk dieper op ingegaan.

De inhoud van dit hoofdstuk is ontleend uit het Tijdschrift voor HRM artikel 'De robot-arm als collega: Aan de slag met mensgerichte techniek-implementatie' (Wolffgramm, Corporaal & Van Riemsdijk, 2021).

4

Benodigde competenties voor het werken met cobots



Uit de (in het vorige hoofdstuk) gepresenteerde verkenning van cobots in de maakindustrie kwam naar voren dat zowel ingenieurs als productiemedewerkers een belangrijke rol spelen in het technisch werkend krijgen en houden van een cobot. En dat er verschillende manieren worden gebruikt door bedrijven om hun medewerkers voor te bereiden op de implementatie van een cobot in hun productie- of bewerkingsproces. Een vraag die hierbij van belang is: welke competenties (kennis, vaardigheden en houding) zijn van belang om (samen) te werken met een cobot? En in welke mate zijn deze competenties verschillend voor ingenieurs en productiemedewerkers? Inzicht in de benodigde competenties biedt handvatten voor productiebedrijven om gericht hun medewerkers te ontwikkelen. Het biedt ook handvatten voor mbo- en hbo-instellingen om studenten goed voor te bereiden op een beroepspraktijk waarin (samen) wordt gewerkt met cobots.

Om antwoord te krijgen op deze vragen, zijn 29 engineers, 11 lijnmanagers en 20 productiemedewerkers van 21 verschillende productiebedrijven bevestigd – alle bevestigden hadden cobots-gerelateerde werkervaring. Met hen is gesproken over hoe de mens-cobot samenwerking eruitziet, en hoe deze samenwerkingen zijn geïmplementeerd in de praktijk van de bedrijven. Door middel van het O*NET Content Model²⁹ zijn 31 relevante competenties gevonden die van belang zijn voor het ontwerpen en onderhouden van mens-cobot samenwerking. Deze competenties konden vervolgens onderverdeeld worden in vier clusters: ontwerpen, programmeren, uitvoeren, en repareren (zie Tabel 3 voor het totale overzicht).

Cluster 1: ontwerpcompetenties

Het eerste cluster bevat competenties die nodig zijn voor het ontwerpen van de mens-cobot samenwerking. Het overgrote deel van de ontwerpcompetenties is relevant voor ingenieurs. Allereerst gebruiken ingenieurs hun *productie- en proceskennis* en hun *analytische vaardigheden* om het productiesysteem waarin de cobot geïmplementeerd wordt tot op taakniveau in kaart te brengen. Daarnaast gebruiken ze hun *technische kennis* om de eigenschappen van de cobot techniek en bijbehorende hulpstukken te begrijpen. Verder maken ingenieurs gebruik

van hun *originaliteit* om de kennis over het productiesysteem en de cobot te vertalen in relevante concept ontwerpen. In de concept ontwerpen staat centraal waar de cobot komt te staan, wat deze gaat doen en welke rol er voor de productiemedewerker weggelegd is.

Als de concept ontwerpen eenmaal zijn uitgedacht zorgen de *selectievaardigheden* van ingenieurs ervoor dat de ontwerpen worden omgezet in technische vereisten en benodigde middelen, zoals een aan te kopen hulpstuk. Zodra ook de technische uitwerkingen zijn gemaakt gebruiken ingenieurs hun *presentatievaardigheden* om hun ontwerp(en) over te brengen aan productiemedewerkers. Productiemedewerkers worden op hun beurt weer gevraagd om feedback te geven. Zij maken gebruik van hun *ideevermogen* om tot verbeteringsuggesties te komen. Ingenieurs maken op hun beurt gebruik van actieve *luistervaardigheden* om de suggesties van de productiemedewerkers te begrijpen.

Cluster 2: programmeercompetenties

Het tweede cluster bevat competenties die nodig zijn om de cobot gebruiksklaar te maken. Omdat uitsluitend ingenieurs bezig zijn met het gebruiksklaar maken, worden deze competenties enkel door hen in de praktijk gebracht. Ook in dit cluster hebben ingenieurs *technische kennis* nodig. Het gaat hier om kennis over de hardware en software van de cobot. Kennis over de hardware betreft het goed installeren; kennis over de software heeft betrekking op het programmeren. Naast deze kennis heeft de ingenieur ook *installatievaardigheden* nodig om de cobot te plaatsen, onderdelen aan te sluiten en het geheel op een tafel of werkbank te monteren. Eenmaal opgebouwd zijn *programmeervaardigheden* nodig om programma's uit te denken, te bouwen en te testen. Omdat er zich tijdens het programmeren complexe storingen kunnen voordoen en er niet altijd een kant-en-klare oplossing voor handen is, hebben ingenieurs *probleemoplossend vermogen* nodig en moeten zij *inductief redeneren* om de storingen te begrijpen en op te lossen. Zodra de cobot gebruiksklaar is wordt de ondersteuning voor productiemedewerkers georganiseerd, zoals een handboek of training. Hiervoor zijn de *instructievaardigheden* van de ingenieur essentieel.

Cluster 3: uitvoercompetenties

Het derde cluster bevat competenties die nodig zijn om een voorgeprogrammeerde cobot te besturen en aan het werk te houden. Deze competenties zijn enkel relevant voor de productiemedewerkers. Productiemedewerkers hebben *mechanische kennis* nodig om scherp te krijgen hoe de cobot bestuurd moet worden, hoe producten aangevoerd en afgevoerd moeten worden en wanneer de cobot wel en niet goed functioneert. Omdat het klaarleggen van de producten vaak precies moet gebeuren hebben productiemedewerkers baat bij goede *hand-oog coördinatie*. Productiemedewerkers hebben ook *uitvoer- en controlevaardigheden* nodig. Hiermee kunnen ze de cobot aanzetten, een klaargezet programma activeren en het programma afspelen – het eventueel omstellen van de cobot verloopt ook via deze competentie. Verder hebben productiemedewerkers een goed *reactievermogen* nodig om de cobot op tijd van producten te voorzien en/of bewerkte producten af te voeren. Om te voorkomen dat de productiemedewerkerstegen de bewegende cobot opbotsten is voldoende *ruimtelijke oriëntatie* essentieel.

Voor het monitoren van de cobot is ook *mechanische kennis* nodig. Daarnaast zijn *uitvoer- en controlevaardigheden* noodzakelijk. Door deze competenties te gebruiken in combinatie met *visualisatievaardigheden* kunnen productiemedewerkers bepalen of de prestaties van de cobot naar behoren zijn. *Voorspellend vermogen* helpt productiemedewerkers om te anticiperen op prestatiefouten van de cobot. Omdat het bewaken van de cobot afgewisseld moet worden met ander taken is het voor productiemedewerkers ook belangrijk om goede *planvaardigheden* te hebben. Tot slot is het belangrijk dat productiemedewerkers over voldoende *zelfbeheersing beschikken* om de cobot op beoogde manier te onderhouden en deze niet te dwarsbomen of stuk te maken.

Cluster 4: reparatiecompetenties

Het vierde cluster bevat competenties die nodig zijn om een onbedoeld stilgevallen cobot weer aan de praat te krijgen. Er zijn verschillende redenen waarom een cobot tot stilstand komt. Het zou kunnen dat de aangeleverde producten op zijn,

dat er geen plek is om behandelde producten weg te leggen, dat de cobot ergens tegenaan gebotst is of dat er zich een storing voordoet. Zowel ingenieurs als productiemedewerkers spelen een belangrijke rol in dit cluster.

Productiemedewerkers zijn in eerste instantie aangewezen op hun *reactievermogen* om de stilstand van de cobot snel op te merken. Door gebruik te maken van *mechanische kennis* en *probleeminspectie vaardigheden* kunnen productiemedewerkers, op basis van aangereikte instructies, een eerste verkenning uitvoeren. Omdat de instructies veelal leidend zijn, is in dit geval *deductief redeneren* toepasselijk. Productiemedewerkers maken gebruik van hun *complex probleemoplossend vermogen* en basale *reparatievaardigheden* om, als dat mag, een eerste poging te doen om de cobot te repareren. Deze reparatie inspanning komen veelal neer op het opnieuw opstarten en het opnieuw activeren van het cobot programma. Mochten dit de storing niet oplossen, dan neemt de ingenieur de reparatie over.

Ingenieurs zetten hun *technische kennis* en vergaande *probleeminspectie vaardigheden* in om een diepgaandere probleemanalyse uit te voeren. Hiervoor kan de cobot zowel hardware- als softwarematig geïnspecteerd worden, zoals de aansluiting van de stekkers en het systeemlogboek. Omdat ingenieurs ook in dit cluster voor onbekende uitdagingen kunnen komen te staan is ook hier *inductief redeneren* relevant. Verder maken ze, net zoals productiemedewerkers, gebruik van reparatievaardigheden en complex *probleemoplossend vermogen*. Maar, omdat de storingen die ingenieurs voor hun rekening nemen vele malen complexer zijn, is het zeer waarschijnlijk dat ingenieurs in dit opzicht geavanceerdere vaardigheden nodig hebben dan productiemedewerkers.

Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de relevante competenties (kennis, vaardigheden, houding en andere aspecten) voor het werken met een cobot benoemd en uiteengezet voor zowel ingenieurs als productiemedewerkers. Vervolgens zijn deze competenties geclusterd in vier groepen: ontwerpen, programmeren, uitvoeren, en repareren. Van de 31 geïdentificeerde competenties zijn de meeste relevant voor ingenieurs, en een

aantal heel specifiek voor productiemedewerkers. Het overzicht zoals weergegeven in Tabel 3 laat goed zien dat ingenieurs en productiemedewerkers voor verschillende werkzaamheden worden opgeleid. Ondanks dat het hier om een redelijk nieuwe techniek gaat, lijkt er een klassieke rolverdeling te zijn ontstaan tussen de ontwerpende procesingenieur enerzijds en de uitvoerende machine-operator anderzijds³⁰⁻³¹.

Uitgaande van de gevonden competenties kunnen kan grofweg gesteld worden dat ingenieurs als '**cobot programmeur**' optreden. De cobot programmeur richt de mens-cobot samenwerking in, zorgt dat het ontwerp goed past in het bestaande productiesysteem, installeert en programmeert de cobot, neemt productiemedewerkers mee in de besturing van de cobot en lost (complexe) storingen op. De productiemedewerkers fungeren doorgaans als '**cobot bestuurder**'. Er is beheersing nodig om goed met de cobot overweg te kunnen, ze denken mee met de ingenieur en de cobot wordt volgens instructies en op tijd onderhouden. De cobot bestuurder bewaakt het functioneren van de cobot nauwlettend en zijn in staat om storingen adequate op te lossen. Aan de cobot bestuurder de taak om de cobot taken slim te combineren met hun andere werkzaamheden. In Tabel 2 zijn de kenmerken van cobot programmeur en -bestuurder nog eens weergegeven.

Tabel 2. Kenmerken cobot programmeur en cobot bestuurder.

Cobot programmeur	Cobot bestuurder
Analyseert	Denkt mee
Ontwerpt	Voert uit
Installeert	Onderhoudt
Programmeert	Controleert
Instrueert	Signaleert
Faciliteert	Lost op
Repareert	Combineert

Nu de relevante competenties en kenmerken in kaart zijn gebracht, kan er geëxperimenteerd worden met het nauwer betrekken van de productiemedewerker in het ontwerpen van een eigen mens-cobot samenwerking. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de opzet en uitkomsten van een cobot experiment dat hiervoor is ontwikkeld.

De inhoud van dit hoofdstuk is ontleend uit het Journal of Higher Education Theory and Practice artikel 'A Collaborative Robot in the Classroom: Designing 21st Century Engineering Education Together' (Wolffgramm, Tijink, Disberg – Van Geloven, Corporaal, 2021).

Tabel 3. Overzicht van competenties voor ingenieurs en productiemedewerkers.

Cluster: Ontwerpen

Competentie	Wat de competentie vereist:	Belangrijk voor ingenieurs	Belangrijk voor productiemedewerkers
Productie- proceskennis	Kent het productiesysteem tot op handelingsniveau	✓	
Analytische vaardigheden	Kan het productiesysteem tot op handelingsniveaus uiteenrafelen	✓	
Technische kennis	Begrijpt wat de technische specificaties van cobots en hulpstukken zijn	✓	
Originaliteit	Kan passende cobot opstellingen ontwerpen met daarin een duidelijke rol voor de productiemedewerker	✓	
Selectievaardigheden	Kan opsommen welke middelen er nodig zijn en de best beschikbare optie uitkiezen	✓	
Presentatievaardigheden	Kan concept ontwerpen communiceren richting productiemedewerkers	✓	
Ideevermogen	Kan suggesties doen die de concept ontwerpen van de ingenieur verbeteren		✓
Actief kunnen luisteren	Kan productiemedewerkers aandachtig aanhoren en vraagt door om suggesties volledig te begrijpen	✓	

Cluster: Programmeren

Competentie	Wat de competentie vereist:	Belangrijk voor ingenieurs	Belangrijk voor productiemedewerkers
Technische kennis	Weet hoe de cobot hardware geïnstalleerd moet worden en hoe de cobot software gebruikt moet worden	✓	
Installatievaardigheden	Kan de cobot hardware werkend krijgen	✓	
Programmeervaardigheden	Kan gebruiksklare cobot programma's maken	✓	
Complex probleem-oplossend vermogen	Kan uiteenlopende, gelaagde en onbekende cobot storingen verhelpen	✓	
Inductief redeneren	Kan oorzaak achter onbekende cobot storingen achterhalen	✓	
Instructievaardigheden	Kan cobot-gerelateerde info overbrengen die begrijpelijk is voor productiemedewerkers	✓	

Cluster: Uitvoeren

Competentie	Wat de competentie vereist:	Belangrijk voor ingenieurs	Belangrijk voor productiemedewerkers
Mechanische kennis	Weet hoe de cobot aangestuurd moet worden en functioneert		✓
Hand-oog coördinatie	Kan te bewerken producten precies klaarleggen		✓
Uitvoer en controlevaardigheden	Kan de cobot programma's aanzetten en het verloop ervan monitoren		✓
Reactievermogen	Kan de cobot op tijd beladen en/of lossen		✓
Ruimtelijk oriëntatie	Kan voorkomen dat er tegen de bewegende cobot botst wordt		✓
Visualisatievaardigheden	Kan zich inbeelden hoe een goedwerkende cobot eruitziet		✓
Voorspellend vermogen	Kan bepalen of de cobot in de nabije toekomst goed werkt		✓
Planvaardigheden	Kan cobot en niet-cobot gerelateerde taken goed combineren		✓
Zelfbeheersing	Kan de neiging om de cobot te dwarsbomen of stuk te maken onderdrukken		✓

Cluster: Repareren

Competentie	Wat de competentie vereist:	Belangrijk voor ingenieurs	Belangrijk voor productiemedewerkers
Technische kennis	Weet hoe diepgaande probleemverkenningen uitgevoerd en complexe storingen opgelost moeten worden	✓	
Mechanische kennis	Weet hoe de cobot volgens instructies geïnspecteerd en uit de storing gehaald moet worden		✓
Reactievermogen	Kan snel opmerken dat de cobot stilstaat		✓
Probleeminspectie vaardigheden	Kan op (on)gestructureerde wijze achterhalen wat de oorzaak van de storing is	✓ ✓	✓
Deductief redeneren	Kan op basis van instructies betekenis geven aan de cobot storing		✓
Inductief redeneren	Kan oorzaak achter onbekende cobot storingen achterhalen	✓	
Complex probleem-oplossend vermogen	Kan diverse, gelaagde en onbekende cobot storingen verhelpen	✓ ✓	✓
Reparatievaardigheden	Kan de cobot storingen oplossen door de cobot te herstarten of door de hard- en/of software aan te passen	✓ ✓	✓

✓ ✓ *Ingenieurs moeten deze competentie beter beheersen dan productiemedewerkers.*

5

Experimenteren met mens-cobot samenwerking



In hoofdstuk 3 werd ingegaan op de cobot implementaties van verschillende Nederlandse productiebedrijven en in hoofdstuk 4 is specifiek gemaakt welke competenties technici nodig hebben die met cobots werken. Beide hoofdstukken zijn gebaseerd op werkende en veelal in productie genomen cobot opstellingen. Met deze opstellingen worden productiviteitswinsten geboekt, hogere productkwaliteit bereikt en lijkt ook de werkbeleving redelijk stand te houden. Tegelijkertijd werd duidelijk dat de gerealiseerde mens-cobot samenwerking doorgaans niet flexibel is: de cobot interacteert weinig met de productiemedewerker en de regelcapaciteit op operationeel niveau is beperkt.

Is daarmee het maximale uit de mens-cobot samenwerking gehaald? Of kan de mens-cobot samenwerking onder bepaalde omstandigheden wel geschikt zijn voor de productie van kleine series? Om antwoord te kunnen geven op deze vraag is in het project RoboTAO zelf een cobot opstelling gebouwd waarin met veertig deelnemers (mbo en hbo (techniek)studenten) is onderzocht hoe medewerkersbetrokkenheid bijdraagt aan waardevolle en langdurige mens-cobot samenwerking. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de opzet van de opstelling en de belangrijkste inzichten, aan de hand van de kernthema's uit hoofdstuk 2.

Opzet van het experiment

De cobot opstelling is gebouwd in een labruimte. Daarvoor zijn twee werkstations gebouwd: een manueel werkstation en een mens-cobot werkstation. Beide werkstations waren gericht op het assembleren van kleine series. Om de assemblage van kleine series goed na te bootsen is voor een uiterst modulair product gekozen: toetsenborden. Er werd met verschillende typen toetsenborden gewerkt en ieder type ging gepaard met specifieke klantwensen. Zo verschilde het aantal te assembleren toetsenborden per order en had iedere order specifieke eisen gericht op waar en hoe de toetsen in het toetsenbord geplaatst moesten worden – een productvoorbeeld is weergegeven in Figuur 2.

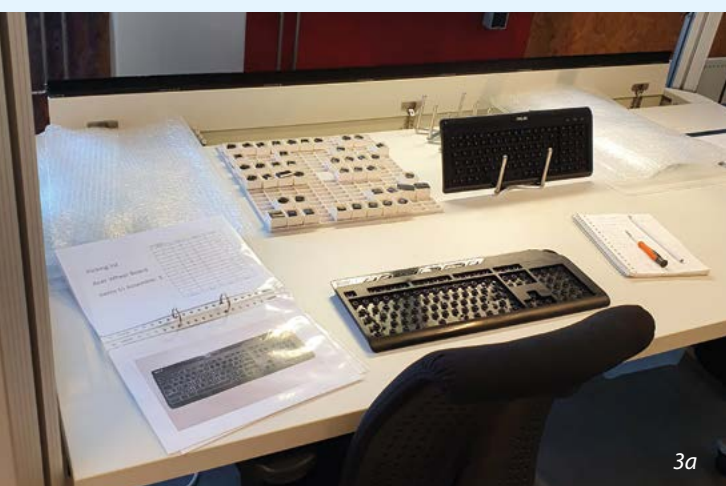
Figuur 2. Een voorbeeldproduct van een maatwerk toetsenbord.



Aan de deelnemers de taak om, op een voor hun vol te houden tempo, de toetsenborden foutloos te assembleren. De werkzaamheden bestonden voor ieder toetsenbord uit zes opeenvolgende taken: toetsenbord pakken, toetsenbordtype controleren, toetsen verzamelen, toetsenbord beletteren, toetsenbord controleren en toetsenborden wegleggen. Het assemblagewerk werd eerst 45 minuten zelfstandig handmatig gedaan in het manuele werkstation. Het manuele werkstation had twee doelen: 1) de deelnemer kennis laten maken met het te assembleren product en 2) een eerste indruk krijgen van hoe goed, snel en alert de deelnemer de toetsenborden assembleert.

Na een korte pauze werd hetzelfde werk 45 minuten samen met een UR5 cobot gedaan in het mens-cobot werkstation. De UR5 cobot was, naast een tablet en noodstop, uitgerust met een mechanische grijpklauw, een LED-ring en knoppenkast waarmee de beweging en LED-ring van de cobot ook op afstand bestuurd kon worden. Op het beletteren en wegleggen van de toetsenborden na, was de UR5 in staat om alle assemblagetaken uit te voeren. In Figuur 3 zijn beide werkstations afgebeeld.

Figuur 3. Manueel werkstation (3a) en mens-cobot werkstation (3b).



3a



3b

Aan de experimenten hebben in totaal 30 hbo studenten en 10 mbo studenten deelgenomen. De meeste deelnemers volgden op het moment van deelname een technische opleiding, zoals mechatronica, werktuigbouw of verspaningstechnologie. De deelnemers hadden nagenoeg geen eerdere werkervaring met cobots.

Om te kunnen onderzoeken hoe medewerkersbetrokkenheid bijdraagt aan waardevolle en langdurige mens-cobot samenwerking, zijn voor het mens-cobot werkstation een drietal scenario's ontwikkeld met daarin een lage, gemiddelde of hoge hoeveelheid ondersteuning en regelruimte. Een overzicht van de regelruimte en ondersteuning per scenario is weergegeven in Tabel 4. De regelruimte gaat in op de inrichting van de mens-cobot samenwerking uiteenlopend van het inrichten, aanzetten en uitvoeren van cobot programma's tot het oplossen van storingen. Ten opzichte van het lage scenario, waar de mens-cobot taakverdeling en snelheid volledig vastlagen, mocht in het gemiddeld scenario een deel van de mens-cobot taakverdeling aangepast worden en mocht ook de snelheid aangepast worden. In het hoge scenario mocht de taakverdeling volledig aangepast worden en was het ook mogelijk om de inhoud van klaargezette cobot programma's aan te passen.

Wat betreft de ondersteuning werd in beide werkstations uitgelegd hoe de toetsenborden geassembleerd moesten worden. Daarnaast was er een orderboek, schroevendraaier en notitieblok beschikbaar. Tot slot kon de deelnemer in

beide werkstations de hulp van een beschikbare ploegleider inschakelen. De ploegleider beantwoordde vragen of assisteerde bij het uitvoeren van handelingen als daarom gevraagd werd (zoals het programmeren van de cobot). In het mens-cobot werkstation was de cobot voorgeprogrammeerd. Voor alle series was een cobot programma gemaakt. De programma's waren simpel en efficiënt ingestoken. Tegelijkertijd, om te testen of de deelnemers alert waren en zelf

programmeren in het hoge scenario aan te moedigen, was in ieder programma een stukje onschuldige onlogica ingebracht, zoals het aangeven van een paar toetsen die niet nodig zijn. Het verschil in ondersteuning tussen de scenario's zit in de hoeveelheid cobot instructies die de deelnemer kreeg. Hoe meer regelruimte, hoe meer instructies er werden gegeven op het gebied van veiligheid en cobot besturing.

Tabel 4. Overzicht van de beschikbare regelruime en ondersteuning per scenario.

Regelruimte en ondersteuning	Scenario's		
	Beperkt	Gemiddeld	Hoog
Regelruimte			
- Programma's inladen	✓	✓	✓
- Cobot starten, stoppen en pauzeren	✓	✓	✓
- Storingen oplossen	✓	✓	✓
- Inrichten van mens-cobot taakverdeling	-	✓	✓✓
- Snelheid aanpassen	-	✓	✓
Ondersteuning			
- Basisinstructies assemblagewerk	✓	✓	✓
- Orderboek	✓	✓	✓
- Schroevendraaier	✓	✓	✓
- Notitieblok	✓	✓	✓
- Beschikbare ploegleider	✓	✓	✓
- Voorgeprogrammeerde cobot	✓	✓	✓
- Instructies gebruik cobot	✓	✓✓	✓✓✓

Legenda:

- niet aan de orde
- ✓ aan de orde
- ✓✓ sterk aan de orde
- ✓✓✓ zeer sterk aan de orde

Iedere deelnemer heeft één scenario doorgemaakt en de resultaten zijn per scenario bekeken.

Medewerkersbetrokkenheid: volop gebruik gemaakt van regelruimte en ondersteuning

In alle scenario's hebben deelnemers uitgebreid gebruik gemaakt van de beschikbare regelruimte en ondersteuning. Zo is het alle deelnemers gelukt om, soms na nog enkele korte aanwijzingen van de ploegleider, zelfstandig de cobot programma's in te laden en de cobot te besturen. Wanneer zich een storing voordeed, werd veelal eerst de ploegleider erbij gehaald. Maar zodra zich de storing opnieuw voordeed, deden de deelnemers een poging de storing zelf op te lossen. Vaak met goed resultaat.

In het gemiddelde en hoge scenario wisten deelnemers eenvoudig hun mens-cobot taakverdeling en de snelheid van de cobot aan te passen. Dat kwam waarschijnlijk door de gemakkelijke interface van het besturingsprogramma. Cobot acties konden met een druk op de knop aan- en uitgezet worden en ook de snelheid was met één muisbeweging te beïnvloeden. Het aanpassen van de cobot programma's bleef wel achter. Deelnemers hadden moeite om zelf de programma's inhoudelijk aan te passen en hadden hier veelal hulp van de ploegleider bij nodig. Ook speelde tijdsdruk een rol. Hierdoor werd onlogische programmatuur eerder voor lief genomen dan opgelost. Een deelnemer zei hierover:

"Ik wilde even gaan kijken hoe alles precies werkt, maar toen dacht ik 'oh ik moet dat ding in 7 en een halve minuut af hebben'. Dus dan ga ik weer, dan dacht ik, ik ga wel verder."
(Deelnemer 38)

Mens-cobot interactie: gericht op het verlagen van zwaar-mentale inspanning

In alle scenario's bleek dat deelnemers voornamelijk profiteerden van het feit dat de cobot mentaal belastende activiteiten kon overnemen: het opzoeken van de nodige toetsen en het uitvoeren van een eindcontrole. Zo werd duidelijk dat, ten opzichte van de manuele werkstations, deze taken beter werden uitgevoerd. Er werden minder assemblagefouten gemaakt en de cobot wist veelvuldig te voorkomen dat er verkeerd beletterde toetsenborden werden ingeleverd. Het gaat hier dus om een taakverbetering. In het gemiddeld en hoge scenario, waar ook de snelheid opgevoerd

mocht worden, werden deze taken ook sneller uitgevoerd en was soms ook sprake van een taakversnelling.

Ook werden taakhindernissen waargenomen. Deze concentreerden zich op het aangeven van het toetsenbord. Dit konden deelnemers sneller en net zo goed als de cobot. In het gemiddelde en hoge scenario, waar aan de inrichting van de mens-cobot taakverdeling gesleuteld mocht worden, werd het pakken van het toetsenbord vaak door de deelnemers zelf gedaan. In het lage scenario moest deze taak door de cobot uitgevoerd worden op een begrensde snelheid en was duidelijk waarneembaar dat dit de deelnemer hinderde:

"Ik had achteraf misschien verwacht dat de cobot wel sneller zou zijn inderdaad ... maar die snelheid mocht ik volgens mij niet aanpassen. ... Als je het tempo zou aanpassen naar het tempo waarop je werkt, dan zou je efficiënter werken"
(Deelnemer 26)

Het scannen van de barcode zit op de scheidslijn van een taakhindernis en -verbetering. Zo konden deelnemers vaak sneller de barcode scannen dan de cobot, maar deden zij dit lang niet zo constant en accuraat als de cobot. Ook werd duidelijk in het gemiddeld en hoge scenario, waar het scannen van de barcode door de deelnemer gedaan werd, dat in zowel de manuele als mens-cobot werkstations de barcodes beperkt werden gecontroleerd. In het lage scenario werd juist duidelijk dat in het mens-cobot werkstation barcodes veel beter werden gescand dan in het manuele werkstation – in het lage scenario waren deelnemers verplicht de cobot te gebruiken voor het scannen van de barcode.

Werkbeleving: duidelijke gevolgen voor de kwaliteit en veiligheid van werk

Wat opviel was dat in alle scenario's de deelnemers een stuk minder autonomie ervaarden in het mens-cobot werkstation dan in het manuele werkstation. Naarmate de regelruimte toenam, werd ook het gemis aan autonomie minder. De verwachting is dat de beschikbare regelruimte en het gevoel van autonomie met elkaar samenhangen. Verder waren geen duidelijke verschillen tussen de werkstations aangetroffen. Wel gaf de helft van de deelnemers aan het assemblagewerk weinig afwisselend en niet uitdagend te vinden. Zo zei een deelnemer:

“Ook met de cobot wordt het wel heel erg lopende band werk. Ik kan me voorstellen dat je dit twee uurtjes doet, maar als dit een werkdag wordt dan denk je al gauw van ‘mag ik hier weg’”. (Deelnemer 21)

Ook op het gebied van bewustzijn zijn geen duidelijke verschillen gevonden tussen de manuele en het mens-cobot werkstation. In beide stations was het bewustzijn bovengemiddeld. Wat wel opviel was de alertheid, die onder druk kwam te staan naarmate de regelruimte en ondersteuning toenamen. Zo waren deelnemers in het lage scenario veel alerter op cobot-gerelateerde fouten. Waarschijnlijk omdat deze deelnemers veelal aan het wachten waren op de cobot. De deelnemers in het gemiddelde en hoge scenario hebben massaal de snelheid van de cobot gemaximaliseerd. Hierdoor werden de rollen vaak omgedraaid en werkte de deelnemer achter de cobot aan. Dit had tot gevolg dat de deelnemer gefocust raakte op het bijhouden van de cobot en nog weinig oog had voor wat de cobot deed. Hierdoor werden cobot-gerelateerde fouten pas later ontdekt of stond de cobot onnodig stil. Met name bij fouten die zich vaker voordeden verslaptte de kritische houding en vertraagde de foutreactie.

Toegevoegde waarde: meer kwaliteit, minder productiviteit

Na het vergelijken van de hoeveelheid afgekeurde toetsenborden (betrouwbaarheid) en de hoeveelheid tijd die nodig was om deze te assembleren (efficiëntie), werden er duidelijke verschillen gevonden tussen de manuele en mens-cobot werkstations. Zo was de betrouwbaarheid in alle scenario's in de mens-cobot werkstations duidelijk beter was dan die van de manuele werkstations. Hier lijkt de taakverbetering gericht op de eindcontrole een bijdrage aan geleverd te hebben.

Daarnaast werd duidelijk dat de efficiëntie in het lage en in het hoge scenario overduidelijk lager lag in de mens-cobot werkstations dan in de manuele werkstations. Voor het lage scenario werd dit waarschijnlijk veroorzaakt door de taakhindernissen en lage uitvoersnelheid van de cobot. Voor het hoge scenario is de lage efficiëntie mogelijk toe te schrijven aan de tijd die deelnemers nodig hadden om de cobot programmatuur aan te passen; de programmeertijd ging ten koste van de assemblagetijd. Voor het gemiddeld scenario werd geen

noemenswaardig verschil tussen de werkstations gevonden. Dit laatste heeft waarschijnlijk met de regelruimte te maken. In het gemiddelde scenario hadden deelnemers het beste van beide werelden: er konden wel taakhindernissen opgevoerd of weggewerkt worden terwijl er geen tijd geïnvesteerd hoefde te worden in het aanpassen van de cobot programma's.

Conclusie

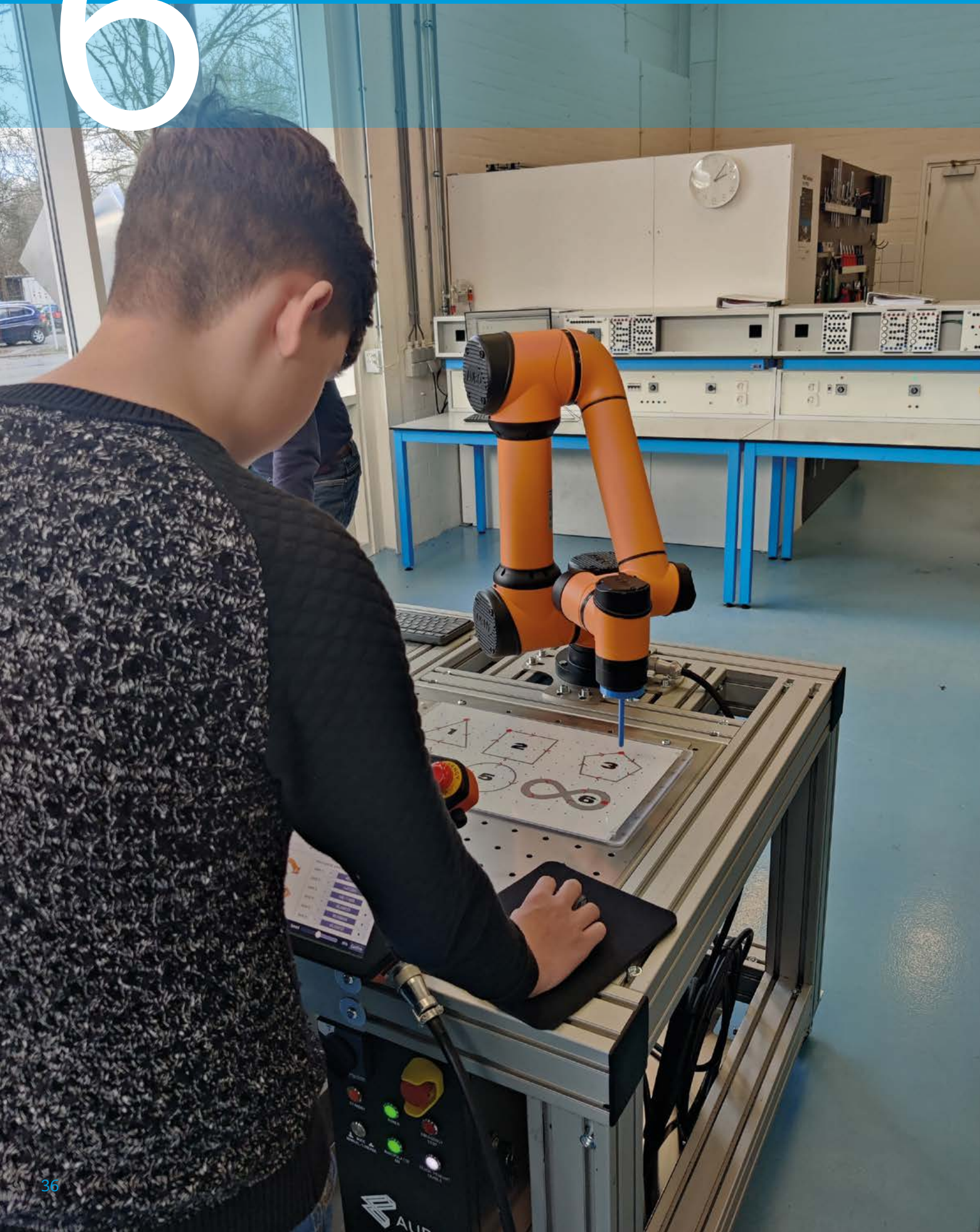
Dit hoofdstuk begon met de vraag hoe medewerkersbetrokkenheid bijdraagt aan waardevolle en langdurige mens-cobot samenwerking. Na het bouwen van een tweetal werkstations, een drietal scenario's en 40 experimenten bleek dat, in deze opstelling, mens-cobot samenwerking zich op verschillende manieren leent voor waardevolle productie van kleine series. Door de cobot mentaal belastend werk over te laten nemen kunnen taakverbeteringen gecreëerd worden. Dit soort taken dragen bij aan een hogere betrouwbaarheid. Het opvoeren van de cobot snelheid vergroot daarentegen de kans op minder taakhindernissen en meer taakversnellingen, uitmondend in een betere efficiëntie.

Daarnaast is een belangrijke tegenstelling gevonden wat betreft de houdbaarheid van de mens-cobot samenwerking. Zo heeft de hoeveelheid regelruimte gevolgen van het gevoel van autonomie. Veel regelruimte blijkt opnieuw belangrijk om het werk langdurig vol te kunnen houden³². Bij veel regelruimte komt echter de veiligheid onder druk te staan. Met name als de cobot snelheid boven die van mens uitkomt. Daarmee wordt nogmaals duidelijk dat het enkel optimaliseren van mens-cobot taakverdeling niet genoeg is. Belangrijk is om ook de gevolgen voor de werkbeleving goed in de gaten te houden en het belang om medewerkers hier goed in mee te nemen^{17,33}.

Uit dit experiment blijkt dat medewerkers wel degelijk een rol kunnen vervullen in de inrichting van een mens-cobot samenwerking. Dit vereist een beschikbare vraagbaak, gemakkelijke programmatuur en voldoende tijd. Het aanbrengen van de nodige kennis en vaardigheden is cruciaal voor een goede uitvoer van complexere regelruimtes, zoals het maken of wijzigen van cobot programmatuur. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op hoe een aantal mbo-instellingen hier inhoudelijk vorm aan heeft gegeven in hun onderwijsaanbod.

6

De ontwikkeling van cobot onderwijs



Uit hoofdstuk 5 blijkt dat onder specifieke voorwaarden onervaren cobot gebruikers in staat zijn om niet alleen een cobot te besturen maar ook naar eigen hand te zetten. Taakverdelingen en snelheden zijn snel aangepast en in een enkel geval wordt ook aan de programmatuur gesleuteld. Dit zijn welkome inzichten omdat die de suggestie wekken dat de klassieke rolverdeling tussen ‘cobot bestuurder’ en ‘cobot programmeur’ uit hoofdstuk 4 niet beton gegoten hoeft te zijn. In plaats daarvan lijkt een mix tussen beide rollen mogelijk. Productiemedewerkers die naast het besturen van de cobot ook, tot op zekere hoogte, de cobot programmeren. Voor maakbedrijven zou dit meer flexibiliteit op operationeel niveau betekenen doordat productiemedewerkers zelfredzamer zijn in het omstellen en verhelpen van (complexere) cobot storingen. Voor productiemedewerkers is het een mogelijkheid om beter in te spelen op eigen werkbehoeften. De vraag is wel hoe huidige en toekomstige productiemedewerkers voorbereid kunnen worden op deze gecombineerde rol van cobot bestuurder en cobot programmeur?

Om antwoord te kunnen geven op deze vraag, zijn eerst de twee competentieprofielen van cobot bestuurder en cobot programmeur uit hoofdstuk 4 verder uitgewerkt (Tabel 5). Er is vervolgens een zogenoemde ‘community of practice’ samengesteld waarin verschillende stakeholders op een gelijkwaardige manier generiek cobot onderwijs ontwikkeld hebben. Tot slot is met de community of practice een keuzedeel op mbo-niveau (van 240 uur) geselecteerd en van een hybride invulling voorzien. In dit hoofdstuk wordt op ieder van deze onderdelen specifiek ingegaan.

Cobot operators en cobot programmeurs

Wie zijn de cobot programmeurs en cobot operators en wat hebben ze nodig? In Tabel 5 wordt dit verder uitgewerkt. De tabel maakt inzichtelijk hoe cobot programmeurs, naast zeer inhoudelijke technische kennis, het productiesysteem integraal moeten overzien. De cobot operators, daarentegen, moeten vooral in staat gesteld worden om langdurig en naar behoren met de cobot (samen) te werken.

Tabel 5. Cobot programmeurs en -operators; wie zijn ze en wat hebben ze nodig?

	Cobot programmeurs	Cobot operators
Wie zijn ze?	De cobot programmeurs zijn in staat om te beslissen welke cobot toepassingen en gereedschappen het beste zijn gezien het beoogde productiesysteem, kunnen de bijbehorende programma’s ontwikkelen vanaf het begin, integreren de cobot met andere machines en apparaten, ontwikkelen sociale vaardigheden om operators hierbij te betrekken en te instrueren, en lossen complexe cobot-problemen op.	Deze cobot operators zijn bereid om met de cobot te werken, denken mee met cobot programmeurs over de toepassing, kunnen de cobot en zijn werkstation voorbereiden en onderhouden volgens instructies, kunnen problemen oplossen en cobot fouten communiceren, en zijn in staat om meerdere productiesystemen te managen.
Wat hebben ze nodig?	De cobot programmeur leert de eigenschappen van de cobot en specificaties van de gereedschappen, de programmeertaal, de cobot input en output management, en expert cobot probleem oplossen. Aansluitend leren ze hoe ze doorgrondige analyses maken van het productiesysteem en professionele gesprekken voeren hierover.	De operator leert hoe ze het control panel van de cobot kunnen gebruiken, het (dis)functioneren van de cobot, het inladen en uitladen, en basisproblemen met de cobot oplossen.

Investeren in ons menselijk kapitaal

Als basis voor het keuzedeel zijn de competenties als uitgangspunt genomen, waarvan we weten dat het belangrijke vaardigheden, kennis, houding en andere aandachtspunten zijn rondom mens-cobot samenwerking (zie hoofdstuk 3). Deze competenties komen op verschillende plaatsen terug in het keuzedeel en worden ook op verschillende manieren geleerd (bijv. door e-learning én door een praktijkopdracht). Op deze manier biedt het studenten meerdere mogelijkheden om kennis en ervaring op te doen met de cobot, waardoor ze zich zekerder voelen in het samenwerken met de cobot.

Daarnaast leren studenten in de werkvormen die zijn opgenomen in het keuzedeel, om met elkaar samen te werken als studenten onderling. Zo moeten studenten in kleine groepen van 3 a 4 studenten samenwerken aan vraagstukken / problemen die zich voordoen bij een cobot om vervolgens tot een passende oplossing te komen.

Een belangrijk aanvullend aspect is het leren communiceren met andere belanghebbenden in het bedrijf als het gaat om optimale mens-cobot samenwerking. Bijv. hoe bepaalde problemen worden omschreven en teruggekoppeld naar de ingenieur in het bedrijf, of het evt. herkennen van mogelijke problemen of kansen in het bedrijf om een cobot in te zetten. Door goede communicatie ontstaat er een gedeelde verantwoordelijkheid, en zijn ook de verwachtingen in het werk beter.

Ook docenten vormen tevens een belangrijke groep als het gaat om menselijk kapitaal waarin geïnvesteerd moet worden. De meeste docenten hebben (nog) geen ervaring in het samenwerken met cobots. Middels verschillende opdrachten en experimenten leren ook zij hoe een cobot functioneert, welke competenties op welk moment van belang zijn en hoe mens-cobot samenwerking eruit kan zien. Deze ervaringen zijn van belang, zodat zij ook hun studenten hierin kunnen ondersteunen.

Community of practice: samen onderwijs ontwikkelen voor de toekomst

Om de nodige competenties voor cobot operators te vertalen naar passend mbo 2 t/m mbo 4 onderwijs, is een zogenaamde *community of practice* gevormd. Ofwel een groep van 'gelijkgestemden' waarmee samen het onderwijs met cobots werd ontworpen en doorontwikkeld. De groep bestond uit zes mbo-docenten van twee verschillende mbo-onderwijsinstellingen en met verschillende achtergronden (mechatronica, ICT, lasertechniek), vier onderzoekers van twee onderzoeksgroepen (gespecialiseerd in HRM, Industrial Design, Mechatronica, en onderwijsontwerp), drie medewerkers uit technische bedrijven, en een cobot integrator. Deze diverse groep zorgde ervoor dat de nodige competenties toegevoegd werden aan het ontwerp van het onderwijs, en dat het aansloot bij de (toekomstige) werkpraktijk in de technische bedrijven waar een cobot ingezet wordt.

Waar het begon

Tijdens de eerste bijeenkomsten van de community of practice is gezamenlijk gesproken over de competenties die relevant zijn voor productiemedewerkers wanneer ze samenwerken met een cobot. Daarbij stonden twee vragen centraal: 1) hoe sluiten de cobot competenties aan op de voorkennis van studenten/medewerkers, en 2) welke *samenwerking* tussen de leden van de community of practice is wenselijk om de missende competenties bij te brengen middels onderwijs?

Een belangrijk aandachtspunt voor het ontwikkelen van het nodige cobot onderwijs, was om op effectieve wijze aansluiting te vinden bij het bestaande onderwijs. Daarom is besloten om aan te sluiten bij een 240 uur durend keuzedeel '*Werken met een industriële robot*' (K1050). Dit had twee voordelen: 1) het betreffende keuzedeel was reeds gecertificeerd en beschikte over duidelijke leerdoelen en examencriteria, waardoor meer aandacht besteed kon worden aan het ontwikkelen van de inhoud van de module, en 2) de leerdoelen en examencriteria van het betreffende keuzedeel lagen in lijn met de competenties die relevant

Contextuele aspecten die een rol spelen in de ontwikkeling van mens-cobot onderwijs voor het mbo:

- Belangrijke voorwaarde is dat het aansluit bij hetgeen in de samenwerkende bedrijven van de onderwijsinstelling gebeurt.
- Daarom is voor het ontwikkelen van de keuzemodule ook gekeken naar de huidige cobot-werkzaamheden in de samenwerkende bedrijven, welke type cobots worden gebruikt en welke ontwikkelingen zich voordoen.
- Omdat dit verschilt per bedrijf en per regio, is gekozen dat elke deelnemende instelling zijn eigen type toepassing van de cobot kiest (bijv. voor metaalbewerking of lasertechniek), wat ook weer bepalend is voor het type cobot waarmee gewerkt wordt en de bijbehorende programmeertaal.
- Het keuzedeel is om die reden algemeen ingestoken met overkoepelende kennis, vaardigheden en houdingen die studenten moeten leren als het gaat om de samenwerking met de cobot. En wordt toegespitst op specifieke toepassingen van de cobot in de opdrachten, aansluitend van de focus van de regio en instelling. Daarbij wordt wel zo veel mogelijk aandacht besteedt aan de ruimte die een cobot biedt voor flexibele productie.

zijn voor productiewerkers die met een cobot gaan werken. Deze aansluiting zorgde ervoor dat er inhoud voor het keuzedeel ontwikkeld kon worden waarin studenten voorbereid worden voor mens-cobot samenwerking zonder de doelen en criteria van het bestaande keuzedeel geweld aan te doen. Om tot deze inhoud te komen zijn de bestaande leerdoelen over het werken met een industriële robot geoperationaliseerd en op maat gemaakt voor mens-cobot samenwerking. Vervolgens zijn deze leerdoelen gedifferentieerd naar mbo-niveau 2 t/m 4, en zijn de verschillen onderdelen van het keuzedeel vormgegeven (zie Tabel 6 voor een uitwerking hiervan).

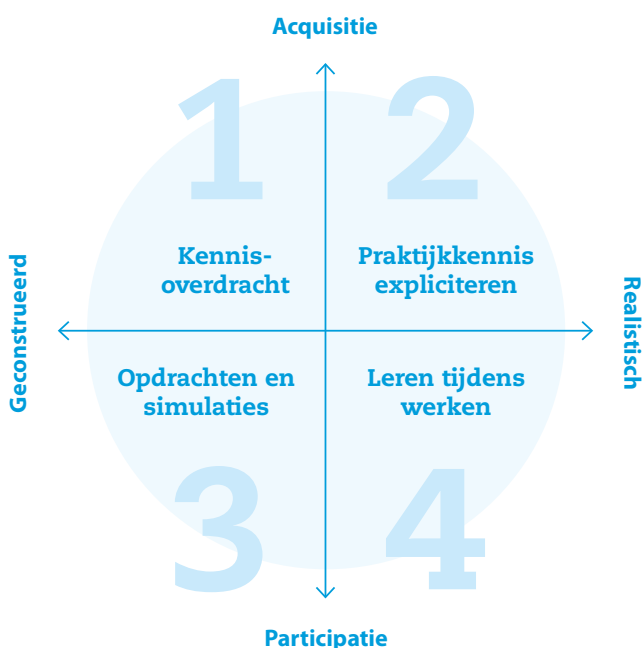
Belangrijke randzaken voor het aanbieden van onderwijs in cobots:

- Technische ondersteuning vanuit de leverancier van de cobot, wanneer er updates zijn of bij de uitwerking van bepaalde toepassingen. Zij kunnen optreden als expert op dat gebied.
- Het betrekken van docenten in het verkennen van de technische mogelijkheden van de cobot is cruciaal (functies uitproberen, simuleren van veelvoorkomende storingen en het gezamenlijk oplossen ervan); zodat de docent zelfstandig met de cobot aan de slag kan gaan.
- Ook het hebben van een community of practice; Zo vormen de betrokken docenten van de verschillende kennisinstellingen een groep waarmee ze ervaringen, toepassingen, kennis en opdrachten met elkaar uitwisselen. Zo wordt het onderwijs van de keuzemodule beter – nu en in de toekomst wanneer ook de cobot doorontwikkeld.

Leren en ontwikkelen dat aansluit bij de (toekomstige) werkpraktijk

Voortbouwend op de eerste inzichten rondom de nodige competenties van cobot operators en programmeurs, kon de inhoud van de module worden ontwikkeld. Vanwege de uiteenlopende kennis- en vaardigheidsdoelen, is een *hybride leeromgeving* de meest voor-de-hand-liggende onderwijsvorm. Een hybride leeromgeving is authentiek en gesitueerd, wat wil zeggen dat zoveel als mogelijk aangesloten wordt op de daadwerkelijke werkpraktijk en daar veel overeenkomsten mee hebben³⁴. Zo komt het beste van schools- en werkplekleren bij elkaar zonder ieders kracht te verliezen.

Figuur 4. Model voor hybride leeromgevingen³⁴.



Een hybride leeromgeving kent twee leerdimensies: 1) de eerste dimensie gaat over het leerproces dat ingebed is in het mbo-onderwijs, wat varieert van *acquisitie* (kennis wordt gezien als een gemeengoed die kan worden opgedaan, overgebracht en gedeeld) naar *participatie* (leren als een ontwikkeling om volledig onderdeel te zijn van een professionele omgeving). De tweede dimensie gaat over de *condities* waaronder het leerproces plaatsvindt in het mbo-onderwijs, welke varieert van *geconstrueerd* (dicht bij de werkpraktijk zoals casussen en simulaties) naar *realistisch* (in de werkpraktijk waar daadwerkelijk wordt deelgenomen aan authentiek werk). Deze twee dimensies resulteren in vier typen omgevingen, die idealiter gecombineerd worden aansluitend op hetgeen er ontwikkeld moet worden.

Deze vier typen hybride leeromgevingen zijn toegepast in het keuzedeel, zoals weergegeven in Tabel 6. In *onderdeel A* leren studenten over de cobots in het algemeen en de mogelijke applicaties in een klassikale setting. Denk aan voorbeelden, video's, MOOCs, verhalen. *Onderdeel B* wordt uitgevoerd in practica en een klassikale setting. Tijdens de practica zien studenten docent-gestuurde demonstraties om de functionaliteiten, het programmeren en de veiligheidsmaatregelen van de cobot te ervaren. In de klas werken de studenten aan online opdrachten om de cobot te programmeren. In *onderdeel C* werken studenten in practica, waarbij ze hun cobot competenties toepassen en verbeteren door samen te werken met een cobot. Dit wordt zowel gedaan met een nagebouwde lopende band uit een van de deelnemende bedrijven uit de regio, als in een ideale mens-cobot samenwerking setting die we kennen uit de voorbeelden.

Tabel 6. Uitwerking van het keuzedeel; inhoud en manier van leren.

Onderdeel	A: Een introductie op de mens-cobot samenwerking	B: Functionaliteiten van een cobot	C: Werken met een cobot en experimentele settingen
Inhoud	Basiskennis van de (verschillende soorten) cobots, een introductie op smart industry, verschillende typen robots/cobots, ethische vraagstukken over de impact van werk.	Basiskennis over het werken met een cobot, componenten van de cobot, basis programmeren (computational thinking), veiligheid en toepassing van de cobot in de werkpraktijk.	Samenwerken met een cobot in realistische omstandigheden, experimenteren met een zelfontworpen cobot toepassing, en het herkennen en oplossen van fouten met cobots.
Manier van leren per onderdeel	Geconstrueerde acquisitie (kennisoverdracht) Illustreren van theoretische concepten, deze concepten uitwerken in voorbeelden met afbeeldingen en video's. <i>Voorbeeld: e-learning over de nodige kennis van de cobot-onderdelen.</i>	Realistische acquisitie (praktijkkennis expliciteren) Een leerproces onder realistische omstandigheden, waarin kennis van het werk expliciet wordt gemaakt (reflecteren). <i>Voorbeeld: kleine opdrachten over het programmeren van de cobot, waarvoor theorie vertaald moet worden in de praktijk</i>	Realistische participatie (leren tijdens werken) Leren door ervaring op te doen on-the-job, op school of op de werkplek in het bedrijf. <i>Voorbeeld: afsluitende opdracht gebaseerd op een realistisch voorbeeld uit de werkplek of een korte stage. Of het oplossen van een vraagstuk bij de mens-cobot samenwerking.</i>
Doorlopende manier van leren	Geconstrueerde participatie (opdrachten en simulaties) Elementen van de rijke realiteit van de professionele werkpraktijk zijn aanwezig, maar niet volledig. Onderdelen zijn bijvoorbeeld weggelaten, makkelijker gemaakt of nagebootst. <i>Voorbeeld: (digitale) simulaties om het werken met een cobot te oefenen, of semigestructureerd opdrachten.</i>		

Oefenen met verschillende mate van mens-cobot interactie

Er zijn in de betrokken bedrijven verschillende mate van interactie tussen mens en cobot te zien in de toepassingen van de cobot in bedrijven. Het is goed om studenten te laten experimenteren met verschillende mate van interactie met de cobot en wat dat betekent voor zijn/haar rol en taken. Van weinig interactie (cobot werkt geheel zelfstandig) tot veel interactie (mens én cobot werken continu samen). Door hen deze verschillen ervaring op te laten doen, kunnen ze eenvoudiger aansluiten bij de context van de bedrijven waarin gewerkt wordt met een cobot (en wellicht ook wat nieuws inbrengen).

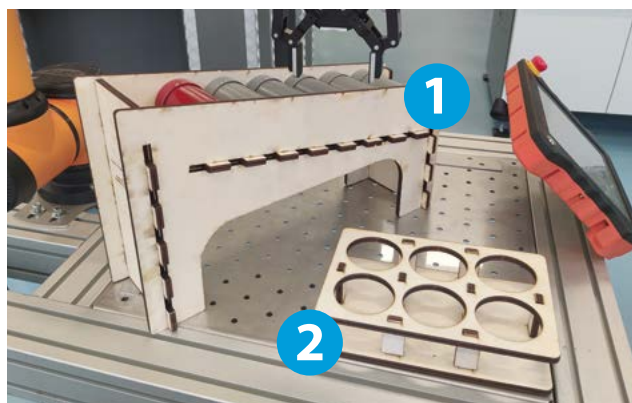
Werken aan een kritische houding en adequaat reageren op problemen

Een belangrijk onderdeel dat door het gehele keuzedeel gestimuleerd wordt, is de kritische houding van de student in het (samen)werken met de cobot. Door ook de veiligheidsaspecten duidelijk te bespreken en steeds terug te laten komen. Maar juist ook door de studenten te confronteren met verschillende (veelvoorkomende) problemen met de cobot. Zodat zij in staat zijn hier adequaat op te reageren en zo ergere problemen te voorkomen. Daarnaast worden studenten in de opdrachten ook uitgedaagd om na te denken over het verbeteren van mens-cobot opstelling ten gunste van het productieproces of de activiteit.

Hoe ziet dat eruit?

Een voorbeeld van een uitgewerkt practicum is de zogenoemde 'blikjesband opdracht' (zie Figuur 5). Hierin wordt van studenten gevraagd om blikjes van een aangeefband (1) in een kratje (2) te zetten met behulp van een cobot. Aan het begin zal het programma dat deze functies uit kan voeren klaar staan, zodat een student allereerst kan ervaren hoe het systeem werkt. Vervolgens wordt er gedurende de lessen uitgebouwd naar het volledig zelfstandig in elkaar zetten van een werkende programmatuur. Deze opdracht wordt tegen het einde van de keuzemodule aangeboden zodat al de opgedane kennis en ervaringen hierin toegepast kunnen worden.

Figuur 5. Potentiële opstelling blikjesbandopdracht.



In deze opdracht moet een student een aantal competenties kunnen toepassen. De competenties van een cobot operator en cobot programmeur overlappen hierin (zie Tabel 8). Deze competenties dienen op verschillende momenten toegepast te worden. Het vermogen om te plannen moet al in het begin ingezet worden; de student dient namelijk na te denken over hoe deze opdracht uitgevoerd moet worden én hoe deze opdracht in volgende lessen vervolgd kan worden. In dit plan denkt de student na over het volgende:

1. Op welke plek de aangeefband en het kratje worden klaargezet;
2. Kalibratie punten, zodat de student de volgende les verder kan waar die gebleven is;
3. Hoe zorgt de student ervoor dat alle blikjes straks in het kratje zitten;
4. Programmeren, in kaart brengen uit welke delen dit moet gaan bestaan;
 - De gripper naar de aangeefband verplaatsen
 - De gripper openen
 - De gripper bewegen naar het midden van het blikje
 - De gripper ver genoeg sluiten dat het blikje stevig vastgepakt wordt
 - Het verplaatsen van het blikje naar het kratje
 - Het blikje in het kratje plaatsen
 - De gripper openen en het blikje loslaten
 - De gripper van het blikje vandaan bewegen
 - ... en weer opnieuw, tot dat alle blikjes in het kratje staan.
5. Het afladen van het kratje en het opnieuw bevoorraden van de aangeefband.

Tabel 7. Benodigde competenties blikjesband opdracht.

Competentie	Rol
Programmeervaardigheden	Cobot programmeur
Mechanische kennis	Cobot operator
Hand-oog coördinatie	Cobot operator
Uitvoer en controle vaardigheden	Cobot operator
Reactievermogen	Cobot operator
Ruimtelijk oriëntatie	Cobot operator
Visualisatievaardigheden	Cobot operator
Planvermogen	Cobot operator
Zelfbeheersing	Cobot operator
Voorspellend vermogen	Cobot operator

Nadat dit plan is bedacht, gaat de student over tot uitvoering. In de voorbereiding, stap één, wordt van de student verwacht dat ze hand-oog coördinatie kunnen toepassen. Bij punt twee en drie wordt naast het vermogen om te plannen, ook om ruimtelijke oriëntatie en voorspellend vermogen gevraagd. Op het eerste gezicht lijkt het plaatsen van de blikjes in het krat redelijk vanzelfsprekend. Na de eerste paar blikjes zal de student echter in de problemen komen, er is vanaf het vierde blikje niet genoeg ruimte om de blikjes vanaf de aangeefband met een draaiing in het kratje te plaatsen. Bij het programmeren worden de mechanische kennis en de programmeervaardigheid aangesproken. Tijdens het testen en het uitvoeren van het programma worden uitvoer- en controlevaardigheden, reactievermogen, visualisatievaardigheid en zelfbeheersing aangesproken. In deze opdracht wordt geleerd met 'realistische acquisitie', omdat deze lijkt op wat de student in het bedrijfsleven kan tegenkomen. Het daagt de student uit om de opgedane theoretisch kennis om te zetten in praktische vaardigheden.

Samen testen met de (toekomstige) medewerkers/ studenten

Tijdens het ontwerpproces zijn verschillende mbo-studenten betrokken. Zodat zij konden nagaan of de inhoud, opdrachten en toepassingen van de cobot ook aansloten bij hun voorkennis en de al aanwezige kennis, vaardigheden en houding. Op deze manier werd ook inzicht verkregen in hoe mbo-studenten omgaan met de inhoud van het keuzedeel en na te gaan wat voor ondersteuning wenselijk is voor de docent. Uit deze sessies bleek dat de studenten het – in de meeste gevallen – vrij eenvoudig oppakten en de basisvaardigheden in het werken met een cobot snel onder de knie hadden (bijv. het activeren van het programma). Daarnaast bleek dat het behandelen van cobot-gerelateerde fouten erg leerzaam is en dit juist unieke kansen zijn voor studenten om het geleerde ook toe te passen in het werken met een cobot en zo problemen op te lossen. Het stimuleerde hen om met nieuwe ideeën te komen en voorzag in suggesties om de mens-cobot samenwerking te verbeteren. Uit deze testen kwam wel naar voren dat zowel studenten als docenten baat hebben bij heldere stappenplannen voor het samenwerken met de betreffende cobot die de onderwijsinstelling in huis heeft.

Conclusie

Er is veel geleerd gedurende het ontwikkelproces van een mbo-keuzedeel met de verschillende partners in de community. Lessen die kunnen dienen als handvatten voor anderen die ook vorm willen geven aan het voorbereiden van (toekomstige) productiemedewerkers op het (samen) werken met cobots. De belangrijkste aandachtspunten uit dit hoofdstuk worden hier kort aangestipt.

Gelijkwaardig opleiden voor mens-cobot samenwerking in flexibele productie

In de huidige toepassingen van cobots binnen bedrijven is vooral sprake van vaste opstellingen, die relatief eenvoudig zijn en voor weinig problemen zorgen. De uitdaging voor zowel bedrijven als het onderwijs is hoe nu al opgeleid kan worden voor mens-cobot samenwerking in flexibele productie. Voor onderwijsontwikkelaars moet het mes aan twee kanten snijden. Productiemedewerkers die mee kunnen komen in de huidige industriële realiteit, en tegelijkertijd klaargestoomd worden voor de industriële realiteit van morgen.

Het samenstellen van een diverse community of practice helpt daarbij. Enerzijds zijn er partijen nodig die nauw in contact staan met het bedrijfsleven of daar onderdeel van uit maken, zoals maakbedrijven en vakscholen. Anderzijds is het van belang om partijen te betrekken die de ontwikkelingen nauw op de voet volgen of daar actief aan bedragen; denk aan leveranciers, integrators en onderzoeksgroepen. Een samenwerking tussen de verschillende partners op basis van gelijkheid is daarbij voorwaardelijk; met de gedachte dat iedere partij een essentiële bijdrage levert aan de ontwikkeling van toekomstbestendig onderwijs. Aan initiatiefnemers van de community of practice de uitdaging deze gelijkwaardigheid te borgen.

Adaptief onderwijs dat eenvoudig in te bedden is

Onderwijsontwikkeling is een intensieve activiteit. Los van de inhoudelijke ontwikkeling komen er ook tal van administratieve en organisatorische handelingen bij kijken om het onderwijs in bestaande opleidingen in te bedden. Toch bleken er mogelijkheden te zijn om het aantal administratieve handelingen te beperken. Enerzijds door niet voor

vaste opleidingsmodules te kiezen, maar voor uitwisselbare eenheden te kiezen zoals keuzedelen of themaweken. En anderzijds door op zoek te gaan naar reeds geaccrediteerde onderwijseenheden (zoals een keuzedeel) en het te ontwikkelen onderwijs hieraan te verbinden. Zo bleek dat cobot onderwijs direct ondergebracht kon worden in keuzedelen op het gebied van industriële robotica.

Uit voorgaande hoofdstukken bleek dat de cobot techniek steeds in ontwikkeling is. Een belangrijke voorwaarde voor dit ontwikkelde onderwijs was dat het flexibel mee kan bewegen met deze ontwikkelingen. Daarom is gekozen voor hybride leeromgevingen waarbij het onderwijs zo wordt vormgegeven dat het zo veel mogelijk aansluit op de werkpraktijk. Hetgeen tevens betekent dat zowel de theorie en praktijkmaterialen als ook de docenten in een constante ontwikkeling zijn om die aansluiting te vinden en te behouden.



7

Conclusie, aanbevelingen en vervolg



In dit laatste onderdeel worden eerst een aantal conclusies gedeeld, en vervolgens de aanbevelingen. Tot slot worden er tien tips gepresenteerd voor wie direct wil beginnen met mens-cobot samenwerking in flexibele productiesystemen.

Mens-cobot samenwerking in de Nederlandse maakindustrie

In deze publicatie is de RoboTAO gepresenteerd, de weg van de robot, die een enthousiaste groep onderzoekers, docenten en praktijkexperts hebben afgelegd om antwoord te geven op de vraag hoe mens-cobot samenwerking er in de huidige Nederlandse maakindustrie uit ziet, wat dat vraagt van medewerkers en bedrijven en onder welke voorwaarden mens-cobot samenwerking in een flexibel productiesysteem mogelijk is. Nieuwe technologie implementeren in een bestaand productiesysteem is niet eenvoudig en er moet aan veel verschillende aspecten aandacht worden besteed, wil dit kans van slagen hebben³⁵. Om dat enigszins te structureren zijn de verschillende aspecten ondergebracht zoals in figuur 1 uit hoofdstuk 2 weergegeven.

Het begint met de vraag hoe er geproduceerd moet worden en hoe het betreffende productiesysteem eruitziet. Grotere series, maar wel fijnmechanisch en met medewerkers die technisch bekwaam zijn om complexere machines te bedienen? Dan kan er eigenlijk direct gestart worden met de huidige generatie cobots. Daar is de techniek goed genoeg voor, zo bleek uit hoofdstuk 3. Dit is dan ook hoe veel bedrijven nu tewerk gaan: zij zetten de cobot in op een vast station in de productie en laten de machine repeterende werkzaamheden uitvoeren. Bijvoorbeeld het beladen of lossen van een andere machine, controleren van producten, in- of uitpakken van dozen.

Duidelijk werd dat naarmate meer gereedschappen worden ingezet (grijpklauwen, lijmpistolen, camera's, etc.), of naarmate de handelingen die de cobot moet uitvoeren complexer worden, de uitdagingen exponentieel toenemen³⁶. Dat komt doordat het programmeren snel veel lastiger wordt, en doordat gereedschappen en cobot software niet altijd makkelijk samenwerken. Goede ingenieurs met programmeerkennis zijn vrijwel altijd nodig om de cobot opstelling aan de praat te krijgen.

Ook werd duidelijk dat productiemedewerkers heel verschillend ervaren hoe het samenwerken met zo'n cobot is. En dat dit sterk afhangt van hoe de cobot wordt geïntroduceerd, waar hij in het proces wordt opgesteld, welke taken de machine overneemt en welke taken er voor de productiemedewerkers overblijven en bijkomen. Want dat laatste is in dit type gebruik vrijwel steeds het geval. Worden productiemedewerkers goed betrokken vanaf het begin, worden ze goed begeleid en zorgen de ingenieurs er samen met de productiemedewerkers voor dat de opstelling het werk niet te hectisch of te complex maakt, dan blijken productiemedewerkers graag met deze machines te werken en het gebruiksgemak ervan te zien. Dan is er ook geen angst dat hun eigen werk in de verdrinking komt en blijken zij goed en alert hun eigen werk te kunnen doen en dat van de cobot te kunnen bewaken. Het omgekeerde is echter ook waar. Wordt te weinig aandacht besteed aan het 'meenemen' en laten meedenken van de productiemedewerkers in de ontwikkeling, is de machine sturend voor tempo en de aard van de werkzaamheden en is de ondersteuning te functioneel (gericht op werkend houden van de techniek alleen), dan vinden mensen de nieuwe techniek dwingend, vervelend en bedreigend en hebben ze al snel het gevoel dat hun arbeid wordt uitgehold en in kwaliteit achteruit gaat³⁷.

Benodigde competenties voor het werken met cobots

Wat moeten technici dan kunnen om een cobot aan de praat te krijgen en in bedrijf te houden (hoofdstuk 4)? Ingenieurs moeten tenminste de cobot techniek begrijpen, de machine kunnen programmeren, de juiste toepassing uitzoeken, de opstelling maken en implementeren en ervoor zorgen dat de machine foutloos draait. Beter nog als ze ook medewerkers kunnen instrueren en ondersteunen³⁸. De besten weten productiemedewerkers vroegtijdig te betrekken, te enthousiasmeren en zo te ondersteunen, dat zij meer kunnen dan alleen maar op de aan/uit knop drukken als er problemen zijn.

Productiemedewerkers hebben bij voorkeur affiniteit met techniek en een technische opleiding helpt. Maar ze zijn vooral bestuurders (operators) in deze context (hoofdstuk 4). Ze helpen de cobot om te functioneren met precies positioneren van

onderdelen, aanvullen van productievoorraad, tijdig verwerken van de productie, de cobot in de gaten houden en opnieuw opstarten indien nodig. Dat moet natuurlijk wel allemaal goed uitgelegd en aangeleerd worden. Daarnaast worden deze productiemedewerkers bij andere werkzaamheden ingezet, maar maak het niet te gek en zorg ervoor dat cobot en bestuurder in dezelfde fysieke omgeving werken.

Cobots en productiemedewerkers kunnen echter meer (hoofdstuk 5). Ze kunnen nauw samenwerken in directe interactie, daarvoor zijn de cobot veilig en productiemedewerkers competent genoeg, met korte omsteltijden door geprogrammeerde routines. Dat maakt de inzet van een cobot mogelijk bij kleinere series. Flexibel van product naar product, samen met ervaren productiemedewerkers produceren. Snel, consistent, met weinig fouten, door het benutten van de elkaar aanvullende kwaliteiten van mens en machine¹³.

Er zijn vier bedrijven gevolgd die dit hebben geprobeerd (hoofdstuk 3). Dan blijkt deze flexibele toepassing vooralsnog een brug te ver in normale productie omgevingen. De techniek is nu (2022) nog niet robuust en goed genoeg. Dat leidt ertoe dat het ontwikkelen van dergelijke mens-cobot interactie (te) veel vraagt van ingenieurs, heel snel heel erg complex wordt en noodzaakt om de omgeving uiterst stabiel en voorspelbaar te maken. Dat is weinig flexibel, maakt het samenwerken met mensen moeilijk en is ook storingsgevoelig. Zo'n opstelling leidt tot fouten, steeds weer opnieuw programmeren, veel frustratie bij alle partijen en resulteert uiteindelijk in matige resultaten. Mooi als experiment en om te begrijpen wat een cobot nu precies kan, maar nog niet goed genoeg voor een solide business case. Het zijn problemen waar menig cobot gebruiker tegenaan loopt³⁹.

Experimenteren met mens-cobot samenwerking

Toch gaat het daar wel naartoe. Er wordt door veel partijen aan gewerkt. In de experimenten zoals gedeeld in hoofdstuk 5 werden dergelijke mens-cobot samenwerking gerealiseerd. Dan wordt ook duidelijk wat dit vraagt van en oplevert voor ingenieurs en productiemedewerkers. De meerwaarde die

de cobot heeft in een flexibel productiesysteem zit voor productiemedewerkers vooral in het wegnemen van mentale belasting. De veranderlijkheid van flexibele productiesystemen stellen hoge eisen aan het werk- en denkvermogen van productiemedewerkers. Producten wisselen frequent en datzelfde geldt voor de productie-eisen waaraan voldaan moet worden (afmetingen, aantallen, bewerkingsvolgorde, etc.). Dit soort productiesystemen zijn daarmee lastiger te beheersen en de kans op menselijke fouten is aanzienlijk⁴⁰.

Een cobot kan dan helpen. Uit de experimenten bleek de meerwaarde door zoekacties uit te voeren, de bewerkingsvolgorde aan te geven en controles te doen – de mens deed het pak- en precisiewerk. Deze mens-cobot samenwerking biedt structuur en zekerheid, waardoor het werk langer volgehouden kan worden en er minder fouten worden gemaakt, dan wanneer mensen het werk alleen moeten doen.

Maar voor flexibele inzet moeten productiemedewerkers wel voldoende mogelijkheden hebben om zelf hun werk in te richten (regelruimte). In de afsluitende tien tips om met mens-cobot samenwerking aan de slag te gaan in flexibele productiesystemen wordt zichtbaar waarom dit eerst helder moet zijn. Productiemedewerkers moeten (mede) kunnen bepalen:

- Waar de cobot ingezet wordt.
- Welke hulpstukken aan de cobot gekoppeld worden.
- Welke taken de cobot uitvoert.
- Op welke volgorde de taken worden uitgevoerd.
- Hoe snel de cobot de taken uitvoert.
- Of de cobot tussentijds op pauze gezet kan worden.
- Hoe de opbouw van de cobot programma's eruitzien.
- Hoe de cobot onderhouden wordt.
- Welke cobot storingen zelf opgelost worden.

Naast deze regelruimte is het van belang dat er genoeg ondersteuning is om het werk goed in te richten en die regelruimte dus goed te kunnen benutten. Het werd duidelijk dat mensen, ongeacht hun opleidingsniveau en ervaring met robotica, instructies en assistentie nodig hebben om veilig en goed met een geprogrammeerde cobot samen te

kunnen werken. En hoewel het in eerste instantie lijkt dat ze weinig ondersteuning nodig hebben om te bepalen hoe de taakverdeling eruit kan zien en hoe snel de cobot kan werken, blijkt het toch belangrijk deze ondersteuning wél te bieden. Zo kunnen zelfoverschatting en veiligheidsproblemen voorkomen worden. Instructies en een toezien expert zijn extra relevant wanneer de cobot programma's inhoudelijk aangepast, aangevuld of opgebouwd mogen worden door medewerkers zelf. Het heeft wel even tijd nodig voordat iemand dat feilloos onder de knie heeft. Ook dat is opgenomen in de tien tips. In Tabel 8 zijn eveneens vier relevante ondersteuningsvormen opgesomd en uitgewerkt.

Tabel 8. Relevante ondersteuningsvormen

Ondersteuningsvorm	Onderdelen:
Beschikbare kennis	<ul style="list-style-type: none"> • Bedrijfsvisie op de inzet van de cobot • Gebruiksaanwijzingen • Veiligheidsinstructies
Beschikbare middelen	<ul style="list-style-type: none"> • Handleiding met (visueel) stappenplan
Werkplek assistentie	<ul style="list-style-type: none"> • Oproepbare cobot expert
Systeemintegratie	<ul style="list-style-type: none"> • Goedwerkende cobot hulpstukken • Passende en gebruiksvriendelijk cobot programma's

Voor maakbedrijven is een cobot implementeren in een flexibele productieomgeving als gezegd nu nog vooral een frustrerende bezigheid. Naarmate de techniek verbetert – en dan met name de programma techniek – zal ook dat verbeteren. Er wordt in de toekomst meer gevraagd van technici in maakbedrijven dan het programmeren en implementeren van cobots in bestaande systemen. Er komt een hele nieuwe set ontwerp specificaties bij; Die gericht is op de verdeling van taken tussen de cobot en de mens,

en de mens-cobot productie-eenheid zo ontwerpt dat daadwerkelijk de kwaliteiten van beiden optimaal benut worden. Mensgericht ontwerpen, waarbij ingenieurs niet vóór maar ook mét productiemedewerkers ontwerpen. Het vraagt om zowel productiemedewerkers als ingenieurs die in staat zijn om de diepe productiekennis te oogsten, te doorgronden en te gebruiken in het ontwerp van deze nieuwe flexibele productie-eenheden⁴¹. Met daarbij voldoende oog voor de werkbeleving. Dat is niet makkelijk.

De ontwikkeling van cobot onderwijs

In dit project werd duidelijk dat onderwijs een sleutelrol speelt om de technici van nu en die van de toekomst voor te bereiden op een werkrealiteit met cobots (hoofdstuk 6). Zoals eerder genoemd, zijn vaste opstellingen relatief goed vertegenwoordigd in het bedrijfsleven, welke relatief eenvoudig te realiseren zijn en zorgen voor weinig problemen. De uitdaging zit echter in het (meer) zelfstandig kunnen uitwisselen van het ene product naar het anderen, het wisselen tussen verschillende bewerkingen in de productie én het zien van de (on)mogelijkheden tot samenwerking tussen mens en cobot. Om hierin te kunnen voorzien, waren een aantal kenmerken van belang bij het kunnen ontwikkelen van passend onderwijs. Allereerst is een consortium samengesteld waarin – middels een community of practice – verschillende bedrijven bijeenkwamen en gelijkwaardig samenwerkten. Middels deze community ontstond de mogelijkheid om het ontwikkelde onderwijs maximaal aan te sluiten bij de (toekomstige) werkpraktijk, welke up-to-date is en eenvoudig kan mee veranderen met nieuwe innovaties en technologieën rondom cobots. Vanuit deze waardevolle basis is de keuze gemaakt om onderwijs te ontwikkelen gericht op de cobot bestuurder (mbo), omdat juist in deze rol veel zal veranderen in de nodige competenties om een optimale mens-cobot samenwerking in flexibele productie te kunnen realiseren. Het onderwijs moet daarbij studenten o.a. stimuleren om kritisch na te denken, oplossingsgericht te werken en uitdagen om de competenties te ontwikkelen waarbij zowel aandacht is voor het besturen als het programmeren van cobots. Vanuit deze behoefte is gekozen om een keuzedeel (240u) vorm te geven die eenvoudig in te passen is in verschillende technische opleidingen, en deze als een hybride leeromgeving te ontwikkelen. Wederom vanwege de nauwe betrokkenheid met het bedrijfsleven en de technologische ontwikkelingen op het gebied van cobots. Studenten worden dan maximaal voorbereid op het werken met cobots, zowel nu als in de toekomstige mens-cobot samenwerking.

Tien tips

In de inleiding werden tien tips beloofd voor wie direct wil beginnen. Het zijn tips voor managers, technici, HR professionals en (techniek)docenten die (gezamenlijk) met

mens-cobot samenwerking in flexibele productie aan de slag willen gaan; hoewel het ook nuttig kan zijn voor beleidsmakers en onderzoekers. De tips zijn weergegeven in het overzicht aan het einde van dit hoofdstuk. In de volgende alinea's worden de tien tips verder toegelicht. Om de leesbaarheid te bevorderen zijn de thema's in drie groepen geclusterd: samenstelling van het projectteam, duidelijke verwachtingen, en aan de slag.

Samenstelling van het projectteam

Mens-cobot samenwerking is een zodanig complex thema dat verschillende expertises nodig zijn (tip 1 t/m 4). Het is verstandig de expertise van ingenieurs, (technisch) bedrijfskundigen en HR-professionals in een projectteam te bundelen dat door het (top) management wordt gesteund. Om ervoor te zorgen dat de mens-cobot samenwerking goed aansluit op de huidige productie en kennis, is het van belang dat deze niet voor maar mét de productiemedewerker ontworpen wordt. Door productiemedewerkers, of een deel daarvan, vanaf het eerste moment aan te laten sluiten in het projectteam verkleint de kans dat de mens-cobot samenwerking niet aansluit op de kwaliteiten van de eindgebruikers. Degenen die er uiteindelijk ook mee gaan werken. Verder kan het projectteam versterkt worden met externe partijen die ervaring hebben met cobot implementaties. Denk aan onderzoeksgroepen, onderwijsinstellingen of andere productiebedrijven. Tot slot kan het projectteam versterkt worden met studenten, zoals stagiairs of afgestudeerden. Die kunnen, afhankelijk van hun achtergrond, in een relatief korte tijd een afgebakend deel van de implementatie ontwikkelen en zijn niet duur.

Duidelijke verwachtingen

Een aantal tips gaan in op het scheppen van duidelijke verwachtingen (tip 5 t/m 7). De veelzijdigheid van het thema en het projectteam vragen om heldere afspraken tussen de verschillende projectleden: wie is waarvoor verantwoordelijk, wanneer worden deze verantwoordelijkheden waargemaakt en hoe spreekt men elkaar aan op verantwoordelijkheden. Het is de basis van samenwerken, maar essentieel om goed en langdurig met elkaar aan de slag te kunnen. Daarbij is het van belang dat er overeenstemming komt over het uitgangspunt, oftewel: hoe ziet de beoogde mens-cobot samenwerking eruit? Op welke afdeling speelt deze samenwerking zich af?

Hoe ziet de taakverdeling eruit? Wat is de beoogde toegevoegde waarde? Stel een specifieke beschrijving op en verzamel (of maak) beeldmateriaal dat het uitgangspunt illustreert. En zoals eerder aangegeven, wees kritisch en realistisch over de technische kwaliteiten en mogelijkheden van de cobot techniek. Alle leveranciers schetsen een mooi eindresultaat, maar niemand schetst de weg er naartoe. Zoals eerder gedeeld kunnen cobots lastiger in te zetten zijn dan vooraf voorzien werd. Neem daarom vooral contact op met onafhankelijke partijen die ervaring hebben met de beoogde toepassing.

Aan de slag

De laatste tips gaan in op het toewerken naar de beoogde mens-cobot samenwerking (tip 8 t/m 10). Daarbij is het belangrijk om voldoende tijd te reserveren om experimenteren en, wederom, de productiemedewerker te betrekken. Het uitgangspunt is: simpel beginnen en gaandeweg complexer maken. Door simpel te beginnen kunnen er relatief snel eenvoudige successen geboekt worden. Simpel beginnen kan bijvoorbeeld een makkelijk te pakken product vanuit een mal naar een andere mal te verplaatsen. Vanuit de ervaring met de hardware en de software die hiermee wordt opgedaan kunnen moeilijkere producten toegevoegd worden of complexere toepassingen geprobeerd worden, zoals een toepassing waarbij meer precisie nodig is. De productiemedewerkers bepalen, afhankelijk van hun rol in de beoogde samenwerking, het tempo waarmee de complexiteit opgevoerd wordt. Productiemedewerkers die ook als cobot programmeur gaan optreden moeten voldoende mee kunnen komen met de ingenieurs.

Het is van belang om het succes van de mens-cobot samenwerking niet alleen af te meten aan prestatieverbeteringen. Er is ook aandacht nodig voor de werkbeleving van de productiemedewerkers. Met speciale aandacht voor de fysieke en psychologische veiligheid van medewerkers. Welke risico's zijn er dat mens en machine elkaar raken en hoe kan ervoor gezorgd worden dat de alertheid van mensen op pijn blijft? Daar zit immers het grootste risico op ongelukken. Herontwerpen, veiligheidsinstructies, werkplekstickers, lichtsignalen, geluidssignalen en regelmatige afwisseling helpen om ongelukken te voorkomen.

Tot slot

Implementeren van een nieuwe technologie is niet simpel. Toch is het belangrijk om gewoon te beginnen. In deze publicatie staan de handvatten, maar belangrijker is dat een bedrijf eerst kennis maakt met deze nieuwe techniek, met de mogelijkheden en beperkingen ervan en met de uitdagingen die het biedt. Alleen zo worden een bedrijf en haar medewerkers toekomstbestendig.

Tien tips om met mens-cobot samenwerking in flexibele productie aan de slag te gaan

1

Stel een multidisciplinair projectteam samen

Breng naast technische ook bedrijfskundige en HR-experts bijeen in het projectteam.

6

Bepaal het uitgangspunt

Beschrijf de beoogde mens-cobot samenwerking en maak het visueel.

2

Betrek de eindgebruiker van begin tot eind

Zorg dat (een vertegenwoordiging van) productie-medewerkers vanaf het eerste moment kunnen meedenken en meedoen door ze op te nemen in de projectorganisatie.

7

Wees kritisch op de technische kwaliteiten van de cobot techniek

Krijg grip op de sterktes en tekortkomingen van de cobot techniek door contact op te nemen met onafhankelijke cobot gebruikers.

3

Benut bestaande partnerschappen of smeed nieuwe allianties

Maak verbinding met onderzoeksgroepen, onderwijsinstellingen of (partner)bedrijven die ervaring hebben met cobots.

8

Bouw voldoende tijd in om te experimenteren

Investeer ruim de tijd om samen met productie-medewerkers een mens-cobot samenwerking te ontwerpen, te testen en te verbeteren: begin simpel en bouw de complexiteit op.

4

Zet in op studententeams, stagiairs of afstudeerders

Stel een of meerdere studenten aan om specifieke onderdelen van de cobot implementatie door te ontwikkelen.

9

Kijk verder dan de prestaties

Borg dat productiemedewerkers de samenwerking met de cobot aan willen gaan, aan kunnen gaan en volhouden.

5

Maak duidelijke afspraken onderling

Word het eens over de rol die iedere stakeholder heeft en welke verwachtingen daarbij horen.

10

Houd de mens-cobot samenwerking veilig

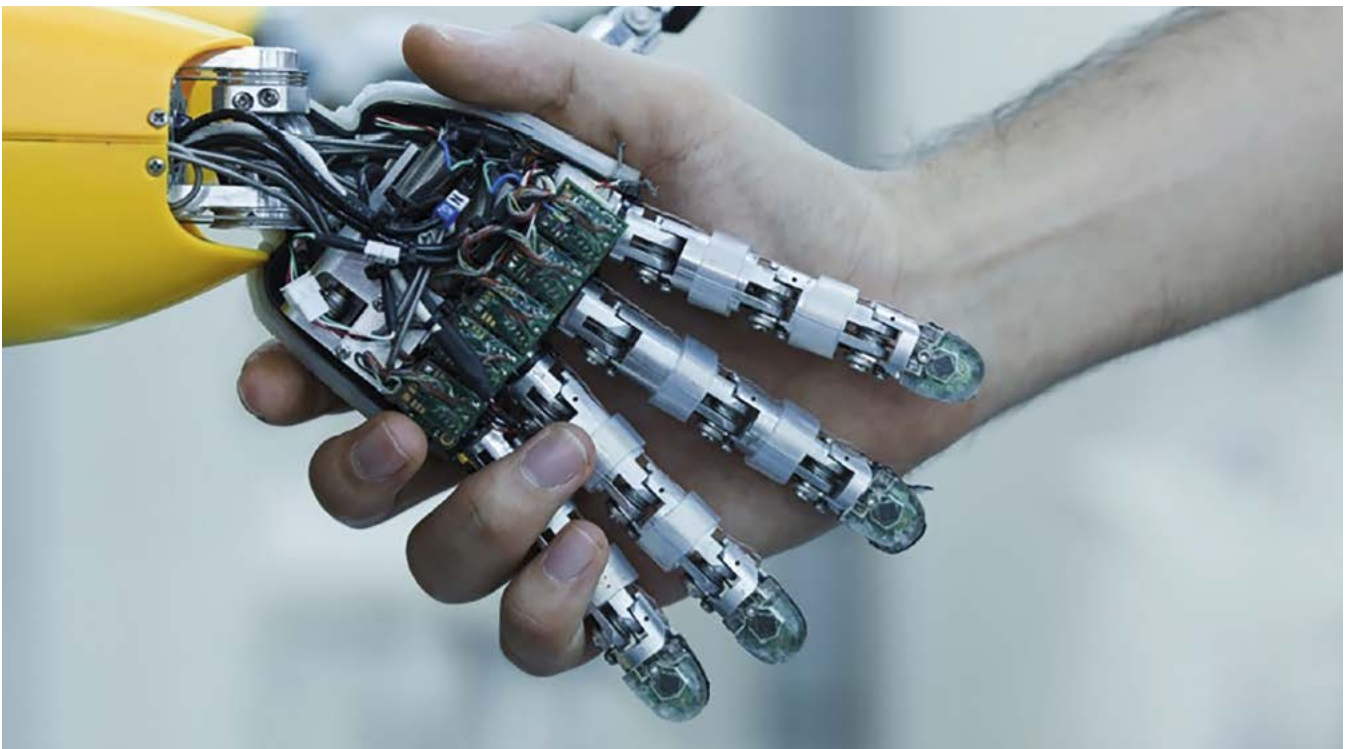
Breng fysieke en mentale veiligheidsrisico's waar productie-medewerkers aan blootgesteld kunnen worden in kaart en neem passende tegenmaatregelen.

Het vervolg

Er wordt op vier manieren vervolg gegeven aan het onderzoeksprogramma van RoboTAO:

1. De betrokken onderwijsinstellingen hebben de handen ineen geslagen om een gezamenlijke TechYourFuture Massive Open Online Course (MOOC) te maken. De MOOC, met als titel '*Samen*werken met een cobot', leidt techniekstudenten (mbo 2 t/m 4) op tot cobot bestuurder én cobot programmeur.
2. Er wordt vervolg gegeven aan het cobot experiment dat is gedaan. In een verbeterde opstelling wordt onderzocht in hoeverre opleidingsniveau van invloed is op de hoeveelheid regelruimte en ondersteuning die een productiemedewerker wil. Het experiment is onderdeel van een te verschijnen dissertatie over mens-cobot samenwerking in flexibele productie.
3. Binnen SMEOT (Stichting Metaal-Elektro Opleidingen Twente) worden cobots, die zij inmiddels ook zelf hebben aangeschaft, gebruikt voor zowel eigen studenten als voor vmbo-studenten. Door Robotica met ingang van het schooljaar 2022-2023 als volwaardig keuzevak aan te beiden binnen het technisch vmbo, wordt een mooie doorlopende leerlijn vmbo-mbo-hbo gecreëerd.
4. Begin 2022 is een RAAK-MKB project (Regieorgaan SIA) gelanceerd: RAAK samenwerken met robots. Het project richt zich op robot en cobot implementatie in het technisch MKB. De kennis vanuit deze publicatie vormt de basis voor het project.

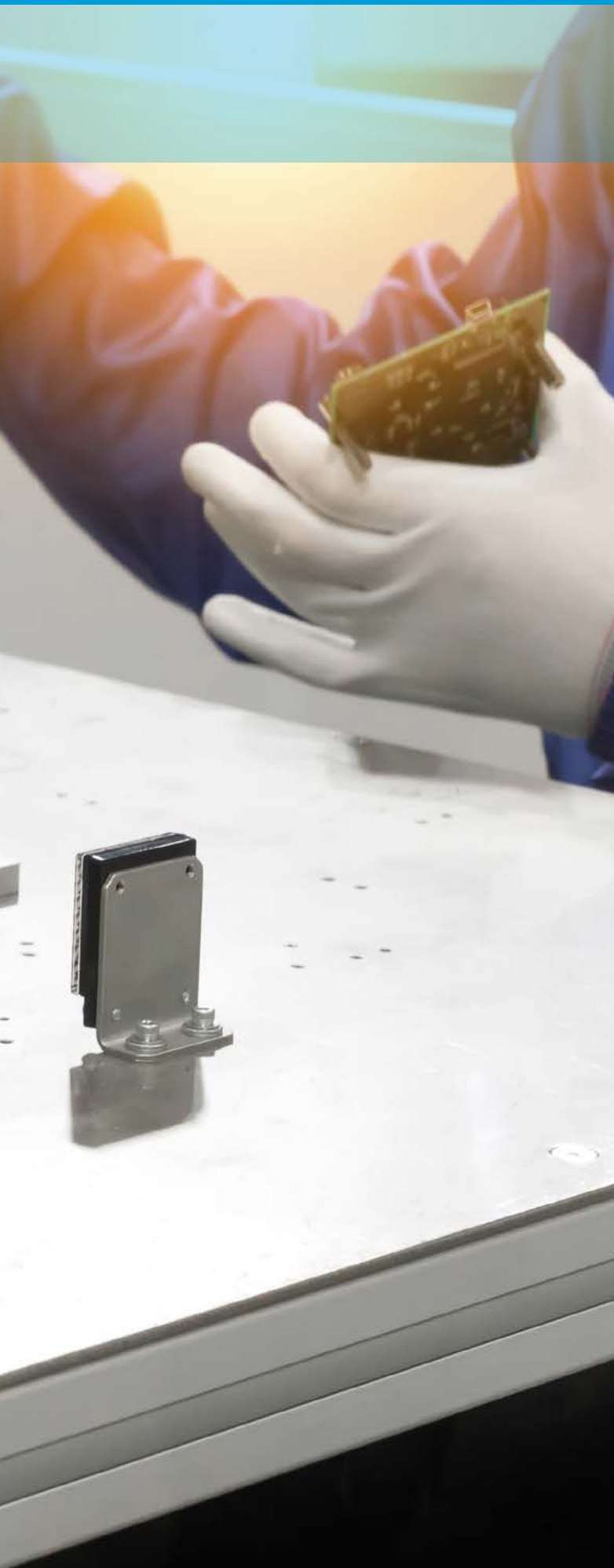
RoboTAO heeft vanaf de start de focus op de langere termijn gehad. De ontwikkelingen volgen elkaar snel op en de impact reikt inmiddels verder dan de eerste partners in dit project. De gelijkwaardige samenwerking wordt als voordelig gezien voor dit succes dat onverminderd voortduurt. Hopelijk is het inspirerend voor toekomstige initiatieven tussen (v)mbo, hbo en bedrijfsleven.





Meer weten?





Algemene informatie

Op de [projectpagina van RoboTAO](#) bij TechYourFuture zijn alle laatste inzichten uit het project te vinden.

Publicaties

- [Samenwerken met een cobot: Milan Wolffgramm onderzoekt hoe dat binnenkort kan](#) (Saxion Hogeschool, 2020).
- [Wetenschappelijk artikel 'A Collaborative Robot in the Classroom: Designing 21st Century Engineering Education Together'](#) (Journal of Higher Education Theory and Practice, 2021).
- [Wetenschappelijk artikel 'De robotarm als collega: Aan de slag met mensgerichte techniek-implementatie'](#) (Tijdschrift voor HRM, 2021).

Video

[RoboTAO: de zoektocht naar een succesvolle mens-cobot samenwerking](#) (2021).

Impactinterviews

- [RoboTAO: samenwerking tussen studenten en bedrijven](#) (2019).
- [RoboTAO: over samenwerking tussen mens en cobot](#) (2019).
- [RoboTAO: kruisbestuiving tussen bedrijven, opleidingen en onderzoeksveld](#) (2020).
- [RoboTAO: sterker cobot-onderwijs door gelijkwaardige samenwerking mbo-hbo en bedrijfsleven](#) (2021).

Webinar

'[De Cobot in het onderwijs](#)'; een eerste kennismaking met mens-cobot interactie in het bedrijf (2020).

Podcast

Eén van de afleveringen van de podcast '[Een kwartier praktijkgericht onderzoek](#)' (2021) gaat over samenwerken met cobots. Luuk Collou en Tom Morssink gaan in gesprek met Milan Wolffgramm en Lisa Winkelman.



**Bekijk de
projectpagina:**



Bijlagen 1: Beschrijving maakbedrijven RoboTAO

In deze bijlage zijn korte beschrijvingen gegeven van de vier bedrijven die tijdens het project RoboTAO gevolgd zijn tijdens hun cobot implementaties. Daarnaast is in Tabel 8 een overzicht gegeven per bedrijf ten aanzien van productieproces, cobot techniek, inrichting mens-cobot samenwerking en de prestaties daarvan.

Bronkhorst High-Tech

Bronkhorst, gevestigd in Ruurlo, ontwikkelt en produceert sinds 1981 flowmeters en -regelaars. Met meer dan 500 werknemers en verkoopfilialen in Europa, de VS en Azië is het een wereldwijd actieve organisatie die zowel standaardproducten als maatwerkoplossingen biedt. Daarnaast heeft Bronkhorst een complementair netwerk van distributeurs en servicestations buiten Nederland opgebouwd, waarbij lokale expertise en service wordt aangeboden. Meer informatie is te vinden op www.bronkhorst.com



Benchmark Electronics

Benchmark heeft 25 vestigingen in Europa, Amerika en Azië met meer dan 13.000 werknemers. De vestiging in Almelo telt 500 productiemedewerkers en een ontwikkelteam van 130 engineers. Als contract manufacturer biedt dit bedrijf technologische oplossingen aan klanten uit verschillende sectoren. De producten die Benchmark fabriceert op locatie zijn voornamelijk kleine series en prototypen. Klanten kunnen ook voor alleen het ontwerp van producten bij Benchmark terecht. Meer informatie is te vinden op www.bench.com/almelo-the-netherlands

Suplacon Plaatbewerking

Suplacon, gevestigd in Emmeloord, is meer dan 40 jaar gespecialiseerd in de toelevering van plaatwerkproducten en metaalconstructies. Ook verzorgen zij oppervlaktebehandelingen en assemblage. Elke week levert dit bedrijf van ruim 80 medewerkers meer dan 1000 verschillende producten aan ruim 400 klanten door heel Nederland. Meer informatie is te vinden op www.suplacon.com



Gerimex

Gerimex, gevestigd in Hengelo, richt zich al meer dan 50 jaar op de productie van ponsnippels, snijbussen en kernpenen voor stempelmakerijen en matrijzenbouw. Gerimex produceert met ruim 30 werknemers in zowel grote, als kleine aantallen voor opdrachtgevers uit verschillende sectoren. De afnemers van dit familiebedrijf bevinden zich hoofdzakelijk in Europa. Meer informatie is te vinden op www.gerimex.com

Tabel 10. Overzicht kenmerken van bedrijven.

	Bronkhorst	Benchmark	Suplacon	Gerimex
Productieproces				
<i>Productietype:</i>	Assemblage	Assemblage	Productie van onderdelen	Productie van onderdelen
<i>Productvolume:</i>	Kleine series	Kleine series	Grotere series	Grote en kleine series
Cobot techniek				
<i>Type cobot:</i>	Aubo I5	ABB YUMI	UR10	UR5
<i>Cobot tooling:</i>	Vacuüm zuiger	Grijpklauwen, vacuüm zuigers, onboard camera	Lasapparaat, boor	Grijpklauw
Inrichting mens-cobot samenwerking				
<i>Soort opstelling:</i>	Demonstrator	Demonstrator	In productie	Demonstrator
<i>Taak cobot:</i>	Ringen stapelen	Producten assembleren	Soevereinen en tappen van gaten	CNC machine beladen en lossen
<i>Gevolgen taakuitvoer:</i>	Verbeterend	Verbeterend	Versnellend	Versnellend (verwachting)
Prestaties mens-cobot productie-eenheid				
<i>Gevolgen prestaties:</i>	Geen business case, wel veel ervaring opgedaan	Geen business case, cobot getransporteerd naar buitenlandse vestiging	Business case bereikt, nieuwe cobot toepassingen worden verkend	Business case is in ontwikkeling

Bijlage 2: Literatuurlijst

1. CBS. (16 mei 2022). *Vacaturegraad naar bedrijfstak*. Geraadpleegd op 17 juli 2022, van https://www.cbs.nl/item?sc_itemid=34b4b333-0068-410b-bc39-6798674fb524&sc_lang=nl-nl
2. CBS. (9 mei 2022). *Werkgelegenheidsstructuur*. Geraadpleegd op 17 juli 2022, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-arbeidsmarkt/banen-werkgelegenheid/toelichtingen/werkgelegenheidsstructuur>
3. UWV. (3 februari 2022). *Moeilijk vervulbare vacatures en behoud van personeel: ervaringen werkgevers*. Geraadpleegd op 17 juli 2022, van https://www.werk.nl/imagesdxa/moeilijk_vervulbare_vacatures_en_behoud_van_personeel_tcm95-435687.pdf
4. Corporaal, S., Vos, M., van Riemsdijk, M., & de Vries, S. (2018). Werken in de nieuwe industriële revolutie Verwachtingen van werkgevers in de techniek over de werknemer van de toekomst. *Tijdschrift voor HRM*, 21(2), 20-44.
5. Malik, A. A., & Bilberg, A. (2019). Developing a reference model for human–robot interaction. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13(4), 1541-1547.
6. Calitz, A. P., Poisat, P., & Cullen, M. (2017). The future African workplace: The use of collaborative robots in manufacturing. *SA Journal of Human Resource Management*, 15(1), 1-11.
7. Statista Research Department (20 mei 2022). *Size of the collaborative (cobot) robot market worldwide in 2020 and 2021, with a forecast for 2022 to 2030*. Geraadpleegd op 17 juli 2022, van <https://www.statista.com/statistics/748234/global-market-size-collaborative-robots/#:~:text=According%20to%20the%20consulting%20group,billion%20U.S.%20dollars%20in%202026>.
8. Mohr, B. J., & Dessers, E. (2019). Designing from a socio-technical systems perspective. In *Designing Integrated Care Ecosystems* (pp. 25-48). Springer, Cham.
9. Siegert, J., Schlegel, T., Zarco, L., Miljanovic, B., Meyke, A., & Bauernhansl, T. (2020). Ultra-flexible Factories: An Approach to Manage Complexity. *Procedia CIRP*, 93, 329-334.
10. Djuric, A. M., Urbanic, R. J., & Rickli, J. L. (2016). A framework for collaborative robot (CoBot) integration in advanced manufacturing systems. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(2), 457-464.
11. El Zaatari, S., Marei, M., Li, W., & Usman, Z. (2019). Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview. *Robotics and Autonomous Systems*, 116, 162-180.
12. Emeric, C., Geoffroy, D., & Paul-Eric, D. (2020). Development of a new robotic programming support system for operators. *Procedia Manufacturing*, 51, 73-80.
13. Johnson, M. (2014). *Designing Support for Interdependence in Human-Robot Teamwork* (Disseratie).
14. Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.
15. Kuipers, H., van Amelsvoort, P., Kramer, E. H., & Leuven, A. (2010). *Het nieuwe organiseren*. Leuven: Acco.
16. Parker, S. K., Morgeson, F. P., & Johns, G. (2017). One hundred years of work design research: Looking back and looking forward. *Journal of applied psychology*, 102(3), 403.
17. Parker, S. K., Andrei, D. M., & Van den Broeck, A. (2019). Poor work design begets poor work design: Capacity and willingness antecedents of individual work design behavior. *Journal of Applied Psychology*, 104(7), 907.

18. Jacobs, R. L. (2019). *Work analysis in the knowledge economy*. Palgrave Macmillan.
19. Zhao, F., Henrichs, C., & Mutlu, B. (2020). Task interdependence in human-robot teaming. In *2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 1143-1149. IEEE.
20. Decuyper, S., Dochya F., Van den Bossche, P. (2010). Grasping the dynamic complexity of team learning: An integrative model for effective team learning in organisations. *Educational Research Review*, 5, 111–133.
21. Morgeson, F. P., & Humphrey, S. E. (2006). The Work Design Questionnaire (WDQ): developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. *Journal of applied psychology*, 91(6), 1321.
22. Berkers, H. A., Rispens, S., & Le Blanc, P. M. (2022). The role of robotization in work design: a comparative case study among logistic warehouses. *The International Journal of Human Resource Management*, 1-24.
23. Endsley, M. R. (2017). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. In *Situational awareness* (pp. 9-42). Routledge.
24. Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human factors*, 52(3), 381-410.
25. Reichenback, J. (2015). *Human Performance Consequences of Automated Decision Aids: The Impact of Degree of Automation, System Experience, and Operator Functional State* (Dissertatie).
26. Realyvásquez-Vargas, A., Arredondo-Soto, K. C., García-Alcaraz, J. L., Márquez-Lobato, B. Y., & Cruz-García, J. (2019). Introduction and configuration of a collaborative robot in an assembly task as a means to decrease occupational risks and increase efficiency in a manufacturing company. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 57, 315-328.
27. Sherwani, F., Asad, M. M., & Ibrahim, B. S. K. K. (2020, March). Collaborative robots and industrial revolution 4.0 (ir 4.0). In *2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)*, 1-5. IEEE.
28. Schraeder, M., Swamidass, P. M., & Morrison, R. (2006). Employee involvement, attitudes and reactions to technology changes. *Journal of Leadership & Organizational Studies*, 12(3), 85-100.
29. Mumford, M. D., & Peterson, N. G. (1999). The O*NET content model: Structural considerations in describing jobs. In N. G. Peterson & M.D. Mumford (Eds.), *An occupational information system for the 21st century: The development of O*NET* (pp. 21–30). Washington, DC: American Psychological Association.
30. O*NET. (2020a). O*Net Online Summary Report for: 17-2199.08 - Robotics Engineers. Geraadpleegd op 17 juli 2022, van: <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2199.08>.
31. O*NET. (2020b). O*Net Online Summary Report for: 51-9111.00 - Packaging and Filling Machine Operators and Tenders. Geraadpleegd op 17 juli 2022, van: <https://www.onetonline.org/link/summary/519111.00>.
32. Karasek Jr, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative science quarterly*, 285-308.
33. Langfred, C. W. (2004). Too much of a good thing? Negative effects of high trust and individual autonomy in self-managing teams. *Academy of management journal*, 47(3), 385-399.
34. Zitter, I., & Hoeve, A. (2012). *Hybride leeromgevingen: Het verweven van leer- en werkprocessen*. Utrecht/'s-Hertogenbosch: Expertisecentrum Beroepsonderwijs.

35. Didiot-Cook, H. (2013). From enthusiasm to strategy: Four critical factors to sustain the development of technology enhanced learning in educational organisations. *In Proceedings of 6th International LINC Conference MIT*.
36. Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Raily, P., & Scholz, P. (2016). *Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! – Examining companies’ initial experiences with lightweight robots*. Fraunhofer IAO: Stuttgart.
37. Rizzuto, T. E., & Reeves, J. (2007). A multidisciplinary meta-analysis of human barriers to technology implementation. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 59(3), 226.
38. Kumar, S., & Hsiao, J. K. (2007). Engineers learn “soft skills the hard way”: Planting a seed of leadership in engineering classes. *Leadership and management in engineering*, 7(1), 18-23.
39. Holm, M., & Schnell, M. (2022). Challenges for Manufacturing SMEs in the Introduction of Collaborative Robots. *In 10th Swedish Production Symposium (SPS2022)*, Skövde, April 26–29 2022 (pp. 173-183). IOS Press.
40. Malega, P., Rudy, V., Kanász, R., & Gazda, V. (2020). Decentralized optimization of the flexible production lines. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(3), 267-276.
41. Kadir, B. A., & Broberg, O. (2021). Human-centered design of work systems in the transition to industry 4.0. *Applied Ergonomics*, 92, 103334.

Auteurs

Milan Wolffgramm
Tom Tijink
Mirte Disberg – van Geloven
Lisa Winkelman
Stephan Corporaal

Vormgeving

Factor 12

September 2022

Deze publicatie is een uitgave van TechYourFuture: hét toonaangevende expertisecentrum voor leren en werken in Bèta & Technologie.

Publieke en private partners



Dit is een uitgave van TechYourFuture

TechYourFuture is een expertisecentrum dat zich richt op het professionaliseren van het onderwijs op het gebied van bèta, wetenschap en technologie en dat samen met het werkveld praktijkgericht onderzoek uitvoert.

We leggen de verbinding tussen onderwijs en bedrijfsleven met als doel: meer en betere technici.

www.techyourfuture.nl

**TECH
YOUR
FUTURE**

Centre of Expertise TechniekOnderwijs

Een initiatief van:
Hogeschool Saxion, Universiteit Twente,
Hogeschool Windesheim en ROC van Twente