

KUNNEN WIJ HET MAKEN?

Een essay over een Duurzame & Digitale Maakindustrie



let's change
YOU. US. THE WORLD.

Uitgesproken als intreerede (in verkorte vorm)
op 8 juni 2022 door dr. ir. Jenny Coenen,
lector Smart Sustainable Manufacturing
aan De Haagse Hogeschool.

DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Colofon

Tekst rede: Jenny Coenen

Teksten informatiekaders: Jenny Coenen, Rufus Fraanje, Wouter Hijink, Pim de Jong, Sander Limonard, Hugo Makkink, Edwin van Noort, Karin de Smidt-Destombes, David Tiemens, Mirjam Zijderveld

Foto's: Quinten van der Blonk en collectie lectoraat

Poster Ravi de Robot: Edwin Dertien, <https://edwindertien.nl/>

Logo RE/manufacturing Lab: Pim de Jong

Illustraties: Jenny Coenen en Pim de Jong (tenzij anders vermeld)

j.m.g.coenen@hhs.nl



Informatiekaders Smart Sustainable Manufacturing

1	Sleuteltechnologieën	9
2	Discrete manufacturing processen	9
3	De Smart Industrie Ambities	11
4	Extended Reality	13
5	Additive manufacturing	14
6	Industriële standaarden	16
7	Tagging	20
8	Product-Proces-Resource Structuur en de Asset Administration shell	21
9	Cyber-security	22
10	Status van Digitalisering bij MKB Maakbedrijven in Zuid-Holland	23
11	Toekomst van arbeid	24
12	Verandermanagement	24
13	R-ladder voor Circulaire Maakindustrie	29
14	'Right-to-Repair'	29
15	Disassembly Station	31
16	Learning Factories	34
17	Factory-as-a-Service	36
18	HoloLens workshops	37
19	Groot denken, klein beginnen in de 'Mini Factory'	39
20	AMR's in de machinehal	40
21	Circulaire Maakindustrie	41
22	Ravi-Robot van de Rommelmarkt	42



KUNNEN WIJ HET MAKEN?

Een essay over een Duurzame & Digitale Maakindustrie

Kunnen wij het maken? Hebben we alle kennis en puzzelstukken voor een gezonde maakindustrie wel in handen? Hoe beheersen we risico's in complexe maakprocessen? Hoe werken we samen in de keten? En wat moeten huidige en toekomstige engineers weten? Dat is een kant van de vraag. Maar ook: Kunnen wij dit eigenlijk wel maken? Hoe zit het met de verantwoordelijkheid ten aanzien van het klimaat en de wereld om ons heen? 'Can we fix it?': Wat moet er gebeuren op het vakgebied van 'repair' en 'remanufacture'? En tenslotte 'Can we make it?' Gaat ons dat lukken?

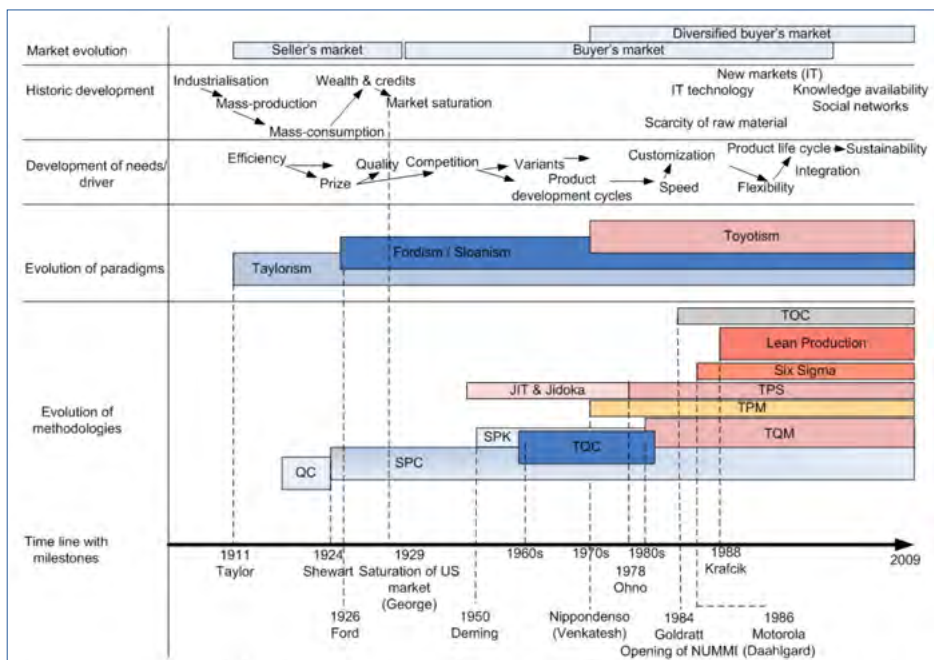
Voordat ik met u op zoek ga naar antwoorden op deze vragen wil ik u graag allen welkom heten: geacht College van Bestuur van De Haagse Hogeschool, vertegenwoordigers van de maakindustrie, collega's, studenten, oud-collega's, vrienden, familie, dames en heren. Wat ben ik blij dat jullie er zijn!

Een beetje over hoe het zo gekomen is. Oktober 2020 kreeg ik een telefoontje. Niet lang daarvoor had ik, in een opwelling en vlak voor sluitingstijd van de vacature, een sollicitatiebrief gestuurd naar De Haagse voor een positie als Lector 'Smart Sustainable Manufacturing'. Het gesprek ging ongeveer zo *"nou ja, we hadden je brief eigenlijk meteen bij het oud-papier gegoooid, we weten niet zo goed wat we met een scheepsbouwer aan moeten, maar kom toch maar even langs voor de zekerheid."*

Wat ik echter vanuit de scheepbouw meeneem, is een grondig besef dat complexe, speciale producten alleen op een goed georkestreerde manier binnen tijd en budget gebouwd kunnen worden. Dat een productieproces alleen functioneert als de afzonderlijke onderdelen goed op elkaar zijn afgestemd. Dat een goed product jaren mee moet en kan. Luister naar de klant. Dat de engineering ongelooflijk belangrijk is. Dat digitalisatie in productie een taai klusje is, waarin geen gemakkelijke keuzes bestaan. Dat verschillende disciplines elkaar keihard nodig hebben. Dat gegevens uitwisselen alleen werkt als je elkaars taal snapt. Een pittige klus, maar ik ga er iets van maken.

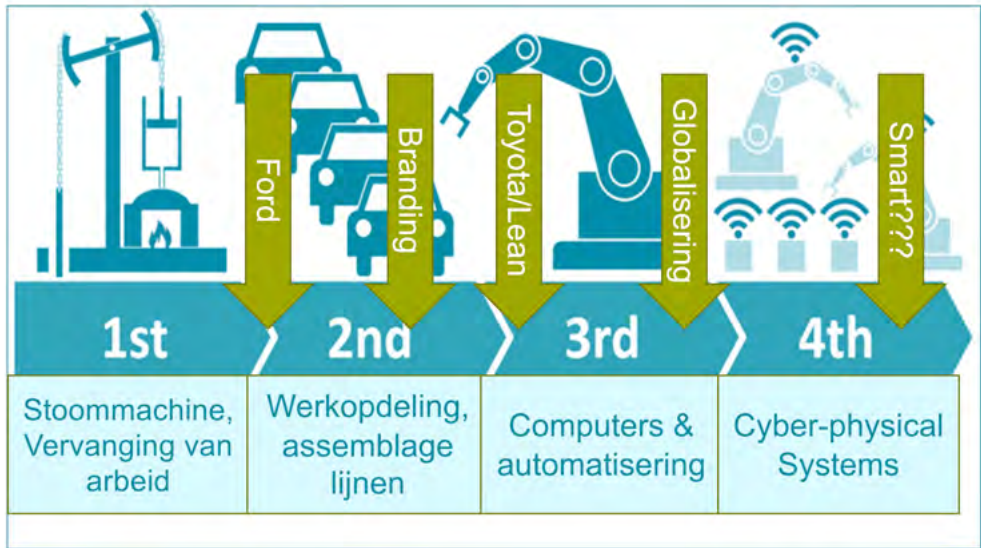
Historie van de Maakindustrie

"Wat wij het heden noemen is vormgegeven door de accumulatie van het verleden"¹. Laten we -om beter te snappen waar we staan- in vogelvlucht door de historie van de maakindustrie reizen. Voor de industrialisering maakten handwerkslieden enkelstuksproducten². De basis voor massaproductie van grote series identieke producten werd gelegd in de 19^e eeuw (met het principe van 'werkopdeling' en productiviteit van arbeid³). Het werk werd ingedeeld in simpele herhalende bewegingen, aan de assemblagelijijn. Dit werkte prima in de jaren twintig en dertig, in een groeiende economie met een 'seller's market'. "Any colour as long as it is black."⁴



Figuur 1 Historie van de Maakindustrie (bron: (Stamm et al., n.d.)

- 1 Naar Haruki Marukami, uitgesproken door een van z'n personages in de roman 1Q84
- 2 Goed, in de 14e eeuw werden in Venetië in het Arsenal al schepen in series gebouwd, met een zeer uitgekend proces en we kennen ook het voorbeeld van de Delftse aardewerkfabrieken, bijvoorbeeld onze overburen in Delft van de Porceleyne Fles die al in de 17e eeuw een enorme productie wisten te halen. "tijdens de hoogtijdagen tussen 1650 en 1750 waren er honderden aardewerkfabrieken actief in de stad" https://www.holland.com/be_nl/toerisme/holland-stories/de-gouden-eeuw/het-delft-van-vermeer-in-de-gouden-eeuw.htm
- 3 Door Adam Smith in de 18e eeuw en Frederik Taylor: Belangrijk hierin was het boek 'The Wealth of Nations' uit 1776 waarin het concept van werkopdeling werd geïntroduceerd. Taylor: [https://en.wikipedia.org/wiki/The_Principles_of_Scientific_Management_\(monograph\)](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Principles_of_Scientific_Management_(monograph))
- 4 Deze uitspraak wordt toegeschreven aan Henri Ford, als reactie op de vraag of klanten geen andere kleur auto zouden kunnen krijgen.



Figuur 2 De industriële revoluties. Bewerking van bron: [Christoph Roser AllAboutLean.com](http://ChristophRoser.AllAboutLean.com)

In de jaren vijftig werd de kiem gelegd voor meer flexibele massaproductie waarin productielijnen geschikt gemaakt werden voor iets andere modellen. Deze ontwikkeling⁵ was bepaald niet functioneel gedreven, maar een reactie op marktverzadiging. Bedrijven gingen denken in termen van fashion, 'branding', geplande overbodigheid, en maximale levensduur.

Dit denken werd doorgetrokken, in de jaren zeventig in Japan, gedreven door een vergrijzende en daardoor krimpende markt. De tevens krimpende beroepsbevolking ook was een enorme stimulans om efficiënt en flexibel te zijn⁶ en door de opkomst van de computer kon productie nog verder geautomatiseerd worden. Toch werd in de jaren 80 veel productie verplaatst naar lage lonen landen. In het westen behielden we vooral het complexe maatwerk.

⁵ Het Sloanism genoemd, naar Alfred P. Sloan, president van General Motors, die verschillende merken met elk jaar nieuwe modellen introduceerde.

⁶ Het 'Toyotism', dat wij vooral kennen van 'Lean Production', draait om kleinere lot-sizes, Just-in-Time, continuus improvement, autonomie van de operator, vraaggestuurd produceren en minimaliseren van alle vormen van verspilling. Met de ontwikkeling van het Toyota Production System werd de Japanse maakindustrie veel winstgevender.



Figuur 3 Plastic Afval en E-waste. Source: <https://mikebiddledotcom.files.wordpress.com/2012/02/plastics-from-e-waste-from-national-geographic-photographer.jpg>

Samengevat: Eerst zijn we heel goed geworden in massaproductie van weinig gevarieerde producten. Toen iedereen een autootje en een koelkast had, is er vraag gecreëerd naar variatie. Kwaliteit en levensduur werden gemaximeerd. Om al die productvarianten goedkoop te kunnen maken met een vergrijzende bevolking is er flink geautomatiseerd, maar vooral ook uitbesteed naar lage lonen landen, met een enorme transportvraag tot gevolg. De brokstukken: een tekort aan vakmensen, grondstoffen, klimaatprobleem.

*"The planet was being destroyed by manufacturing processes, and what was being manufactured was lousy, by and large."*⁷ Bent u ook zo benieuwd wanneer het stukje over 'Smart' en over 'Sustainable' manufacturing nu begint?

⁷ Citaat van een karakter in *Breakfast of Champions*, roman door Kurt Vonnegut uit 1973

1 Sleuteltechnologieën

Om intelligente productiesystemen te creëren is er technologie nodig. De sleuteltechnologieën (*ofwel de Key Enabling Technologies*⁸) voor *Advanced Manufacturing Technologies* zijn: –mechatronica en optomechatronica; –Additive manufacturing, ook wel 3D printen; –Signaal en beeldverwerking; –Robotica en sensoriek en –*Cyber-physical systems*.

Cybernetica⁹ is van origine de studie naar besturing en communicatie in wezens en machines. Zoals (Bradley & Atkins, 2015) schrijft draait *cyber* om de zelfsturendheid¹⁰ van entiteiten. We zijn dat primair met informatietechnologie gaan associëren. *Cyber-physical systems* streven naar *self-governance* van machines en *devices* in het systeem. Het is een combinatie van een systeem met geïntegreerde dataopslag en redeneercapaciteit, dat kan interacteren met de buitenwereld (Shoval & Efatmaneshnik, 2019). Bijvoorbeeld een zelfrijdende containerkraan. Daarom bevat de gereedschapskist van Smart Manufacturing ook Digitale technologie zoals: AI, *Big data* en *blockchain*; maar ook *Cloud*, *Internet of Things* en *Extended Reality*.

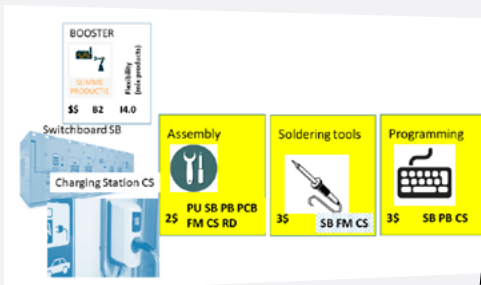
De uitdaging van Smart Manufacturing is om robuuste en veilige zelfsturing van industriële equipment te kunnen realiseren, door deze systemen te koppelen met de buitenwereld (van de klant en de leverancier).

2 Discrete manufacturing processen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen *process manufacturing* en *discrete manufacturing*. Bij *process manufacturing* is er sprake van een continu product dat je lastig kunt scheiden (denk aan textiel, cement, chemie, papier, voeding, papierindustrie).

Bij discrete manufacturing worden typisch de volgende vervaardigingstechnieken en fabricage methoden gebruikt: gieten, snijden, buigen, frezen, zetten, draaien, lassen, boren, conserveren, 3D printen, solderen, extruderen, spuitgieten, 3D printen, lamineren, lijmen, kitten, monteren etc.

Op de foto een bordspel om studenten snel te introduceren in de wereld van manufacturing.



Figuur 4 Voorbeeldmateriaal 'Boost-that-Line' game



Figuur 5 Manufacturing Game

⁸ <https://www.nwo.nl/sleuteltechnologieen>

⁹ Gemunt in Wiener, N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 1965; Volume 25

¹⁰ Stamt uit Plato's *The Alcibiades* en verwijst naar de studie naar zelfsturendheid

Smart Manufacturing

Wat is dan *smart manufacturing*¹¹? Het doel: gevarieerde producten met een lange levensduur, waarvoor minder materiaal en energie en transport nodig is, beter benutten van vakmensen. Oftewel meer waarde genereren met minder. Dat wordt geïllustreerd in Figuur 6 waarin de beoogde transformaties binnen het Smart Industry programma getoond worden.

Uiteraard *Sustainable Factory*, want dat staat voor een andere vorm van waarde. *Smart Products* en *Servitisation* staan voor het monitoren op afstand van producten en zo nieuwe dienstverlening aan te kunnen bieden (zoals bijvoorbeeld beschreven in (Coreynen et al., 2018)). Flexibele manufacturing zorgt voor het kunnen schalen tussen verschillende producten en verschillende volumes (zie bv. (Fatorachian & Kazemi, 2018)). *Connected Factory* voor een efficiëntere value chain en *Digital Factory*, *Smart Working* en *Advanced Manufacturing* voor een efficiënter proces waarin minder fouten gemaakt worden. Procesinnovatie¹² dus, en business innovatie, als antwoord op de uitdagingen die ik hiervoor schetste. Een overzicht van de mogelijkheden wordt gegeven in (Metallo et al., 2018).

Een smart systeem of een smart product is een entiteit die de intelligentie heeft om op basis van sensor data suggesties te kunnen doen voor het nemen van beslissingen, of die beslissingen zelf te nemen. Dus smart manufacturing gaat over het ondersteunen van beslissingen in het productieproces op basis van verzamelde data. Die beslis capaciteit moet real-time kunnen reageren op veranderende omstandigheden: in de fabriek, in het supply netwerk, in klantwens (beschreven door (Shoval & Efatmaneshnik, 2019)). In Duitsland wordt daarvoor de term Industrie 4.0 gebruikt en de Nederlandse overheid heeft een Smart Industry programma gelanceerd. Ik gebruik de termen door elkaar. We spreken vaak over digitalisering. Maar eigenlijk bedoelen we digitalisatie: de transformatie van je systeem naar 'digitaal gaan'.

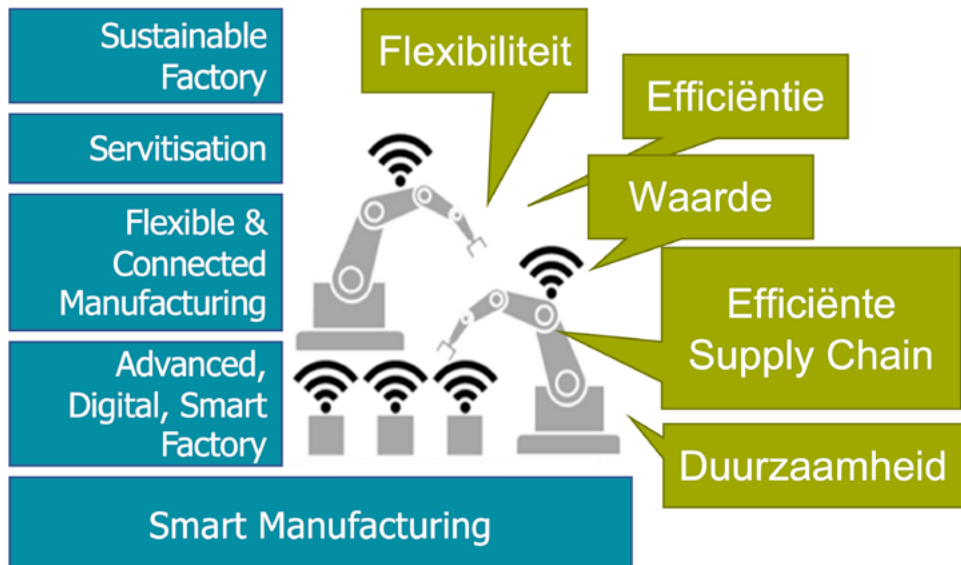
11 Smart Manufacturing = fully-integrated, collaborative manufacturing systems that respond in real time to meet changing demands and conditions in the factory, in the supply network, and in customer needs." [National Institute of Standards and Technology (NIST)].

12 De OECD definieert procesinnovatie kortweg als "de adoptie van technologisch vernieuwende of significant verbeterde productiemethoden. (*Measurement of Scientific and Technological Activities*, 1995)

3 De Smart Industrie Ambities

In 2018 legde de Nederlandse overheid met de Digitaliseringsstrategie (Nederlandse Digitaliseringsstrategie - Nederland Digitaal, 2018) een ambitie neer. Men schrijft dan over de maakindustrie *"Het kabinet heeft de ambitie dat de industrie in Nederland in 2021 het meest flexibele en het beste digitaal verbonden productienetwerk van Europa heeft, waarmee de betrokken maakbedrijven ook een substantiële energie- en materiaal- besparing realiseren."* Verder mikt men op meer economische groei door het verhogen van productiviteit en nieuwe internationaal concurrerende business proposities en meer werkgelegenheid. Behalve een digitaliseringsstrategie is er in 2018 ook een Implementatieagenda Smart Industry¹³ uitgekomen (Team Smart Industry, 2018) met acties om de digitalisatie van de Nederlandse industrie te bevorderen. Een belangrijk onderdeel hiervan zijn Fieldlabs¹⁴, proeftuinen waar ondernemers experimenteren met de ontwikkeling en implementatie van nieuwe technologieën. Dit programma is inmiddels geëvalueerd (Grond, 2021) en beoordeeld als *"enigszins doeltreffend als het gaat om het daadwerkelijk activeren van individuele bedrijven en het zetten van stappen in de Smart Industry transformaties"*.

Wel is er een mooi netwerk van Fieldlabs opgebouwd, waarin bedrijven met vragen over Smart Manufacturing begeleid kunnen worden. De groep bedrijven die deelneemt aan fieldlabs en R&D programma's is relatief beperkt (circa 550 unieke bedrijven), waardoor een grote groep bedrijven binnen Nederland niet met Smart Industry (binnen het programma) aan de slag is gegaan. Er zijn wel stappen gezet, maar vooralsnog beperkt tot wat bij individuele fieldlabs gelukt is.



Figuur 6 Smart Industry Transformatiegebieden, gebaseerd op <https://smartindustry.nl>

¹³ De Nederlandse overheid gebruikt de naam 'Smart Industry' bij wijze van synoniem voor het oorspronkelijk Duitse Industrie 4.0 en het Amerikaanse 'Smart Manufacturing'

¹⁴ <https://smartindustry.nl/aan-de-slag/fieldlabs>

Waar staan we

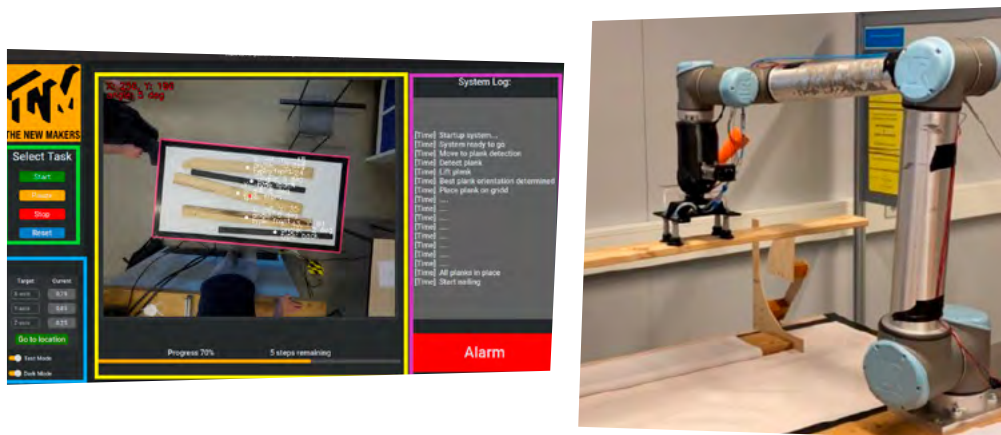
Hoe staan we ten opzichte van deze doelstelling? Ik licht *Smart Working* en *Advanced Manufacturing* er uit. Dat zijn de transformaties die leunen op technologie zoals robotica, 3D printen en *augmented reality*.

Extended Reality

Extended Reality wordt gebruikt om digitale informatie over de werkelijkheid te projecteren. In combinatie met een slimme bril zoals de HoloLens geeft dit allerlei mogelijkheden voor 'operator support'. De techniek leent zich om gericht, 'handsfree' en context-afhankelijk met complexe systemen te interacteren en informatie te ontvangen. In 2019 schrijven (Martinetti et al., 2019) dat IT afdelingen geen raad weten met XR projecten¹⁵ en dat het veel tijd kost om de benodigde info te digitaliseren. Tenslotte zou de ergonomie van de devices zoals een smart glass of HoloLens wel eens in de weg kunnen zitten.

Robotica

In Delft hebben we uitstekende infrastructuur voor robotica; we hebben hier het *Delft Robotics Institute*¹⁶ (robotica onderzoekers van TUD), *Robohouse*¹⁷ (Fieldlab), RoboValley (de plek waar robotica startups zich kunnen verenigen), *SAMXL*¹⁸ waar je manufacturing robots voor grote constructies treft. Verder draaien er drie succesvolle robotica minoren die razend populair zijn bij bedrijven en (internationale) studenten. Een op de TU Delft en twee op onze eigen Haagse Hogeschool. Een belangrijk kenmerk van de Delftse robotici is dat ze zich inzetten voor het integreren van open-source robot middleware en applicaties in de industriële praktijk¹⁹ en in het onderwijs (beschreven in (Fraanje et al., 2016)). Landelijk²⁰ gebeurt er ook veel. Voor mechatronica geldt hetzelfde.



Figuur 7 Project uit de minor Robotics & Vision Design -assemblage van houtpanelen

¹⁵ Door COVID is de interesse voor deze technologie wel toegenomen

¹⁶ <https://tudelftroboticsinstitute.nl/>

¹⁷ <https://robohouse.nl/>

¹⁸ <https://www.samxl.com/>

¹⁹ M.b.v. ROS en ROS-Industrial, open source robot middleware. Zie ook <https://rosindustrial.org/news/2021/1/27/what-happened-at-ros-industrial-conference-2020>

²⁰ <https://www.destentor.nl/harderwijk/nederland-moet-aan-de-robot-en-snel-ook-zeggen-experts~af8509ed/?referrer=https%3A%2F%2Fduckduckgo.com%2F>

Additive manufacturing

Additive manufacturing, ofwel 3D printen werd in eerste instantie vooral gebruikt voor *rapid prototyping*, maar het heeft zeker z'n plek verworven als 'enabler' voor decentrale productie. Het heeft veel toepassing in medische, aerospace en automotive industrie. Je kunt in Rotterdam een plezierjacht laten printen²¹. Ook met metaalprinten wordt veel ervaring opgedaan.

4 Extended Reality



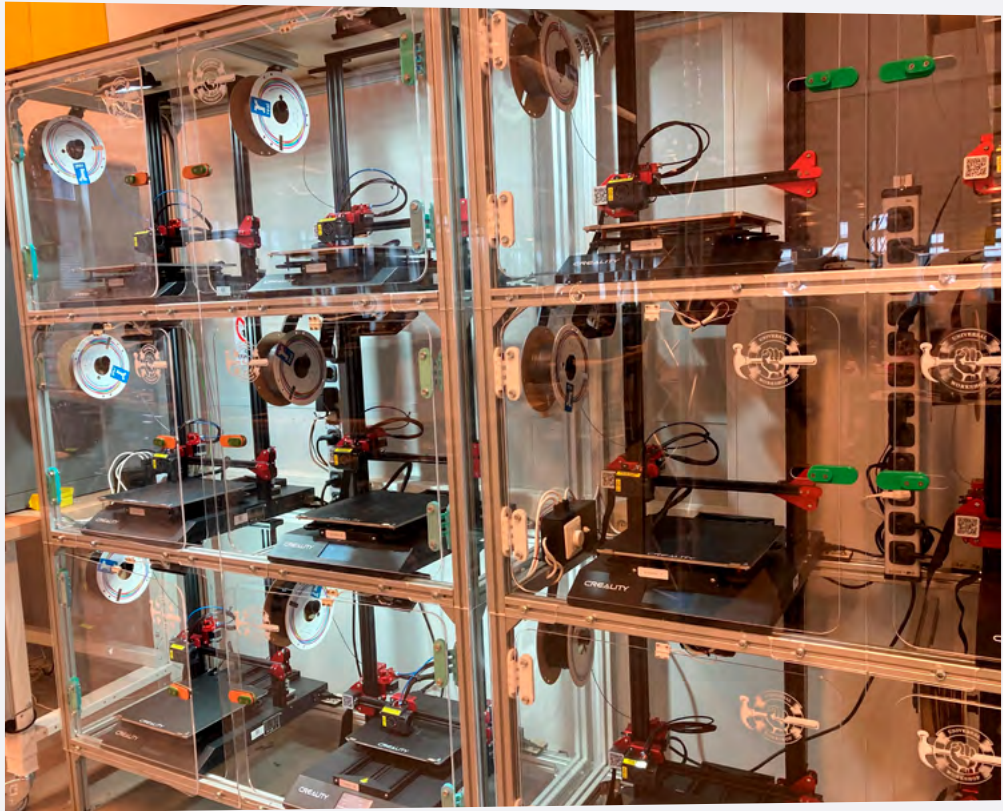
Figuur 8 Augmented Reality

Extended Reality (ook wel XR genoemd) is een verzamelnaam voor computertechnieken waarbij de grenzen tussen de fysieke en de digitale wereld vervagen, namelijk Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) en Mixed Reality (MR). Augmented Reality projecteert een platte, digitale laag over de werkelijkheid heen, Mixed Reality kan ook hologrammen projecteren, die werkelijk kunnen interacteren met hun fysieke omgeving. Zo is het mogelijk om een hologram op een (assemblage)tafel neer te zetten, een object te herkennen of instructies te geven, aangepast op de omgeving of bepaalde handelingen. Denk bijvoorbeeld aan het geven van stap-voor-stap assemblage instructies, verkorten van zoek- of meettijd in een systeem, het doen van inspecties of afnames op afstand.

²¹ <https://www.businessinsider.nl/rotterdam-startup-tanaruz-3d-printen-boten-plezierjacht/>

5 Additive manufacturing

Dit is de enige I4.0 technologie die echt een manufacturing technologie is. De techniek leent zich voor complexe geometrie en enkelstuks productie. Er zijn ontwikkelingen gaande in bestandsformaten, zodat meer maak-procesinformatie meegegeven kan worden. Er zijn ook hele interessante ontwikkelingen in printmateriaal, zoals bio-degradable materialen met bijvoorbeeld toepassingen in het menselijk lichaam, maar ook met shape memory. De techniek heeft ook beperkingen. Niet alle materialen zijn bruikbaar en afmetingen zijn praktisch en kostentechnisch beperkt. Ook is de productietijd relatief lang. Studies laten wel zien dat afval significant gereduceerd kan worden. Verder is te verwachten dat de kosten van printermachines en feedstock nog verder zullen dalen en dat de capaciteit van printers nog zal verbeteren, ze worden nog steeds sneller, preciezer en autonomer (Mehrpouya et al., 2019).



Figuur 9 Additive Manufacturing

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) is de techniek waarmee objecten in het productiesysteem, voorzien van sensoren en netwerkaansluiting, via internet kunnen communiceren (zoals beschreven in o.a. (Whitmore et al., 2015).

2020-2021	
Percentages NL maakbedrijven:	
Additive Manufacturing	16%
Robots	25%
IoT	6%
AI/Big Data/Analytics	23%
Cloud	50%
Heeft gehoord van Smart Industry	62%
Weet wat Smart Industry is	44%

Figuur 10 Implementatie Smart Industry

Ik heb, op basis van een peiling door het CBS enige data over adoptie van *Smart Manufacturing* technologie bij Nederlandse bedrijven (zie Figuur 10). Wat hier vooral opvalt is dat Internet of Things (IoT), nog slechts mondjesmaat gebruikt wordt in het productieproces. Netwerktechnologie ligt aan de basis van *Smart Manufacturing*, maar blijkbaar lukt het bedrijven daar nog niet om stappen te zetten. Het Smart Industry programma rapporteert in z'n laatste evaluatie dat 62% van de bedrijven gehoord heeft van Smart Industry en dat 44% weet wat het inhoudt. Waarom het dan niet doordringt tot de vloer? Dat is helaas niet systematisch in kaart gebracht. Een mooie rol voor het lectoraat! We hebben zelf flink wat bedrijven geïnterviewd en geïnventariseerd wat er rondom de Hogeschool gebeurt. Dit met de kanttekening dat wij vooral bedrijven spreken die een verbeterwens hebben.

Een paar observaties: -Bedrijven zijn nieuwsgierig naar Extended Reality/Augmented Reality en hoe ze dat kan helpen bij assemblage, sorteren en inbedrijfstelling; -Veel bedrijven verzamelen real-time data bij de klant, in hun fabriek, soms bewust, soms als 'bijproduct' van de vele sensoren die hun complexe producten sowieso al bevatten t.b.v. operatie. Ze hebben de verwachting dat het verzamelen van data van 'smart producten' op termijn tot een business model leidt (bv. *predictive maintenance* of een andere manier van dienstverlening). Maar de vele vragen rondom het eigenaarschap van data en privacy maakt ze terughoudend; -Data analytics is vooral gericht op procesautomatisering (bv. bin picking en kwaliteitscontrole); -Verkrijgen van inzicht in de real-time status van het productieproces wordt beschouwd als waardevol, zolang de operators maar inzicht krijgen in de impact van gesuggereerde verbeteringen (bijvoorbeeld de trade-off tussen Overall Equipment Effectiveness (OEE), order-doorlooptijd en de overall doorlooptijd) en op basis daarvan beslissingen kunnen nemen; -Een laatste -vaak geuite- zorg is het gebrek aan integratie van IT systemen en '*Operating Technology*' (OT) systemen op basis waarvan het productieproces bestuurd wordt. Dit vereist begrip van en conformeren aan protocollen en uniforme data definitie. Op dit gebied voelen bedrijven zich vaak overgeleverd aan externe partijen (zoals de machineleveranciers, toeleveranciers, softwareleveranciers etc.) Work-arounds zijn vaak nodig om alle elementen aan elkaar te knopen, vaak gepaard met overतिकwerk. Onze voorzichtige conclusie, het hapert op die '*Digital Factory*', en dat aspect van integratie. (Deze conclusies wordt ook getrokken in de overzichtspapers van (Oztemel & Gursev, 2020; Salkin et al., 2018; Veile et al., 2019). Laat ik daarom de verschillende typen integratie verder uitleggen.

Horizontale Integratie

Aan de basis van een industrieel systeem staan de resources en de productieprocessen. Die worden aangestuurd met werkbonnen, PLC's, actuatoren. Inmiddels zijn ze ook vaak voorzien van sensoren. Voor het gemak noemen we dit de shopfloor/werkvloer laag: hardware en applicaties op deze laag bepalen hoe het maakproces wordt uitgevoerd (zie Figuur 11). Deze '*Operating Technologie*' is van oudsher meer stand-alone, draait vaak op merkspecifieke software en is vooral gemaakt om robuust te zijn. Met horizontale integratie bedoel ik dat alle sensoren en actuatoren en de industriële controllers (Kalogeras et al., 2006) op de operationele laag verbonden zijn. Automatisering en monitoring en besturing op afstand²² van deze systemen gebeurt al sinds de jaren tachtig met industriële bus-systemen. Juist omdat het al zolang bestaat en omdat leveranciers vaak met eigen standaarden werken staan in vrijwel elke plant machines en systemen die niet zomaar met elkaar kunnen communiceren.

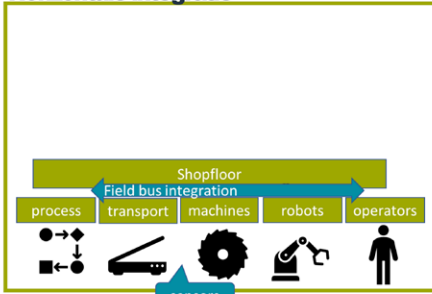
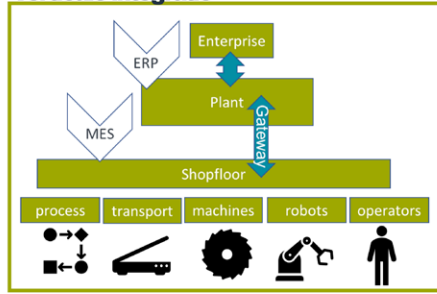
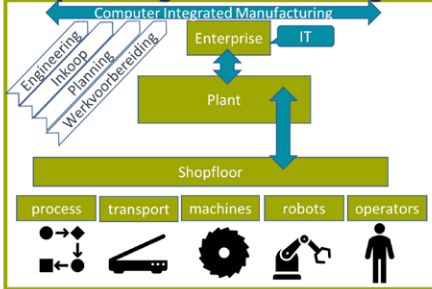
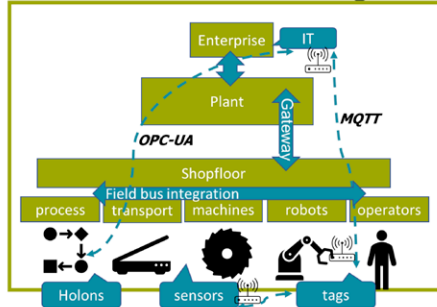
6 Industriële standaarden

In het invloedrijke paper van (Jammes & Smit, 2005) werd geschetst hoe *intelligent device networking* er in de toekomst uit kon gaan zien, gebaseerd op service-georiënteerde high-level protocollen. Dit werd ook gedemonstreerd in het 'Service Infrastructure for Real-Time Embedded Networked Applications project'. Op de *shopfloor* laag (met *industrial field devices*) zijn op ethernet gebaseerde protocollen dominant, bijvoorbeeld EtherNet/IP en Profinet²³. Tussen de verticale lagen werd tot voor kort vooral OPC UA (Object Linking and Embedding for Production Control) gebruikt.

Toen de mogelijkheden voor horizontale en verticale communicatie in een netwerk zich af begonnen te tekenen, werd ook de potentie van *product-centric* productie zichtbaar. Dit wordt versterkt door de opkomst van het MQTT standard messaging protocol voor IoT; dit is een lightweight protocol waarmee remote devices zich kunnen abonneren op berichtgeving en zelf ook informatie kunnen posten, eigenlijk een soort twitter. Het hele hiërarchische onderscheid vervaagt dan.

²² (Bv. SCADA)

²³ In deze blog worden de belangrijkste verschillen beschreven (Jeff Knight, n.d.)

Horizontale integratie**Verticale integratie****Computer Integrated Manufacturing****Product-centred / decentrale integratie****Figuur 11 Typen Industriële Integratie****Verticale Integratie**

Op plant of fabrieksniveau wordt bepaald wat er gemaakt moet worden, wanneer en door welke resource. Daarvoor gebruiken we een *Manufacturing Execution System (MES)*. Nog een niveau hoger, op Enterprise of ondernemingsniveau wordt dit gekoppeld aan klantorders, productieorders, bestellingen en voorraden in het *Enterprise Resource Planning (ERP)* systeem. We denken graag in overzichtelijke hiërarchieën als we het over architectuur en verticale integratie hebben. Maar de functionaliteiten van MES en ERP systemen variëren per pakket, er zit vaak ook overlap tussen. Vaak gaat de informatie niet een kant op, maar heen en weer tussen de lagen. Om te communiceren tussen de verticale lagen heb je een 'gateway' nodig, zoals bv. OPC-UA.

Computer Integrated Manufacturing

Het mogelijk maken van de informatieoverdracht tussen processen en applicaties wordt aangeduid met *Computer Integrated Manufacturing (CIM)*. ((Yu et al., 2015) beschrijft dat als bruggetjes aanleggen tussen de technologie-eilandjes waarop de verschillende afdelingen zich bevinden (zie Figuur 11). De engineers gebruiken CAD en Product Data Management (PDM), de inkopers en werkvoorbereiders ERP; de producten uit CAD moeten in/uit de PDM, vanuit de PDM in/uit de ERP, de *purchase orders* en *shop orders* moeten passen binnen het kader van de productplanning; uiteindelijk moet dat via de MES allemaal netjes vertaald en omgezet worden zodat de buigfiles bij de buigmachine komen, G-code²⁴ bij de CNC machine etc. Dit is een weerbarstig stukje integratie²⁵. Een onderwerp waarvoor vrijwel geen best-practices of case studies doorsijpelen naar het publieke domein.

²⁴ G-code=een specifieke extensie voor CNC machines (voor draai- en freesbewerkingen).

²⁵ Belangrijk zijn hier bv. standaarden voor 3D geometrie en productsamenstellingen: Model-Based Definition (MBD) combineert een 3D CAD model met semantische Product Manufacturing Info (PMI) waarmee de productieprocessen (deels) geautomatiseerd kunnen worden.

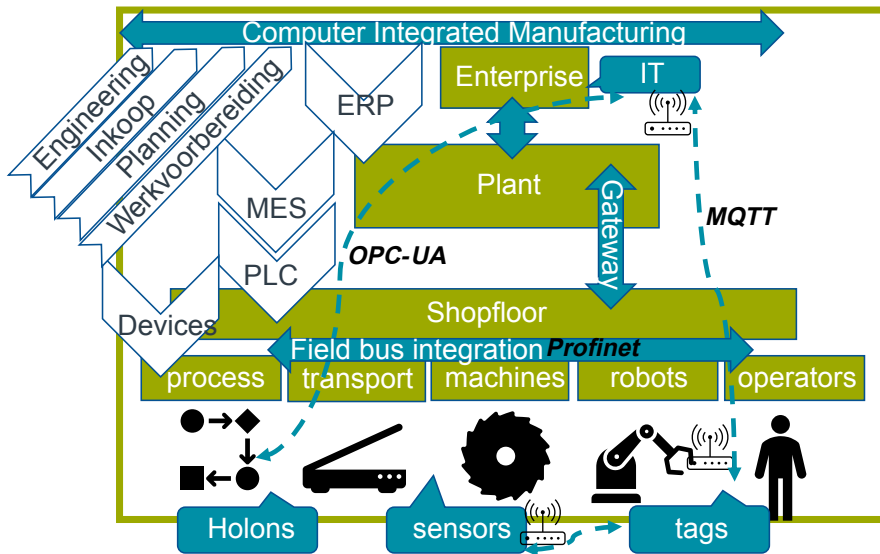


Figuur 12 Indicatoren van verschillende soorten integratie *Product-Process-Resource*

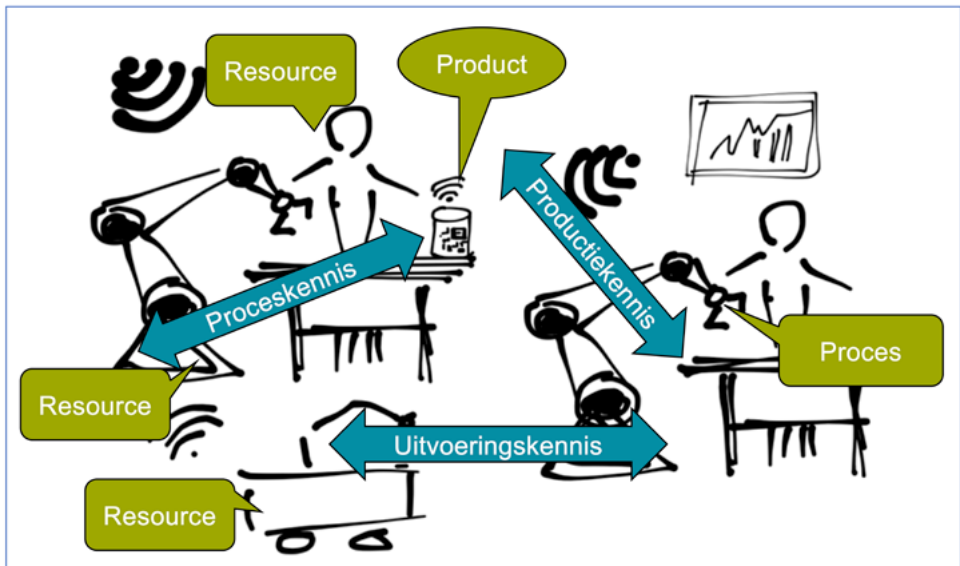
Tenslotte moet je omgaan met de verschuiving naar *customised* producten. Dit illustreer ik met mijn versimpelde interpretatie van het holonisch principe voor maatwerkproductie in Figuur 14. Zoals beschreven in (Valckenaers, 2020) worden producten (onderdelen en assemblies) gerepresenteerd met een product holon, dat is in feite een ingrediëntenlijst plus recept voor het maken van het product. Resources worden gerepresenteerd door resource holons, die beschrijven welke taken de resources aan kan en hoeveel capaciteit daarvoor beschikbaar is. De resources kunnen daarmee afleiden of ze in staat zijn om een gevraagde operatie op tijd uit te voeren. Holons zijn vastgelegd in de virtuele wereld, maar kunnen ook via een tag aan de fysieke assets gekoppeld worden. Zo kunnen ze -met dank aan IoT en een unieke product ID - decentraal info uitwisselen d.m.v. RFID-tags, barcodes of QR codes (bijvoorbeeld beschreven in (Yang et al., 2019a). Het product kan dan onderhandelen met manufacturing cellen en andere productiemiddelen over z'n realisatie. (zoals uitgelegd in (Marcon et al., 2017; Rao & Prasad, 2018). Dit is in feite de stap naar zelfbewustheid van het systeem. Voor die decentrale info wordt dan vaak weer een ander protocol zoals MQTT gebruikt.

Vier integratie-uitdagingen dus: -naadloze horizontale integratie tussen je productiemiddelen realiseren, ook tussen *legacy*²⁶ systemen van verschillende leveranciers; - gateway functionaliteit tussen de verschillende hiërarchische lagen; -informatieoverdracht tussen je processen en applicaties moet geïntegreerd zijn en; het systeem moet goed reageren op telkens andere producten, waardoor je aan de voorkant al heel veel maakinformatie moet kunnen genereren en meegeven. In praktijk leidt dit vaak tot veel overtypen! In Figuur 12 worden een aantal indicatoren van lage of juist hoge mate van integratie geïllustreerd. In Figuur 13 wordt het totale plaatje geschetst van communicatie in volledig geïntegreerde systemen.

²⁶ Legacy: bestaande, niet up-to-date machines of systemen



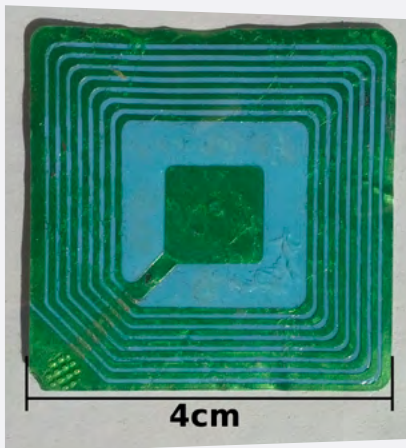
Figuur 13 De hiërarchie en communicatie in industriële systemen



Figuur 14 Product Proces Resource (ook wel 'holonisch') principe

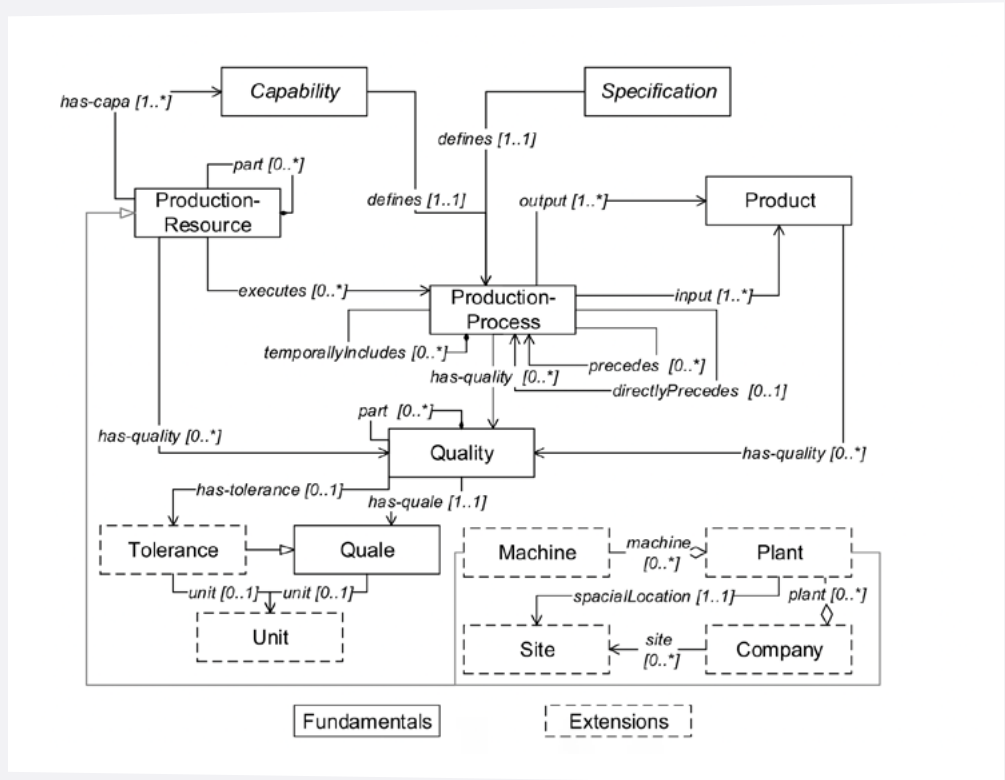
7 Tagging

'Tag' is de verzamelnaam voor informatiedragers die op een object zijn bevestigd. We kennen dit als bv. een barcode op een (eind)product in de supermarkt of een RFID-chip in onze (contactloze) betaalkaarten en mobiele telefoons. Om van producten en resources effectief 'smart objects' te maken en in real-time data behoefte te kunnen voorzien, moeten ze voorzien worden van unieke 'identifiers', die vervolgens ook gebruikt kunnen worden om data aan te linken. De digitale product informatie kan opgeroepen door de tag te scannen die aan het product bevestigd is (het label/tag bevat deze ID, product info of een code met een 'deeplink' naar product info). RFID tags hebben hierbij veel voordelen boven andere vormen zoals bv. barcodes of QR codes, omdat ze over grotere afstanden uit te lezen zijn, meer informatie kunnen bevatten en niet in de 'line of sight' van een scanner hoeven te zitten (Zhong et al., 2013). Tags kunnen gekoppeld worden aan componenten, assemblies en producten: aan individuele items of via een 'carrier' zoals een tray of container. De data op de tags kan uitgelezen worden, maar ook ge-update. Communicatie tussen tags onderling en tussen tags en *Enterprise Information Systems* kan bijvoorbeeld via Bluetooth, 433 MHz radiosignaal en TCP/IP. Zie ook: (Yang et al., 2019b). Voor data uitwisseling tussen het productiesysteem en het productiepersoneel is er behoefte aan 'front-ends', zoals computer terminals, 'handheld' devices, wearable computers (Larek et al., 2019). E-ink displays kunnen gebruikt worden voor real-time weergeven van informatie (Zhao et al., 2015). Wat er vervolgens weergegeven kan worden hangt af van het achterliggende product data model en welke info daaraan gekoppeld is. De essentie voor Smart Manufacturing is dat een passief object d.m.v. een tag omgevormd wordt tot een actieve 'agent'.



Figuur 15 Voorbeeld van een RFID Tag-[bron: XytzLP, CC BY-SA 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons]

8 Product-Proces-Resource Structuur en de Asset Administration shell



Figuur 16 Product-Process-Resource structuur-bron (Ocker et al., 2019)

In Figuur 16 is te zien welke objecten en eigenschappen van belang zijn voor productiebesturing op basis van het (holonisch) product-process-resource principe (Ocker et al., 2019).

Tijdens de ontwerp/engineering fase van industriële systemen kunnen processen en resources gemodelleerd worden m.b.v. AutomationML (Schleipen et al., 2014) een op xml gebaseerde systematiek. Deze modellen kunnen door mensen en machines gelezen worden.

Om gedurende de levensduur data in het productiesysteem te kunnen uitwisselen is de zg. Asset Administration Shell (AAS) voor 'semantic interoperability' (IEC/TC 65) een belangrijke ontwikkeling (Deuter & Imort, 2021).

De IEC/EN 62264 standaard definieert objecten en modellen voor communicatie tussen verschillende hiërarchische levels binnen een Industry 4.0 informatiesysteem (beschreven in (Vasilev, 2021)).

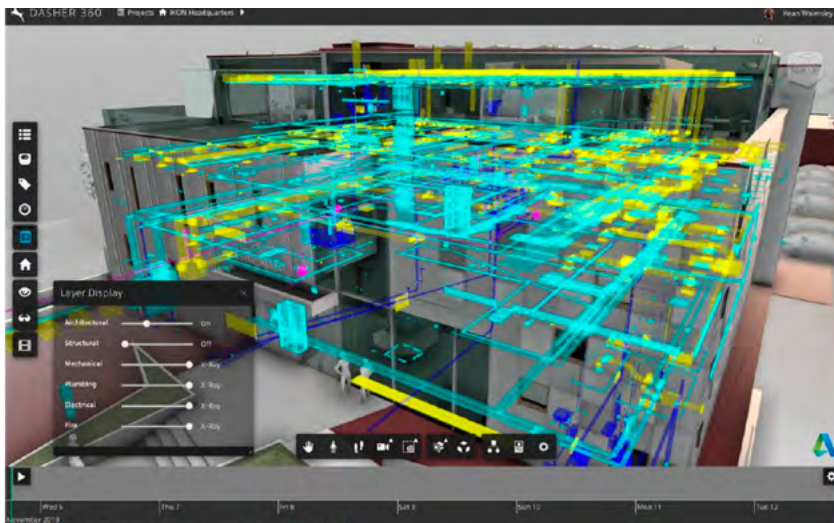
9 Cyber-security

Het belang van cyber security ligt bij de meeste bedrijven scherp op het netvlies, zeker na de cyber attack op VDL afgelopen oktober. Industriële OT systemen gaan ver terug in de tijd, ver voor het wijdverspreid gebruik van internet en zijn ze niet zonder meer geschikt voor standaard beveiligingsprotocollen. Het implementeren van beveiliging die compliant is met alle onderdelen van een Smart Manufacturing systeem, zonder de onderliggende processen te verstoren, is moeilijk. Zoals (Prinsloo et al., 2019) schrijft, met een ondoordachte introductie van IoT zonder aandacht voor security, creëer je al snel een kwetsbaar systeem.

Simulatie en digital twin

Een manufacturing digital twin is een digitale representatie van een productiesysteem. Dit kan op alle niveaus, dus van een enkele machine tot en met de hele fabriek. De fysieke entiteit is voorzien van sensoren en de status wordt real-time gemonitord (zie ook (Mourtzis, 2019)). De digitale twin ontvangt die data en kan ook digitale informatie terugsturen naar de fysieke elementen.²⁷ Je kunt de digital twin daarmee gebruiken om analyses en rapportages te maken, of als portal voor operationele, service en lifecycle data. (Dat werkt ook prettig omdat je dan het fysieke objects als referentie hebt.) De twin is -door de koppeling met real-time sensor data- ook een geschikte basis voor een simulatiemodel (o.a. Salkin et al., 2018). Voorspelling en besturing van het systeemgedrag worden hierdoor steeds meer geïntegreerd (zoals uitgelegd door (Rosen et al., 2015)).

Voor je producten geldt dat ook: Als je een digitale of virtuele kopie van een product hebt, ergens op een server of op een tag op het product of beide, dan kun je dat gebruiken om de levenswandel van het product op bij te houden. Fijn als je business model meer op service of lease geënt is. Het roept wel weer nieuwe vragen op over IT architectuur en communicatieprotocollen.

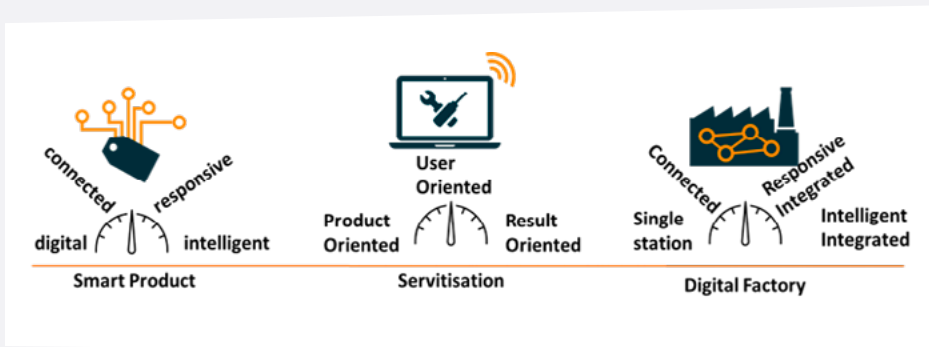


Figuur 17 Digital Twins

²⁷ Er zijn ook tussenvormen waarin de communicatie van fysiek naar digitaal automatisch gaat en de retourestroom naar het fysieke object nog met de hand. Dat wordt ook wel een digital shadow genoemd.

10 Status van Digitalisering bij MKB Maakbedrijven in Zuid-Holland

SMITZH staat voor Smart Manufacturing & Industriële toepassing in Zuid-Holland. Het doel van het SMITZH project is MKB bedrijven in Zuid-Holland op weg te helpen naar een gedigitaliseerd proces. Om vast te stellen in welke mate bedrijven bepaalde technologie omarmd hebben en daarmee de transformatie naar 'Smart Industry' hebben kunnen maken, wordt verwezen naar indicatoren als '*digital maturity*' en '*technological readiness*'. Meten van deze *maturity* en *readiness* is belangrijk om de juiste verdere ondersteuning te kunnen bieden. Er zijn al een aantal assessment methoden ontwikkeld, ook voor MKB bedrijven (waarvan (Schmitt et al., 2020) een mooi overzicht geeft, zie ook (de Carolis et al., 2017; Rauch et al., 2020)). Geen van deze bestaande instrumenten paste binnen de randvoorwaarden die er voor het SMITZH project gesteld werden, namelijk: -dat het accent moest liggen op verzamelen best-practices en hulpvragen van MKB-ers om onderling uit te kunnen wisselen; -dat de scans in de vorm van 'open interview' afgenomen moesten worden (binnen 1,5-2 uur) en dat de scan ook door studenten afgenomen moest kunnen worden. Uiteindelijk is voor het operationaliseren van de '*digital maturity*' voor *Smart Product*, *Servitisation* en *Digital Factory* naar bestaande indicatoren gekeken ((Chen, 2017; Gutierrez et al., 2013; Lin et al., 2019; Meyer et al., 2009)). De formulering is wel wat aangepast, om interpretatie voor de studenten te vergemakkelijken. Voor andere, bijvoorbeeld *Smart Working* of *Advanced Manufacturing* is primair gekeken welke technologie al gebruikt wordt door bedrijven. De indicatoren worden weergegeven in Figuur 18. Voor Smart Product en Digital Factory loopt de schaal van 'digitaal' (dus met een sensor of chip), via 'connected' (aan het internet verbonden), via 'responsive' (doet suggesties voor actie) naar 'intelligent' (kan anticiperen en zelfstandig handelen. De schaal van *Servitisation* loopt van '*product oriented*' (dus dienstverlening die logisch volgt op de verkoop van een product), via '*user oriented*' (meer op verhuur of lease geënt) naar '*result oriented*'. In het laatste geval gaat het niet om kopen of huren van een product (bv. een machine), maar het recht om het te mogen gebruiken als je het nodig hebt (bv. Product-as-a-Service)



Figuur 18 Meten van Smart Industrie Transformatie

11 Toekomst van arbeid

Volgens een vaak aangehaalde analyse van (McKinsey Global Institute, 2017) zou 5% van alle arbeidstaken geautomatiseerd kunnen worden met wat nu 'common tech' is en maar liefst 60% van de taken van een productiebedrijf als je alle Smart Manufacturing technologie weet te implementeren. De huidige inefficiëntie zit hem vooral in routine-intensieve activiteiten; zoals bij het overtypen van informatie van het ene naar het andere systeem. Als je productiesysteem slechts deels gedigitaliseerd is -bijvoorbeeld omdat verschillende merken machines niet met elkaar praten, of omdat je nog volop aan het testen bent- dan introduceer je juist heel veel van dit soort klusjes. Dit verklaart waarom er vooralsnog weinig productiviteitsgroei gezien wordt.

Een andere paradox is dat het I4.0 paradigma met flexibiliteit en modulaire, decentrale aansturing zou meer ruimte moeten geven voor individuele verantwoordelijkheid en decentrale beslissingsmogelijkheden voor werknemers. We weten uit de Lean methodologie dat je robuuste routines nodig hebt om met een systeem met veel verwevenheid en afhankelijkheid overweg te kunnen. Maar ook een platte beslisstructuur, snel kunnen reageren op fouten en veel probleemoplossend vermogen op lokaal niveau. Lean heeft van oudsher de focus op shopfloor expertise en ervaring, maar in het Smart paradigma wordt juist veel gebruik gemaakt van optimalisatie op basis van data en algoritmen. Neem het voorbeeld van de hololens. Dit scheelt veel zoeken en opzoeken. Maar als je niet oppast, creëer je een 'Tomtom' effect, nadelig voor de persoonlijke ontwikkeling en het verantwoordelijkheidsgevoel op de vloer. Een virtuele assistent, kan bv. rekening houden met veiligheid en ergonomie, maar je wordt wel constant in de gaten gehouden en op je vingers getikt. Zoals (Roldán et al., 2019) schrijft, het is wellicht beter wanneer de aangeboden 'guidance' zich flexibel aanpast aan het kennisniveau en de benodigde ondersteuning van werknemers. En wanneer je toestaat dat een employee ook eigen ervaringen en suggesties in kan brengen, zodat een ander ervan kan leren.

12 Verandermanagement

Bedrijven moeten op twee fronten tegelijk veranderen: het business model verandert naar een digitaal model, maar ze moeten ook de transformatie naar gedigitaliseerd systeem maken (beschreven in (Bordeleau & Felden, 2019; Fichter, 2019). Er zijn weinig studies die concrete handvatten geven over hoe je de transformatie aanpakt, of hoe een goede roadmap voor realisatie eruit moet zien. Het moet niet alleen over de transformatie van techniek gaan, maar ook over de transformatie van 'arbeid' en leiderschap. Er is enige consensus in de literatuur over hoe het aan te pakken. Concluderend uit (Farina & Fontana, 2021; Fettig et al., 2018; Gazzaneo et al., 2020): In essentie draait dat om de juiste mensen vrijmaken, uit alle geleidingen, werken met pilots zodat je als organisatie de benodigde kennis en vaardigheden kunt opbouwen en voortdurend blijven kijken naar de samenhang. De meeste en belangrijkste veranderingen zitten op de werkvloer, dus die groep zul je als eerste moeten bereiken.

Waarom lukt het dan niet

Overigens, Nederlandse bedrijven profileren zich vaak als systeem integrator²⁸ (volgens Team Smart Industry, 2018). In Nederland zitten relatief veel toeleveranciers die deel uit maken van meerdere high-tech waardeketens. Ze/we zijn wereldtop bijvoorbeeld in de kassenbouw. Waarom kunnen we in Nederland dan wel megacomplexe schepen en lithografiemachines bouwen, maar lukt het niet om de eigen productiefaciliteiten om te turnen tot *Smart Factories*?

Allereerst, we hebben domweg de juiste mensen niet. We gaan er vaak vanuit dat procesinnovatie zal leiden tot verlies aan banen²⁹. Dit wordt ook wel de Turing trap genoemd³⁰, technologie die gericht is op kostenbesparing door vervangen van menselijke arbeid, i.p.v. op innovatie van arbeidsprocessen. We zien (o.a. in (Butollo et al., 2019)) toch een tendens om het werk te standaardiseren en controleren. Of operators krijgen minder de verantwoordelijkheid voor een vaste taak, maar worden ingezet als 'troubleshooters'. Het werk wordt dan wel verrijkt met meer uitdaging, maar er is ook meer tijdsdruk. Je mensen moeten dat kunnen en daar zin in hebben. Hoe dan ook, we hebben nu überhaupt niet genoeg technische geschoolde mensen om andere mensen met behulp van technologie werk uit handen te nemen. (Dit geldt net zozeer in Duitsland (volgens Colombo et al., 2015).

Tenslotte hebben we hier veel MKB bedrijven. Die bezitten zeker adaptief en innovatief vermogen, zowel ten aanzien van nieuwe producten als het proces. Maar een digitale transformatie bewerkstelligen met een kleine organisatie die z'n handen vol heeft aan de orde van de dag, is gewoon heel lastig. Wat zeker ook meespeelt is dat voorbeelden, ROI berekeningen en best practices van I4.0 implementatie bij MKB-ers ontbreken, of niet zichtbaar worden voor de buitenwereld. (Dit wordt ook aangehaald door o.a. (Brozzi et al., 2018; Ghobakhloo & Iranmanesh, 2021; Ingaldi & Ulewicz, 2019; Matt et al., 2020; Matt & Rauch, 2020; Mittal et al., 2018; Pinto et al., 2019; Schmitt et al., 2020; Torn & Vaneker, 2019). En als je niet weet wat er allemaal kan qua digitalisatie, of wat het je kan brengen, is het ook moeilijk om de juiste hulpvraag te stellen.

Schaarste van mensen gaat op dit moment gepaard met schaarste van materialen. De supply chain is een zootje. Covid, tekort aan containers, geblokkeerd Suez kanaal, brandstofprijzen, oorlog in de Oekraïne. Bedrijven zijn aan het hamsteren geslagen, ook voor elektronicaproducten³¹. Meer dan 60% van de Europese en Amerikaanse productiebedrijven is van plan om de komende drie jaar een deel van de productie in Azië terug te halen naar het eigen werelddeel, zo blijkt uit een peiling.³² Maar het gaat nadrukkelijk om slechts een deel van de productie en het is ook niet gemakkelijk om met de huidige machinetekorten op korte termijn een nieuwe productielijn op te zetten. "*We lived under the assumption that products, resources can move freely across geography*".³³ Maar dat *freely* is een grove misvatting en dat het *for free* is al helemaal.

28 Systeemintegratie, waar hebben we het dan over? Op de stuklijst van een auto staan 1800 unieke items, 30000 onderdelen en 40 km kabel. Er zijn honderden first tier suppliers. Kijken we naar een vliegtuig: 225 km kabels en miljoenen onderdelen. Een schip: 100000 items en 300 tot 3000 km kabel.

29 Zie bijvoorbeeld (Technopolis group, 2020)

30 In het FD van 20 mei waarschuwt Brynjolfsson hoogleraar aan Stanford University, directeur van het Digital Economy Lab voor de Turing Trap

31 Volgens diverse experts, aangehaald in het FD op 2-mei-2022 <https://fd.nl/economie/1438166/nervuze-bedrijven-blijven-volop-hamsteren-pfe2cayrhvKu>

32 Door Buck Consultants (BCI). Aangehaald door Marijn Jongsma op 8-4-2022 in het Financieel Dagblad, <https://fd.nl/economie/1435797/globalisering-piept-en-kraakt-maar-is-onstuitbaar-lrd2caCPiL3P>.

33 Citaat van said Hernan Saenz, in een interview met CNN reporter Cris Isidore op 30-3-2022, <https://edition.cnn.com/2022/03/30/business/global-supply-chain/index.html>

Sustainability

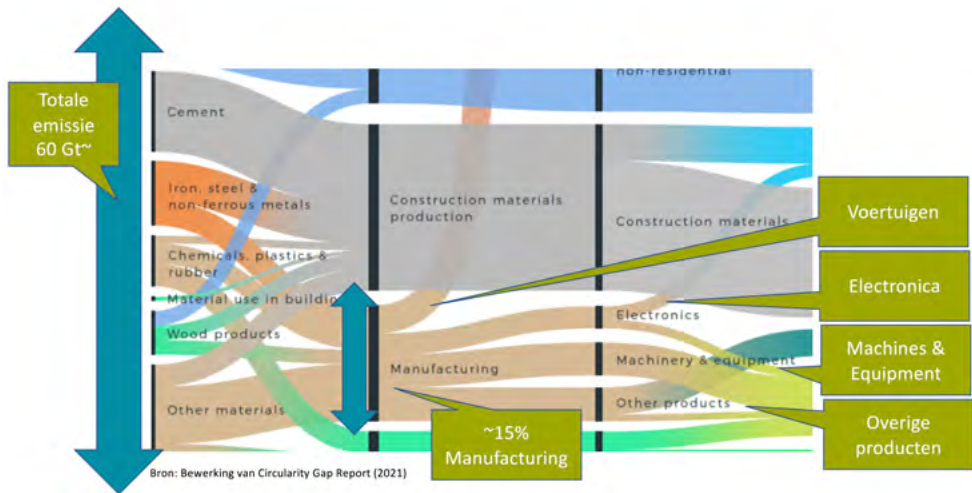
En dat brengt me aan misschien wel het belangrijkste deel van deze rede.



Figuur 19 Uitstoot van broeikasgassen (vrij naar: 'emission x-ray, uit (CIRCULARITY GAP REPORT, 2021)

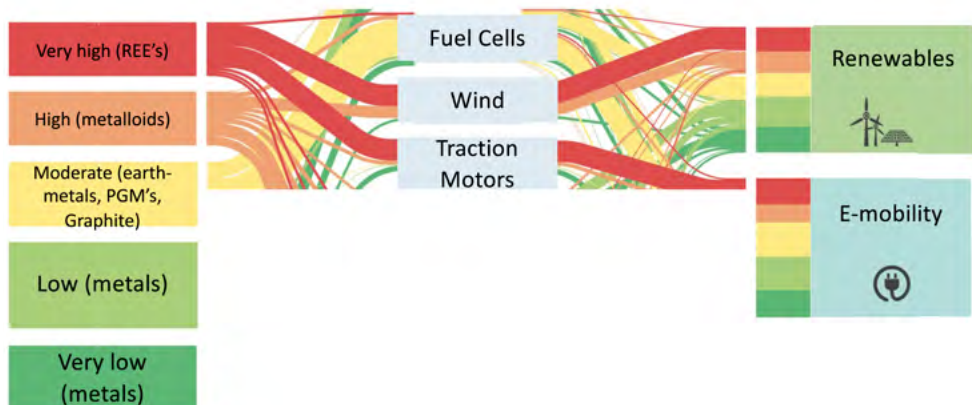
Kijkt u even mee naar Figuur 19 -de X-ray uit (CIRCULARITY GAP REPORT, 2021) -waarin we aan de linkerkant onze resource behoefte afgezet zien tegen 'societal needs'. Vooral fossiele brandstoffen en biomassa, ingezet voor transport, huisvesting en voedsel. Bij nader inzoomen (Figuur 20) wordt de rol van manufacturing duidelijker bij het omzetten van grondstoffen naar deze 'needs'. Ruwweg 15% van de uitstoot van broeikasgassen wereldwijd komt voor rekening van manufacturing van transportmiddelen, elektronica, machine equipment en overige (consumenten) producten. We hebben het bij sustainability vaak over rentmeesterschap en de volgende generaties, maar die tijd is er helemaal niet. Op de Figuur 19 ziet u ook een kleine, maar dominante rol voor metalen en mineralen. Een deel daarvan wordt gekarakteriseerd als 'critical raw material'³⁴ Het zijn elementen die het risico lopen om getroffen te worden door heftige prijschommelingen en beperkte beschikbaarheid. Ze zitten heel vaak in kleine hoeveelheden in technologie producten (deze definitie komt uit (Peck, 2016)).

³⁴ (sommigen zeggen kritieke of schaarse materialen.)



Figuur 20 Ingezoomd op Manufacturing

Juist daar is nog steeds een enorme groei in vraag (meer mensen in de middenklasse, meer consumentenelektronica). Maar dat is niet het enige probleem: in 2020 maakten zonnepanelen ongeveer een derde uit van alle elektrische en elektronische apparaten die in Nederland op de markt kwamen. In 2030 wordt in Nederland naar verwachting 50 duizend ton aan zonnepalen afgedankt³⁵. Schaarse of kritieke materialen worden nog maar heel beperkt teruggewonnen. En dat kunnen we ons niet permitteren, ze zijn keihard nodig voor meer zonnepanelen, elektromotoren en windturbines voor de energietransitie ((Circulaire Maakindustrie, n.d.). In Figuur 21, gebaseerd op het een rapport van de EU (P. C. Bobba, 2020) zien we dat terug: Welke kritieke materialen zijn nodig voor de energietransitie?



Figuur 21 Waar hebben we kritieke materialen voor nodig, bron: (P. C. Bobba, 2020)

³⁵ Gebaseerd op een uitspraak van Martin Spath van TNO in een interview met de Volkskrant op 22-5 <https://www.topics.nl/zonnepanelen-op-alle-daken-maar-wat-doen-we-ermee-als-ze-op-zijn-a17198544vk/?context=zoek%2F%3Fquery%3Dindustrie>

Buiten op de expo heeft u als het goed is de R-ladder gezien met strategieën om de maakindustrie meer circulair te maken³⁶. Remanufacturing³⁷ is het terugbrengen van een gebruikt product naar gegarandeerde nieuwstaat en de daarbij behorende performance (o.a. naar Jensen et al., 2019). Remanufacturing is een uitstekende strategie om materiaal- en energieverbruik te temperen en vermindert ook de behoefte aan critical raw materials³⁸. Het moet haalbaar zijn om het product terug te krijgen, de hardware moet stabiel zijn over een lange tijd en het product moet gedeassembleerd kunnen worden zonder het te slopen. Hoeveel van dit soort producten kunt u noemen? Juist, nog veel te weinig!

Beleidsmaatregelen zoals de CO2 pricing en circulair inkopen zullen hopelijk hergebruik stimuleren en een incentive zijn voor het verlengen van de levensduur van producten. In die lijn is het te verwachten dat equipment leveranciers zich veel meer zullen gaan ontwikkelen tot lease bedrijven of aanbieders van product-as-a-service. Om producten een langer leven te geven moeten fabrikanten daar bij het ontwerp al rekening mee houden³⁹ (Hekking, 2022). Het creëert ook een grote vraag naar digitale opslag en uitwisseling van (historische) product status informatie. Hier refereerde ik al naar bij de '*virtual product entities*' die informatie bevatten over: Waar is het gemaakt? Waar is het van gemaakt? Hoe kan het uit elkaar gehaald worden? Hoe is het gebruikt? Hoe is het onderhouden en welke componenten zijn wanneer vervangen?⁴⁰



36 Er zijn meerdere R-ladders gangbaar in de literatuur, wij houden die van het Planbureau voor de Leefomgeving aan (PBL).

37 Een fraaier Nederlands woord is 'hervervaardiging'. Gezien de argumentatie om in deze rede over 'manufacturing' te spreken, houd ik hier ook de Engelse term aan.

38 (Zie bv. de analyse over de potentie van remanufacturing in de autoindustrie door (S. Bobba et al., 2020)

39 Het Financieel Dagblad spreekt hier met diverse experts, waaronder David Peck van de TUD

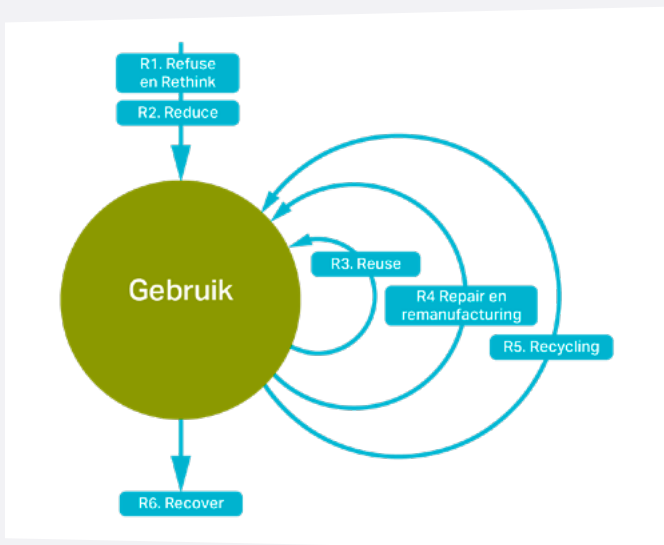
40 Dit is ook eerder genoemd bij het onderwerp traceability. Zie ook het kader over Asset Administration Shell (AAS).

13 R-ladder voor Circulaire Maakindustrie

Refuse/Rethink (dus afzien van producten) en *Reduce* (efficiënter maken) staan het hoogst op deze ladder, omdat ze het materiaalverbruik verminderen. *Recycle* en *Recover* staan onderaan, omdat er in dat geval veel energie- en waardeverlies is.

In *remanufacturing* is het gebruikelijk om het basis product de 'core' te noemen. Het remanufacturing proces beslaat inspectie, disassemblage, het vervangen of overhalen of opknappen van onderdelen, schoonmaken, herassemblage en testen. Dit werkt alleen voor producten die een lange levensduur hebben, waarvan de functionaliteit is gestandaardiseerd, die modulair zijn, die nog een hoge waarde hebben bij 'end-of-life' (o.a. beschreven in (Matsumoto et al., 2016; Wei et al., 2015).

Bij repair en remanufacturing speelt het productontwerp een belangrijke rol. (Fabio 21) noemt als vier belangrijkste factoren: '*disassembly depth*', *disassembly time*, *reversibility of fasteners* en de benodigde tools. De *depth* (diepte) geeft aan hoeveel de-assemblage handelingen je moet verrichten voordat het product helemaal uit elkaar is. Door rekening te houden met deze factoren, vooral voor onderdelen met een hoge vervangingsfrequentie, kun je als ontwerper het disassembly proces positief beïnvloeden.



Figuur 22

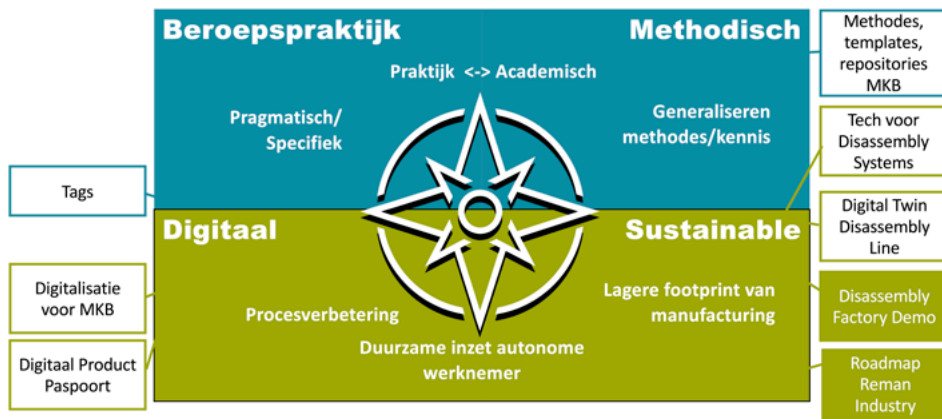
14 'Right-to-Repair'

Om een product een lange levensduur te geven, spelen behalve het technisch productontwerp ook andere zaken een rol; -beschikbaarheid van reservedelen, -de kosten van een reparatie, -beschikbaarheid van technische informatie, -behoud van garantie bij reparatie. Frankrijk heeft al een verplichte 'reparatie-index' ingevoerd voorden aantal producten, zodat je daar bij aanschaf rekening mee kunt houden.

Mouwen opstropen

Dus, kunnen wij het maken? Ik hoop dat het voorgaande duidelijk gemaakt heeft dat er ruim teveel vragen liggen voor één lectoraat. Dus waar zullen we eens beginnen?

Voor de makers in de zaal hier, we hopen dat we met jullie mogen samenwerken. We willen niet teveel over bedrijven, maar met bedrijven praten. We constateren dat er geen goede inventarisatie ligt van bewezen technologie die voor een MKB bedrijf werkt. Er is gebrek aan tastbare Smart Manufacturing use-cases met implementatie aanwijzingen. De academische state-of-the-art geeft geen inzicht in wat betaalbaar en onderhoudbaar is in een kleine organisatie. Verder mist er inzicht in hoe deze kennis te ontsluiten naar werkveld, medewerkers en onderwijs. Dus hier willen we een rol spelen.



Figuur 23 Onderzoeksrichting Smart Sustainable Manufacturing

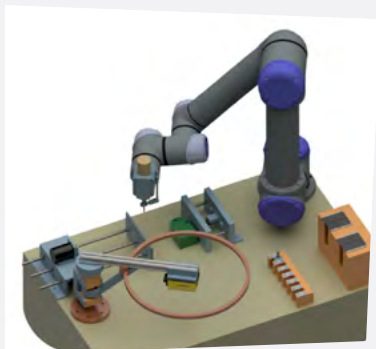
U ziet onze ideeën in dit plaatje: "Hoe kunnen productietijden automatisch geregistreerd worden door middel van *tagging*, en vervolgens real-time gevisualiseerd?" "Welke (laagdrempelige) digitale technologie heeft toegevoegde waarde voor maak-MKB-ers en hoe?" Onder methodes/templates versta ik ook: "Wat is een bruikbare digital twin in de context van een (klein) maakbedrijf?" "Hoe vertalen we academische en 'tacit' kennis naar toegankelijke 'best-practices'?"

Dit uiteraard wel binnen de context van onze missie van 'een digitale economie die deugt': gericht op procesverbetering, duurzame inzet van autonome werknemers en bijdragen aan een lagere footprint van manufacturing. Voor dat laatste is er nog geen duidelijke praktijkvraag. En daar kunnen we niet op wachten. Dus op dit thema moeten we agendabepalend zijn: "Hoe brengen we de remanufacturing industrie tot ontwikkeling, zodanig dat we waardeketens kunnen gaan sluiten?" "Wat is daarin de rol voor (gedigitaliseerde) disassembly processen en welke technologie is daarvoor nodig?" "Hoe vertaalt dit naar product-ontwerp en 'digital product entities'? (en een digital twin in de context van remanufacturing)?"

Ik had het eerder over beslissondersteuning door middel van digitalisatie. Dat is voor circulaire maakindustrie ook enorm belangrijk. De onderwerpen zullen uiteindelijk zullen samenkomen in onze digital twin voor disassembly systemen en een operationele disassembly demonstratielijn, waarover zo meteen meer.

15 Disassembly Station

Elektrische apparaten worden vaak afgedankt, omdat er een onderdeelje stuk is. Dat kan beter! Om producten het 'eeuwige leven' te kunnen geven, is het fijn als de-assemblage net zo belangrijk wordt gevonden als assemblage van het proces. Dit project is een eerste stap om het ook economisch aantrekkelijk te maken. Mechatronica-studenten ontwierpen dit 'Disassembly Station' dat door slimme integratie van een cobot-arm, een industriële camera en de stuklijst van het product, volautomatisch schroeven verwijdt uit proefproducten. Ze bouwden er een automatisch bit-wisselaar en schroef-sortersysteem in.



Figuur 24 Model van Disassembly Station



Figuur 25 Gerealiseerd Disassembly Station

Ik praat voortdurend over dingen die we gaan doen, maar gelukkig hebben we ook al dingen opgepakt. Bijvoorbeeld de Digitaliseringsscans die we (en dat zijn Sander Limonard, Mirjam Zijdeveld, Bas Jansen) (samen met de Hogeschool Rotterdam) uitvoeren binnen het SMITZH⁴¹ programma.

Een ander project is het SMITZH Activatie⁴² project, het domein van Pim de Jong. Het is cruciaal maar lastig is om de operators zelf bij projecten te betrekken. We geven bedrijven de kans om te bepalen of Extended Reality iets voor ze is. Maar eigenlijk is de HoloLens bijzaak. Essentieel is het op gang brengen van het gesprek op de werkvloer over wat er nodig is om het proces te verbeteren en hoe digitalisatie daarbij kan helpen.

41 Voor meer info over SMITZH zie <https://www.smitzh.nl> en voor onze rol in dit project: <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/kenniscentra/projectdetails/smitzh-smart-manufacturing-industriële-toepassingen-zuid-holland>

42 <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/kenniscentra/projectdetails/hololens>

We denken ook na over Factory-as-a-Service: Het delen van productiecapaciteit in een netwerk van maakbedrijven. Edwin van Noort en Mirjam Zijdeveld haalden vragen op als: Wat is een geschikte manier om snel onderling werk uit te kunnen besteden, in elkaars planning te kunnen kijken en productie-informatie digitaal over te dragen? Hoe relevant zijn de machtsverhoudingen rondom zo'n platform en hoe kun je een eerlijk allocatiemodel faciliteren. En hoe krijgen tech startups toegang tot kennis van productietechnologie, om van een prototype een produceerbaar product te maken?

Iets anders zijn de cases voor circulaire maakindustrie. Bedrijven die al een trede op de R-ladder hebben genomen, delen tips met andere bedrijven. Ons team heeft een aantal van die cases verzameld, ze staan nu ter inspiratie op de website van Circulaire Maakindustrie en dienen ook als voorbeelden voor onze studenten. Sander Limonard en Hugo Makkink zijn vastbesloten om dit om te zetten in werkbare methoden voor bedrijven en studenten. SMITZH draaien we samen met de Hogeschool Rotterdam, Innovation Quarter en de brancheverenigingen FME en Metaalunie.

Een ander voorbeeld is ons TranSIT project⁴³ (dit staat voor Transferable Smart Industry Templates) getrokken door Rufus Fraanje. Die product holons waar ik het over had bij product-centred productie; die hebben de meeste bedrijven eigenlijk al: je Bill of Material en je Bill of Process. Resource capability en capacity: zit in je ERP. Dus je zou heel snel een proof-of-principle van zo'n product-oriented systeem moeten kunnen maken. Tags zijn sowieso interessant om zoektijden te verminderen en het proces te observeren. Vanuit dit project starten we met het ontwikkelen van 'templates' voor procesanalyse, tagging, lokalisering en beheersing. Andere praktijkvragen zoals: Ik wil minder tijd kwijt zijn aan het zoeken naar spullen lenen zich ook voor zo'n aanpak. Ook willen we graag meer praktisch inzicht verkrijgen in hoe laagdrempelige digitale technieken gebruikt kunnen worden om real-life data in een simulatiemodel of digitale twin te koppelen⁴⁴. Vervolgens toetsen we of zo'n template inderdaad werkt.

We hoeven het ook niet alleen te doen. 'Bij ons in de straat' (Rotterdamseweg in Delft) zitten vestigingen van InHolland, een aantal faculteiten van de TUD die aan manufacturing werken, en fieldlab SAMXL. Omdat we elkaar op thema en sterke punten goed aanvullen, hopen we dit snel om te zetten in structurele samenwerking. Hopelijk kan ROC Mondriaan daar snel bij aansluiten. Verder zit er een initiatief in de pijplijn om iets soortgelijks te doen rondom het thema Remanufacturing; een cluster in de MRDH regio van TUD, HHS en Hogeschool Rotterdam. Op het gebied van Smart Manufacturing en Disassembly zoeken we ook de lectoren van de andere hogescholen op, o.a. HAN, Fontys, en NHL Stenden. Samen met het CyberPhysical Lab⁴⁵ van Avans proberen we een community van Learning Factories te creëren.

Uiteraard bundelen we ook onze krachten binnen de hogeschool. Steven van den Berg en ik staan hier niet voor niks op dezelfde dag, binnen het Kenniscentrum Digital Operations and Finance verwachten we samen te kunnen werken, o.a. aan de ambitie richting disassembly processen.

⁴³ <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/kenniscentra/projectdetails/transit-transferable-smart-industry-templates>

⁴⁴ Visualisatie bijvoorbeeld in een Dynamic Value Stream map". Een value stream map is een procesanalyse instrument uit de Lean methodologie, waarin gemiddelde cyclustijden worden weergegeven. In een 'connected' systeem zou je die informatie real-time kunnen genereren en presenteren (dit idee wordt neergelegd in bv. (Huang et al., 2019; Siepmann & Graef, 2016).

⁴⁵ <https://www.bijavans.nl/ervaringen/co-creatie-cyber-physical-factory>

RE/manufacturing lab

Behalve praktijkgedreven, willen we ook graag praktisch bezig zijn. Dat wordt meteen duidelijk in ons *RE/manufacturing lab*⁴⁶, de 'Learning Factory' hier op school, waarvan we besloten hebben dat we deze zelf gaan bouwen. Het doel van dit project is het ontwikkelen van een flexibele productiefaciliteit voor een volledig reversibel proces. Daar halen we praktische kennis uit voor remanufacturing processen gefaciliteerd door digitalisatie. Dit gedachtengoed geven we op de bagagedrager van onze studenten mee. Hoe worden producten gemaakt en hoe worden ze weer uit elkaar gehaald? We zullen nog een paar jaar aan het ontwerpen, prototypen en het integreren zijn. Dit doen we met het hele team, maar ook David Tiemens, Wouter Hijink en Karin de Smidt zul je hier zeker tegenkomen. En daarna is de volgende stap een echte 'student factory', dus een plek waar studenten zelf flexibel kunnen produceren⁴⁷, als een demonstrator van het 'Factory-as-a-Service' concept. In het RE/manufacturing Lab wordt samengewerkt door onderzoekers, docenten en studenten van verschillende opleidingen⁴⁸. Ons lectoraat is ook betrokken bij het ontwikkelen, en straks ook uitvoeren van de HBO Master Next Level Engineering.



⁴⁶ <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/kenniscentra/projectdetails/remanufacturing-lab>

⁴⁷ In de filosofie van de maker movement van "high-tech do-it-yourselfers, who are democratizing access to the modern means to make things" (beschreven door (Gershenfeld, 2015; Troxler & Wolf, 2017).

⁴⁸ Soms hebben we werk voor het Datalab, soms voor een van vele minoren of bedrijfsprojecten waar we opdrachten rondom Smart Manufacturing kwijt kunnen.

16 Learning Factories

Het begon met een verzuchting: "Wat zou het tof zijn om onze studenten zelf een flexibele productielocatie te laten runnen. Een fabriek waar snel geschakeld kan worden tussen verschillende producten, met een hoge mate van digitalisering. Wat zou je daar niet allemaal kunnen doen! Praktisch werk, demo's, onderzoek, testen, klooiën..."

Een 'Learning Factory' (ook 'Teaching Factory') is een leeromgeving die bepaald wordt door een authentiek productieproces voor een fysiek product, die zo ingericht kan worden dat er zowel onderwijs als onderzoek in plaats kan vinden (Abele et al., 2015). In het [Re/manufacturing Lab](#) komen onderwijs en onderzoek op het domein van Industry 4.0 bij elkaar. Met dwarsverbanden door alle opleidingen van onze Faculteit Technologie, Innovatie en Samenleving en de onderzoeksgroep van Smart Sustainable Manufacturing. Zoals (Thiede et al., 2016) stelt: onderzoekend en activerend leren leidt tot beter gemotiveerde studenten en hogere leeropbrengsten. Praktijkvragen komen van maakbedrijven in de regio. De oplossingen worden gezocht in toepassingen van de sleuteltechnologieën: Engineering-, fabricage- en digitale technologieën. We zullen ons RE/manufacturing lab samen met studenten en bedrijven verder vormgeven. En -erg belangrijk!- we hebben ervoor gekozen dat alle producten die we maken, ook geschikt moeten zijn voor hergebruik en levensduur-verlengende acties zoals reparatie en remanufacturing. Een volledig reversibel proces dus!



Figuur 26 Aan de slag in het RE/manufacturing lab

Onze onderzoeksgroep (die ik net de revue liet passeren en die te zien is op Figuur 27) vult elkaar op expertise goed aan en vertegenwoordigt verschillende opleidingen binnen De Haagse Hogeschool.

Dank

Dan rest mij nu om de mensen om me heen te bedanken die deze introereerde mogelijk hebben gemaakt. Het evenement is georganiseerd door Astrid Jansen, Ellen Richter, Merel Hillen, vandaag ondersteund door Lucas Mastenbroek, onze student-assistenten, de mensen van het evenementenbureau, techniek en catering. Dank! Hans Camps van het CvB, bedankt voor je intro en het vertrouwen, John Bolte voor je energieke voorzitterschap. Edwin Dertien, onze gastspreker, die ik mateloos bewonder in al zijn liefde voor de techniek en de supergave dingen die hij doet. En zeker ook Steven van den Berg, die in de aanloop van vandaag een top sparring partner was.



Figuur 27 Kenniskring Smart Sustainable Manufacturing

Dan natuurlijk de kenniskringleden: Ik bedank jullie voor je enthousiasme, inbreng, harde werk. Werk dat jullie op de expo kunnen zien waar ik rijkelijk uit geput heb voor deze rede. Mirjam, het eerste kenniskringlid van SSM en coördinator van ons expodeel. Dankjewel. Het was en is top om samen met jou de kenniskring op te bouwen. Sander haakte ook meteen aan, geland met het SMITZH project dat eindelijk een thuisbasis kreeg. Edwin, Karin, Hugo; jullie drie hadden vanaf de eerste kennismaking al plannen en het idee dat jullie erbij moesten zijn, dat gaf me energie. Wat ben ik blij dat dat nu ook gelukt is. Rufus, kritisch en inspirerend ineens, het is een feest om met je samen te werken. Wouter, jouw vertrouwen impliceert voor mij dat dit best eens iets kan worden. Pim, precies de collega die ik hoopte te vinden, doorzetter, pragmatisch, behulpzaam. David, stille maar stuttende kracht achter de Learning Factory. Nogmaals dank aan Astrid en Ellen voor hun ondersteunende rol, niet alleen bij het organiseren van de rede, maar bij het draaiend houden van het lectoraat. Student-assistent Bas en stagiaire Ina maken het team compleet. **Kunnen wij het maken? Nou en of!**

17 Factory-as-a-Service

Het project **Factory-as-a-Service** richt zich onder andere op het toewijzen van productiecapaciteit (het gebruik van machines bijvoorbeeld) aan verschillende fabrikanten. Maar wanneer mag welke fabrikant z'n producten produceren, hoe lang is hiervoor nodig, wanneer moet het klaar zijn enz.? Dit vraagt kennis van planningstechnieken. Hoe kun je het zo indelen dat iedere fabrikant tevreden is? En hoe doe je dit als het aantal opdrachten groter wordt?

Behalve een eerlijke verdeling, speelt ook het aspect van vertrouwen een grote rol. Hoe ontwikkelt het vertrouwen tussen vrager en aanbieder zich als deze via een deelplatform met elkaar verbonden zijn? De mogelijkheid dat een interactie zich in de toekomst zal herhalen is een prikkel voor de aanbieder om zich betrouwbaar te gedragen. Dit wordt ook wel het "shadow of the future" effect genoemd. De beschikbaarheid van informatie over het gedrag van een aanbieder in het netwerk van een consument (reputatie) is ook een factor: het zegt iets over het verleden, maar vormt ook een prikkel voor een aanbieder om toekomstige transacties veilig te stellen. Het is mogelijk betrouwbaar gedrag af te dwingen door het dreigen met sancties (bijvoorbeeld uitsluiten van aanbieder). Vertrouwen ontstaat ook als een organisatie zorgvuldig zijn leden selecteert.



18 HoloLens workshops

Er wordt door alle bedrijven waar we worden uitgenodigd voor een HoloLens workshop met interesse gekeken naar de mogelijkheden van Mixed Reality (MR). Toch wisselt het sterk per bedrijf hoe makkelijk zij een valide waardepropositie kunnen verzinnen voor hun bedrijf. Bedrijven met jongere werknemers en stagiaires blijken beter in staat om zelf iets te maken en komen tot diepere inzichten. De software die wij ter beschikking stellen bij de HoloLens wordt dan vooral door hen (de stagiaires en jonge medewerkers) gebruikt. Het eindresultaat wordt wel door het management bekeken.

Omdat MR vooral tot zijn recht komt als interface tussen mens en computer, is het een techniek die moet steunen op een solide digitale informatielaag. Zonder de aanwezigheid van zo'n laag is het moeilijk om snel, goed resultaat te boeken met MR. Om snelle adaptatie van deze techniek te faciliteren, moet je investeren in een koppeling van het reeds beschikbare 3D model en (real-time) productiedata, voorraad data, documentatie etc. Als dat lukt zijn er interessante mogelijkheden voor: -Real-time 'guidance' voor de menselijke operator bijvoorbeeld voor het uitvoeren van kwaliteitscontroles en service handelingen op afstand of voor assemblage; -Voor het oproepen van documentatie en eventuele correctie van handelingen; -Voor het visualiseren van data en CAD modellen. Uit een studie door (Lavric et al., 2022) blijkt overigens dat de trade-off tussen benodigde effort voor het maken van een augmented instructie versus de toename van de productiesnelheid niet zonder meer goed is. Annotaties en filmpjes zijn wellicht aantrekkelijker dan volledig CAD gebaseerde instructies. Dit is iets wat we in het RE/manufacturing Lab verder willen onderzoeken.



Figuur 28 Aan de slag met de Hololens

Graag bedank ik ook de opleidingsmanagers van TIS voor jullie back-up en meedenken en natuurlijk Nellie vd Griend, onze faculteitsdirecteur. Het lectoraat is onderdeel van het Kenniscentrum Digital Operations en Finance, met John Bolte als Leading Lector. John, dankjewel, niet alleen voor vandaag, maar voor alles en vooral dat je samen met Margot dit lectoraat bedacht hebt. Ik houd er de leukste baan op aarde aan over. Margot Custers, luisterend oor en vooruitziende blik, onmisbaar als coördinator van het kenniscentrum. Dank! De overige lectoren van DOF, bedankt voor inspiratie, en gevraagd en ongevraagd advies. Dat geldt ook voor de collega-lectoren van de faculteit TIS.

Mijn dank aan het publiek dat jullie wilden komen kijken en luisteren. Mensen uit de maakindustrie, collega's, oud-collega's, vrienden, studenten. Al die keren dat ik jullie uit mocht horen of tegen jullie aan mocht praten, jullie hebben me gevormd en zijn belangrijk voor me.

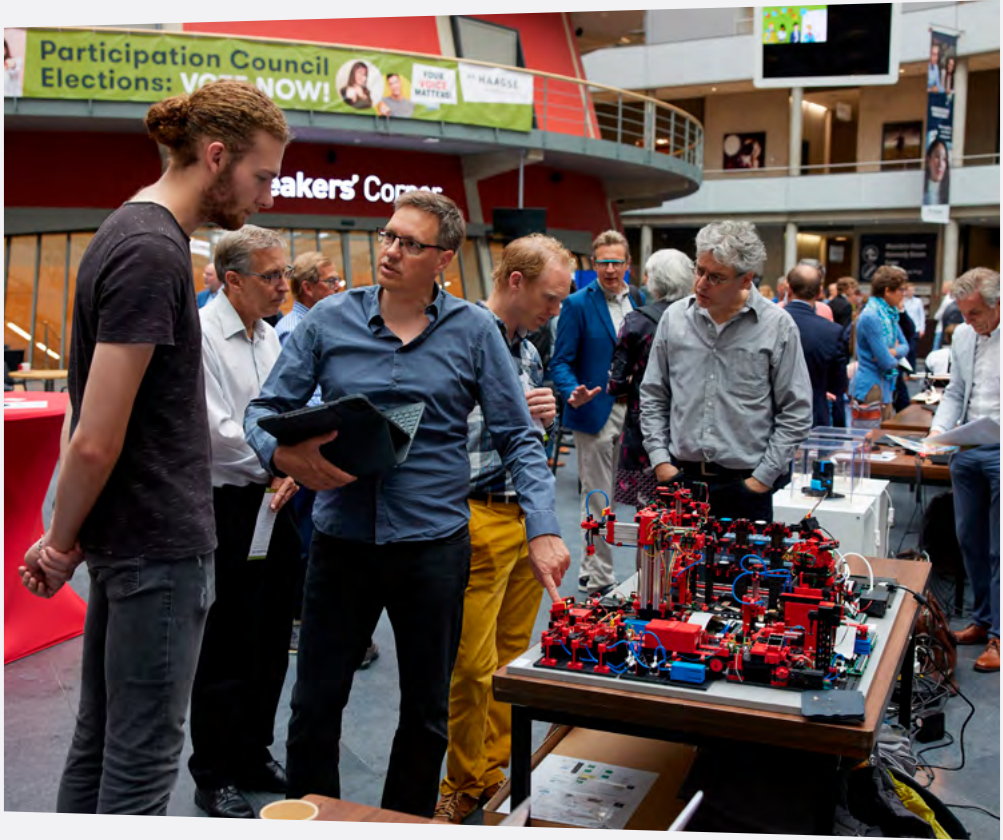
En dan natuurlijk de thuisbasis; de 'Coentjes'! Dank jullie wel voor het robuuste fundament van vertrouwen met een flinke snuf zelfrelativering dat ik van huis uit heb meegekregen. En tenslotte mijn gezin, 'Kromwood Mac' *"Sweet Wonderful You, You make me happy with the things you do"*⁴⁹. Daarom besluit ik deze rede met een citaat onze favoriete 'makers': A je to!⁵⁰



49 Uit de lyrics van 'You make loving fun', Fleetwood Mac, C. McVie, 1977)

50 De lijfspreuk van Pat en Mat, ofwel Buurman en Buurman, uit de gelijknamige serie. <https://en.patmat.cz>

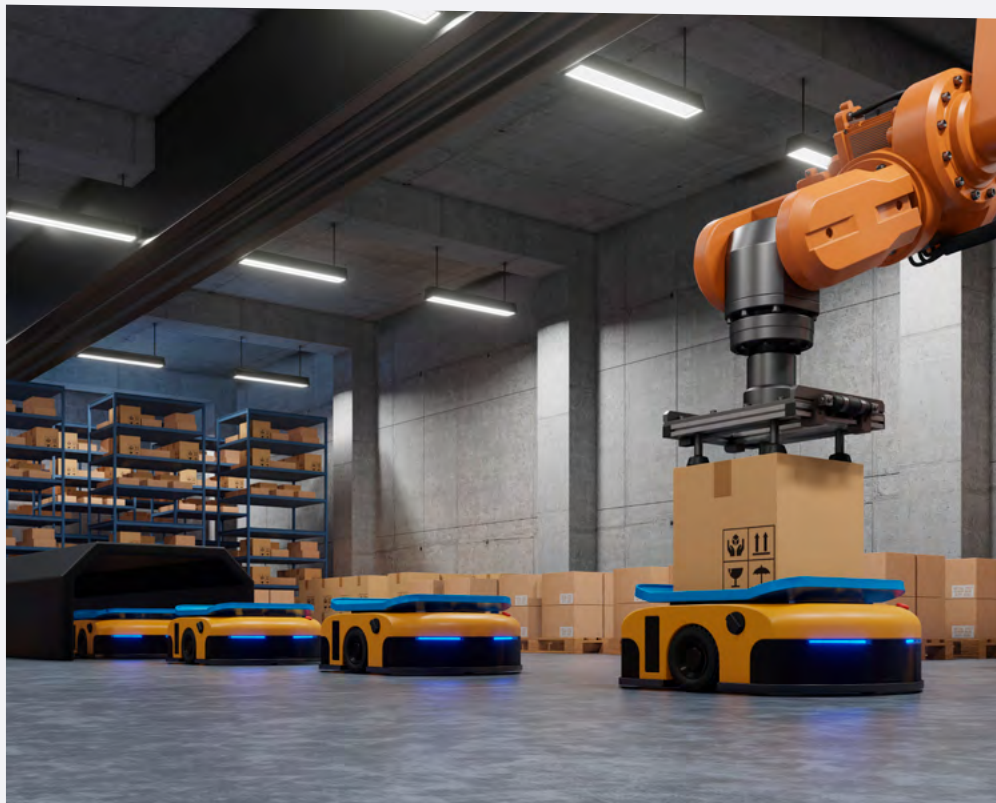
19 Groot denken, klein beginnen in de ‘Mini Factory’



Figuur 29 de Mini-Factory

In het RE/manufacturing lab is ook de ‘mini factory’ te vinden, een schaalmodel voor Industry 4.0. De minifabriek bestaat uit een aantal modules: een intelligent magazijn, transport, een processing station, sorteerinrichting, vele sensoren en een op afstand bestuurbare camera. Individuele producten worden getrackt met Near Field Communication (NFC), een type tags. De fabriek wordt aangestuurd door een industriële Programmable Logic Controller. Communicatie binnen de minifabriek gebeurt via het MQTT protocol. De controller die de MQTT messages afhandelt is via OPC UA met de PLC verbonden. Alle afzonderlijke stations en sensoren zijn voorzien van IoT en zijn via het web benaderbaar. Bestellingen kunnen via een webshop doorgegeven worden. Hiermee zijn alle ‘layers’ (field, info/communicatie en enterprise) gerepresenteerd. De opstelling is hiermee een geschikt hulpmiddel voor practica en demo’s en kan ook gebruikt worden voor testdoeleinden van andere projecten (bv. Het ontwikkelen van een digital twin).

20AMR's in de machinehal



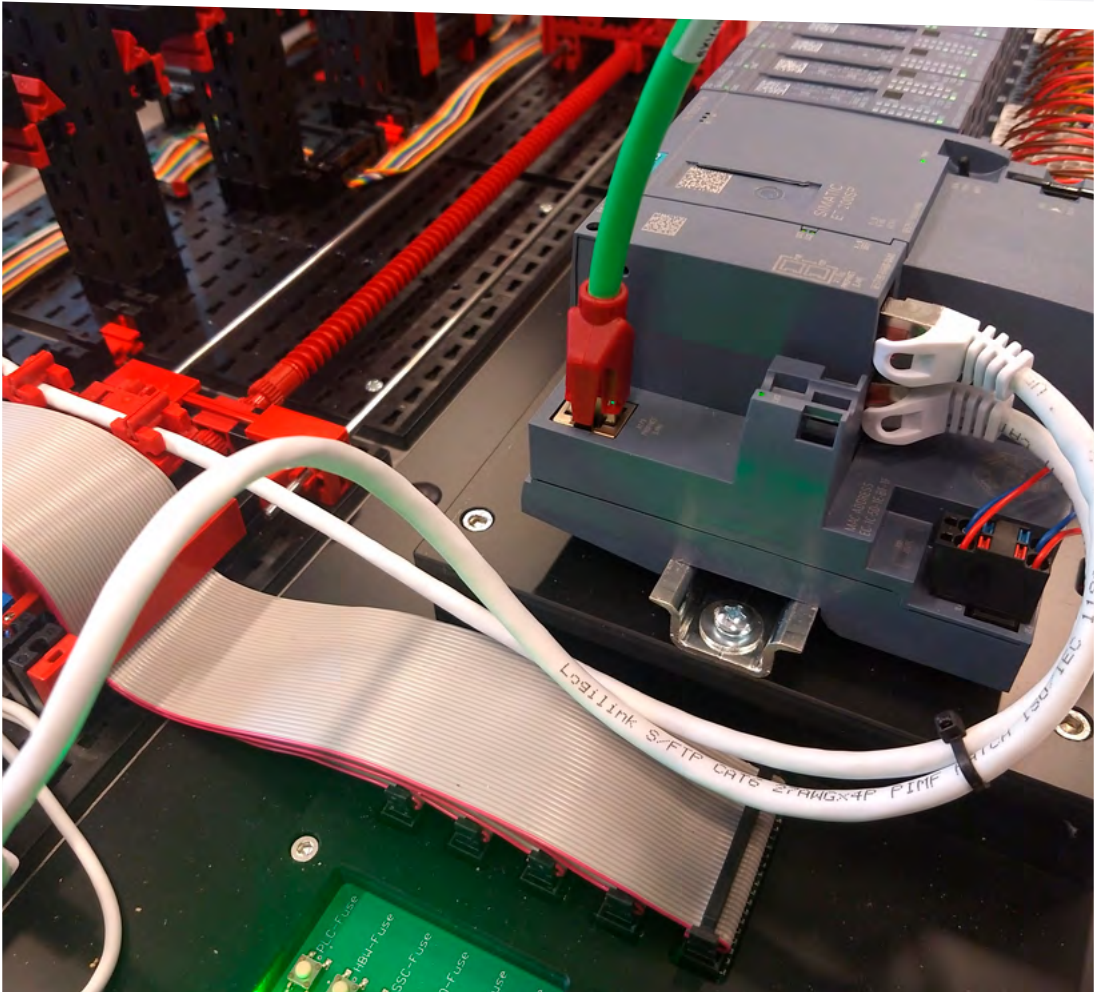
Figuur 30 AMR's in de hal

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen of het technisch haalbaar is om het transport van werkstukken van de ene machine naar de andere machine uit te voeren met automatische mobiele robots (AMR's), hoeveel er dan nodig zijn en of dit economisch rendabel is. Uitdagingen in dit project zitten in het nauwkeurig navigeren door nauwe doorgangen, een efficiënte interactie tussen ERP, de AMR's en de productiemedewerkers, en het betrouwbaar voorspellen van het aantal benodigde AMR's. Het onderzoek wordt uitgevoerd voor de case van Reurings Precisie Plaatwerk, en de conclusies zullen in eerste instantie alleen geldig zijn voor dit bedrijf. De ontwikkelde werkwijze wordt generiek gehouden, zodat deze toepasbaar is in andere cases.

21 Circulaire Maakindustrie

Voor bedrijven met een ambitie op het gebied van duurzaamheid, die niet goed weten waar te beginnen, ontwikkelde de onderzoekers van het lectoraat samen met TNO en Circulaire Maakindustrie de 'wegwijzer'. Door te 'gluren bij de burens' (goede voorbeelden van andere bedrijven, waar je wellicht inspiratie uit kunt opdoen) wordt het gemakkelijker om de eerste stap te zetten. Interessant? Check www.circulairemaakindustrie.nl/wegwijzer.

Studenten, docenten en onderzoekers willen regelmatig de duurzaamheid van een product, of een project toetsen. Er zijn vele berekeningsmethoden voor de '*footprint*'. Maar de scope houdt misschien niet op bij alleen een product. Misschien zit er wel een hele nieuwe dienst of business model omheen. Hoe nu verder? Een 'groene BINAS', een handig referentie en tabellenboek om berekeningen te kunnen maken, zou erg handig zijn. Maar een boekje op papier zou al snel verouderen, er gebeurt zoveel op dit terrein. Daarom bij [Groene Voornemens](#) een hoop tips om de duurzaamheid van een product of project of business idee onder de loop te nemen.



22 Ravi-Robot van de Rommelmarkt

Edwin Dertien is oprichter en robotontwerper bij Kunst- en techniekwerk, en universitair docent Universiteit Twente.

Een van zijn scheppingen is Ravi de Robot, de hoofdpersoon van de gelijknamige voorstelling die in oktober 2022 in première gaat.

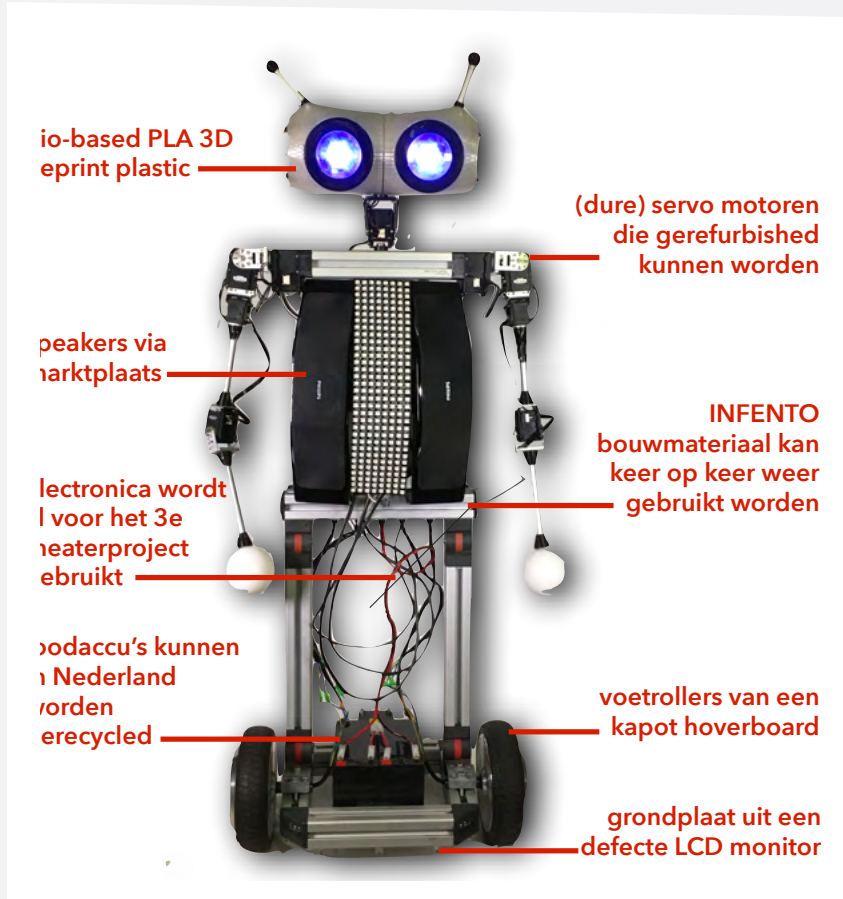
Om te voldoen aan de doelstelling om vanaf 2027 klimaat-positief (!) theater te maken, wordt met het ontwerp van Ravi alvast een voorschot genomen:

Over alle onderdelen wordt nagedacht in termen van hergebruik tot grondstoffen of als modulaire bouwstenen. De werkplaats (Robot Theater Lab) verkoopt de robot niet, maar blijft eigenaar van de robot om goede verwerking te garanderen.

<https://robottheaterlab.nl>

<https://www.sonnevanck.nl>

<https://www.silbersee.com>



Figuur 31 Ravi-de-Robot



Figuur 32 Gastlezing Edwin Dertien

In zijn gastlezing houdt Edwin Dertien een pleidooi voor 'Klooien' (Tinkeren) als integraal onderdeel van de training van een creatieve onderzoeker of engineer. Robots die het riool inspecteren, robots die toneelspelen tot een rusthuis voor Furby's: het is maar een kleine greep uit Edwin's zeer onderhoudende verhaal.



BIBLIOGRAFIE

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., Hummel, V., & Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Bobba, S., C. S., H. J., M. F., P. C. (2020). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU A Foresight Study*. <https://doi.org/10.2873/58081>
- Bobba, S., Tecchio, P., Ardente, F., Mathieux, F., dos Santos, F. M., & Pekar, F. (2020). Analysing the contribution of automotive remanufacturing to the circularity of materials. *Procedia CIRP*, 90, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.052>
- Bordeleau, F.-È., & Felden, C. (2019, June 8). *DIGITALLY TRANSFORMING ORGANISATIONS: A REVIEW OF CHANGE MODELS OF INDUSTRY 4.0*. https://aisel.aisnet.org/ecis2019_rp/49
- Bradley, J., & Atkins, E. (2015). Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems. *Sensors*, 15(9), 23020–23049. <https://doi.org/10.3390/s150923020>
- Brozzi, R., D'Amico, R. D., Pasetti Monizza, G., Marcher, C., Riedl, M., & Matt, D. (2018). Design of self-assessment tools to measure industry 4.0 readiness. A methodological approach for craftsmanship SMEs. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 540). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01614-2_52
- Butollo, F., Jürgens, U., & Krzywdzinski, M. (2019). From Lean Production to Industrie 4.0: More Autonomy for Employees? In *Digitalization in Industry* (pp. 61–80). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28258-5_3
- Chen, Y. (2017). Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, 3(5), 588–595. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.009>
- Circulaire Maakindustrie. (n.d.). *Kritieke materialen*. Retrieved May 6, 2022, from <https://circulairemaakindustrie.nl/kritieke-materialen/>
- CIRCULARITY GAP REPORT*. (2021). circularity-gap.world
- Colombo, A. W., Schleuter, D., & Kircher, M. (2015). An approach to qualify human resources supporting the migration of SMEs into an Industrie4.0-compliant company infrastructure. *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 003761–003766. <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392687>
- Coreynen, W., Matthyssens, P., & Gebauer, H. (2018). Are You Ready for Servitization? A Tool to Measure Servitization Capacity. In *Practices and Tools for Servitization* (pp. 25–39). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76517-4_2

- de Carolis, A., Macchi, M., Kulvatunyou, B., Brundage, M. P., & Terzi, S. (2017). Maturity Models and tools for enabling smart manufacturing systems: Comparison and reflections for future developments. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 517, 23–35. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3_3
- Deuter, A., & Imort, S. (2021). Product lifecycle management with the asset administration shell. *Computers*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/computers10070084>
- Farina, J., & Fontana, J. (2021). Managing change towards Industry 4.0: How organizations design and implement Industry 4.0 projects. *International Journal of Systematic Innovation*, 6(4), 17–32. [https://doi.org/10.6977/IJoSI.202106_6\(4\).0002](https://doi.org/10.6977/IJoSI.202106_6(4).0002)
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633–644. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960>
- Fettig, K., Gacic, T., Koskal, A., Kuhn, A., & Stuber, F. (2018). Impact of Industry 4.0 on Organizational Structures. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436284>
- Fichter, A. (2019). Change Management Towards Digitalization And Innovation. *2019 17th International Conference on Emerging ELearning Technologies and Applications (ICETA)*, 185–190. <https://doi.org/10.1109/ICETA48886.2019.9040141>
- Fraanje, R., Koreneef, T., le Mair, A., & de Jong, S. (2016). Python in robotics and mechatronics education. *2016 11th France-Japan & 9th Europe-Asia Congress on Mechatronics (MECATRONICS) /17th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, 014–019. <https://doi.org/10.1109/MECATRONICS.2016.7547108>
- Gazzaneo, L., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Designing smart operator 4.0 for human values: A value sensitive design approach. *Procedia Manufacturing*, 42, 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.073>
- Gershenfeld, N. (2015). *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop--from Personal Computers to Personal Fabrication*. Basic Books.
- Ghobakhloo, M., & Iranmanesh, M. (2021). Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(8), 1533–1556. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2020-0455>
- Grond, A. H. P. den, , J. M. , N. F. , V. A. , V. te, R. (2021). *Evaluatie Smart Industry programma*. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-3f98d30c-2cd3-4faa-a037-f768d382bed4/1/pdf/bijlage-evaluatie-smart-industry-programma.pdf>
- Gutierrez, C., Garbajosa, J., Diaz, J., & Yague, A. (2013). Providing a Consensus Definition for the Term "Smart Product". *2013 20th IEEE International Conference and Workshops on Engineering of Computer Based Systems (ECBS)*, 203–211. <https://doi.org/10.1109/ECBS.2013.26>

- Hekking, H. D., L. R. de. (2022, April 6). Eeuwige duurzaamheid: niet repareren maar "hervervaardigen." *Financieel Dagblad*.
- Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowey, S., & Dargusch, M. S. (2019). Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.001>
- Ingaldi, M., & Ulewicz, R. (2019). Problems with the Implementation of Industry 4.0 in Enterprises from the SME Sector. *Sustainability*, 12(1), 217. <https://doi.org/10.3390/su12010217>
- Jammes, F., & Smit, H. (2005). Service-Oriented Paradigms in Industrial Automation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1(1), 62–70. <https://doi.org/10.1109/TII.2005.844419>
- Jeff Knight. (n.d.). Ethernet/IP vs Profinet -a Comparison. In *EECO Inspiration Blog*. EECO. Retrieved May 6, 2022, from <https://eecoonline.com/ethernetip-vs-profinet-protocol-heavyweights/>
- Jensen, J. P., Prendeville, S. M., Bocken, N. M. P., & Peck, D. (2019). Creating sustainable value through remanufacturing: Three industry cases. *Journal of Cleaner Production*, 218, 304–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.301>
- Kalogeras, A. P., Gialelis, J. V., Alexakos, C. E., Georgoudakis, M. J., & Koubias, S. A. (2006). Vertical Integration of Enterprise Industrial Systems Utilizing Web Services. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2(2), 120–128. <https://doi.org/10.1109/TII.2006.875507>
- Larek, R., Grendel, H., Wagner, J. C., & Riedel, F. (2019). Industry 4.0 in manual assembly processes – a concept for real time production steering and decision making. *Procedia CIRP*, 79, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.038>
- Lavric, T., Bricard, E., Preda, M., & Zaharia, T. (2022). A low-cost AR training system for manual assembly operations. *Computer Science and Information Systems*, 00, 13–13. <https://doi.org/10.2298/CSIS211123013L>
- Lin, Y., Luo, J., Ieromonachou, P., Rong, K., & Huang, L. (2019). Strategic orientation of servitization in manufacturing firms and its impacts on firm performance. *Industrial Management & Data Systems*, 119(2), 292–316. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2017-0485>
- Marcon, P., Zezulka, F., Vesely, I., Szabo, Z., Roubal, Z., Sajdl, O., Gescheidtova, E., & Dohnal, P. (2017). Communication technology for industry 4.0. *2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)*, 1694–1697. <https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8262021>
- Martinetti, A., Marques, H. C., Singh, S., & van Dongen, L. (2019). Reflections on the Limited Pervasiveness of Augmented Reality in Industrial Sectors. *Applied Sciences*, 9(16), 3382. <https://doi.org/10.3390/app9163382>
- Matsumoto, M., Yang, S., Martinsen, K., & Kainuma, Y. (2016). *Trends and Research Challenges in Remanufacturing*. 3(1), 129–142. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0016-4>

- Matt, D. T., Modrák, V., & Zsifkovits, H. (2020). Industry 4.0 for smes: Challenges, opportunities and requirements. In *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4>
- Matt, D. T., & Rauch, E. (2020). SME 4.0: The role of small-and medium-sized enterprises in the digital transformation. *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements*, 3–36. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25425-4_1
- McKinsey Global Institute. (2017). *A future that works: Automation, employment, and productivity*.
- Measurement of Scientific and Technological Activities*. (1995). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264065581-en>
- Mehrpouya, M., Dehghanghadikolaei, A., Fotovvati, B., Vosooghnia, A., Emamian, S. S., & Gisario, A. (2019). The Potential of Additive Manufacturing in the Smart Factory Industrial 4.0: A Review. *Applied Sciences*, 9(18), 3865. <https://doi.org/10.3390/app9183865>
- Metallo, C., Agrifoglio, R., Schiavone, F., & Mueller, J. (2018). Understanding business model in the Internet of Things industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.020>
- Meyer, G. G., Främling, K., & Holmström, J. (2009). Intelligent Products: A survey. *Computers in Industry*, 60(3), 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2008.12.005>
- Mittal, S., Romero, D., & Wuest, T. (2018). *Towards a Smart Manufacturing Toolkit for SMEs The Operator 4.0-Towards Socially Sustainable Factories of the Future View project Towards a Smart Manufacturing Toolkit for SMEs*. <https://www.researchgate.net/publication/324969272>
- Mourtzis, D. (2019). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1927–1949. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636321>
- Nederlandse digitaliseringsstrategie - Nederland Digitaal*. (2018). <https://open.overheid.nl/repository/rnl-f67963fc-4ff3-4ac6-9e4e-ba8601aad694/1/pdf/nederlandse-digitaliseringsstrategie.pdf>
- Ocker, F., Paredis, C. J. J., & Vogel-Heuser, B. (2019). Applying knowledge bases to make factories smarter. *At-Automatisierungstechnik*, 67(6), 504–517. <https://doi.org/10.1515/auto-2018-0138>
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. In *Journal of Intelligent Manufacturing* (Vol. 31, Issue 1, pp. 127–182). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Peck, D. (2016). *Prometheus Missing: Critical Materials and Product Design* [Doctoral, TU Delft]. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:a6a69144-c78d-4feb-8df7-51d1c20434ea?collection=research>

- Pinto, B., Silva, F. J. G., Costa, T., Campilho, R. D. S. G., & Pereira, M. T. (2019). A strategic model to take the first step towards industry 4.0 in SMEs. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.082>
- Prinsloo, J., Sinha, S., & von Solms, B. (2019). A review of industry 4.0 manufacturing process security risks. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app9235105>
- Rao, S. K., & Prasad, R. (2018). Impact of 5G Technologies on Industry 4.0. *Wireless Personal Communications*, 100(1), 145–159. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5615-7>
- Rauch, E., Unterhofer, M., Rojas, R. A., Gualtieri, L., Woschank, M., & Matt, D. T. (2020). A Maturity Level-Based Assessment Tool to Enhance the Implementation of Industry 4.0 in Small and Medium-Sized Enterprises. *Sustainability*, 12(9), 3559. <https://doi.org/10.3390/su12093559>
- Roldán, J. J., Crespo, E., Martín-Barrio, A., Peña-Tapia, E., & Barrientos, A. (2019). A training system for Industry 4.0 operators in complex assemblies based on virtual reality and process mining. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.004>
- Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0 (pp. 3–23). https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1
- Schleipen, M., Hein, B., Pfrommer, J., Aleksandrov, K., Stogl, D., Navarro, S. E., & Beyerer, J. (2014). {AutomationML} to describe skills of production plants based on the {PPR} concept. *3rd AutomationML User Conference, October*.
- Schmitt, P., Schmitt, J., & Engelmann, B. (2020). Evaluation of proceedings for SMEs to conduct I4.0 projects. *Procedia CIRP*, 86, 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.007>
- Shoval, S., & Efatmaneshnik, M. (2019). Managing complexity of assembly with modularity: a cost and benefit analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3815–3828. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03802-2>
- Siepmann, D., & Graef, N. (2016). Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang. In *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (pp. 17–82). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48505-7_2
- Stamm, M. L., Neitzert, T. R., & Singh, D. P. K. (n.d.). *TQM, TPM, TOC, Lean and Six Sigma-Evolution of manufacturing methodologies under the paradigm shift from Taylorism/Fordism to Toyotism?*
- Team Smart Industry. (2018). *Smart Industry Implementatieagenda 2018-2021*. <https://smartindustry.nl/downloads/2c3a0f/SI%20implementatieagenda%202018%20DEF%20LR.PDF>

- Technopolis group. (2020). *Evaluerend Advies Techniekpact 2013-2020*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/09/18/bijlage-evaluerend-advies-techniekpact-2013-2020>
- Thiede, S., Juraschek, M., & Herrmann, C. (2016). Implementing Cyber-physical Production Systems in Learning Factories. *Procedia CIRP*, 54, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.098>
- Torn, I. A. R., & Vaneker, T. H. J. (2019). Mass personalization with industry 4.0 by SMEs: A concept for collaborative networks. *Procedia Manufacturing*, 28, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.12.022>
- Troxler, P., & Wolf, P. (2017). Digital maker-entrepreneurs in open design: What activities make up their business model? *Business Horizons*, 60(6), 807–817. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.006>
- Valckenaers, P. (2020). Perspective on holonic manufacturing systems: PROSA becomes ARTI. *Computers in Industry*, 120, 103226. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103226>
- Vasilev, P. (2021). *I4.0 Component Models based on IEC/EN 62264*. <http://tempuri.org/IB2MMLService/CreateResponse>
- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., & Voigt, K.-I. (2019). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977–997. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- Wei, S., Tang, O., & Sundin, E. (2015). Core (product) Acquisition Management for remanufacturing: a review. *Journal of Remanufacturing*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13243-015-0014-7>
- Whitmore, A., Agarwal, A., & da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9489-2>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019a). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIE Transactions*, 51(11), 1190–1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019b). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIE Transactions*, 51(11), 1190–1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- Yu, C., Xu, X., & Lu, Y. (2015). Computer-Integrated Manufacturing, Cyber-Physical Systems and Cloud Manufacturing – Concepts and relationships. *Manufacturing Letters*, 6, 5–9. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2015.11.005>
- Zhao, Y., Smith, J. R., & Sample, A. (2015). NFC-WISP: A sensing and computationally enhanced near-field RFID platform. *2015 IEEE International Conference on RFID, RFID 2015*, 174–181. <https://doi.org/10.1109/RFID.2015.7113089>
- Zhong, R. Y., Dai, Q. Y., Qu, T., Hu, G. J., & Huang, G. Q. (2013). RFID-enabled real-time manufacturing execution system for mass-customization production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(2), 283–292. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.08.001>

Kunnen wij het maken?
NOU EN OF!



De Haagse Hogeschool

Johanna Westerdijkplein 75

2521 EN Den Haag